



**T. C.
SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MADEN OCAKLARINDAKİ İŞ MAKİNESİ OPERATÖRLERİNİN TÜM
VÜCUT TİTREŞİMİ ÖLÇÜMLERİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Tuğba DOĞAN
(201092112010)**

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Bülent ERDEM

**SİVAS
ARALIK 2018**

Tuğba DOĞAN'ın hazırladığı ve “MADEN OCAKLARINDAKİ İŞ MAKİNESİ OPERATÖRLERİNİN TÛM VÛCUT TİTREŞİMİ ÖLÇÛMLERİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından MADEN MÛHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI'nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Bülent ERDEM**
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Atilla CEYLANOĞLU**
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. İhsan ÖZKAN**
Konya Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Yasin Dursun SARI**
Eskişehir Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Hacı Ali ERTAŞ**
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından DOKTORA TEZİ olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. İsmail ÇELİK
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÛDÛRÛ

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu'nda (Yönerge) belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından M-535 Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.



Bütün hakları saklıdır.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Tuğba DOĞAN, 2018

ETİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu'nda (Yönerge) belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

01.11.2018

Tuğba DOĞAN

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Tezin tüm aşamalarında birlikte çalıştığım danışman hocam Sayın Prof. Dr. Bülent ERDEM'e çok teşekkür ederim.

Tezin saha çalışması bölümünü oluşturan titreşim ölçümlerinde yöntem ve veri alımı süreçlerinde destek olan Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sivas Meslek Yüksek Okulu öğretim görevlisi Sayın Zekeriya DURAN'a, istatistiksel analizlerde yol gösteren Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Tıp Fakültesi öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Yalçın KARAGÖZ'e ve deney düzeneğinin tasarımında yardımcı olan Sayın Serhat DOĞAN'a müteşekkirim.

Jüri üyelerim Sayın Prof. Dr. Atilla CEYLANOĞLU, Sayın Prof. Dr. İhsan ÖZKAN, Sayın Prof. Dr. Yasin Dursun SARI ve Sayın Dr. Öğretim Üyesi Hacı Ali ERTAŞ'a gerek tezin okunması gerekse tez savunmasında gösterdikleri anlayış ve destek için teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca manevi destekleriyle her zaman yanımda olan anneme, eşime ve çocuklarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı'na da tez çalışması için gerekli maddi desteği sağladığından dolayı teşekkür ederim.

ÖZET

MADEN OCAKLARINDAKİ İŞ MAKİNESİ OPERATÖRLERİNİN TÜM VÜCUT TİTREŞİMİ ÖLÇÜMLERİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Tuğba DOĞAN

Doktora Tezi

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Bülent ERDEM

2018, 426+xxix sayfa

Bu doktora tez çalışması kapsamında açık ve yeraltı maden işletmelerinde kullanılan farklı tip, model ve kapasitede toplam 262 adet iş makinesi operatöründen tüm-vücut titreşimi maruziyeti ölçümleri alınmış ve değerlendirilmiştir. İş makineleri arasında; kamyon, hidrolik terskepçe ekskavatör, dozer, yükleyici, greyder, elektrikli ekskavatör, titreşimli silindir, delici, hidrolik kırıcı, çekmekepçe ve döner kepçeli ekskavatör bulunmaktadır. TVT maruziyeti ölçümleri Sivas ve komşu iller ile batı Anadolu bölgesinde yer alan kamu ve özel sektör tarafından işletilen; kömür, agrega, mermer, alçı, demir, altın, kalsit, kil, kireçtaşı işletmeleri, yol inşaat şantiyeleri, cevher hazırlama tesisi, beton santrali ve hurda demir tesisi gibi 13 farklı işletme türünden alınmıştır.

Ölçümler, bir titreşim analizi paket programı kullanılarak iş makinelerinin bölümlendirilen çalışma evreleri üzerinden değerlendirilmiştir. Böylece tüm iş makinesi operatörlerinin genel ve evre bazında titreşim maruziyeti ayrı ayrı tespit edilebilmiştir. Operatör maruziyetleri titreşim ivmesi parametresi (A(8)) ve titreşim dozu parametresi (VDV_{Total}) göz önüne alınarak EU 2002/44/EC direktifi ile ISO 2631-1 (1997) ve BS 6841 (1987) standartları uyarınca değerlendirilirken; tüm vücut titreşimine insan vücudu tepkisini değerlendiren ISO 2631-5 (2004) standardı uyarınca da günlük eşdeğer basınç dozu (S_{ed}) parametresi en kötü değer eksenini üzerinden değerlendirilmiştir. Tüm iş makinelerinin operatör koltuğunda net kayıt evresinde kaydedilen titreşim değerlerinin ortalamaları bazında dozerler en yüksek titreşim maruziyetine neden olurken, çekmekepçelerin en düşük titreşim maruziyetine yol açtığı belirlenmiştir.

Tüm vücut titreşimine insan vücudu tepkisini değerlendiren ISO 2631-5 (2004) standardı uyarınca günlük eşdeğer basınç dozu (S_{ed}) parametresi en kötü değer eksenini ölçütüne göre dozerler, yükleyiciler, hidrolik kırıcılar, titreşimli silindirler ve hidrolik terskepçe ekskavatörler orta düzeyde, diğer araçlar düşük düzeyde sağlık riski bölgesinde yer almıştır. Bu ölçüte göre hiçbir iş makinesi grubu yüksek sağlık riski bölgesinde değildir. Vektör toplamı ölçütüne göre ise hidrolik kırıcılar yüksek; dozerler, yükleyiciler, greyderler, titreşimli silindirler ve hidrolik terskepçe ekskavatörler orta;

kamyonlar, DKEler, elektrikli ekskavatörler, deliciler ve çekmekepçeler düşük sağlık riski bölgesinde yer almıştır. S_{ed} ile operatörün yaşı ile tecrübesine bağlı azalan güç durumunu dikkate alan R faktörü en kötü değer eksenini ölçütüne göre tüm iş makinesi grupları düşük risk bölgesinde yer almıştır. Vektör toplamı ölçütüne göre ise yalnızca hidrolik kırıcılar orta risk bölgesine sığarken, diğer tüm iş makinesi grupları düşük risk bölgesinde kalmıştır.

Ayrıca ölçüm süresince iş makinelerinin iş döngülerini temsil edecek şekilde kayıt alınarak evrelerin ayrı ayrı titreşim ivmesi, dozu ve eşdeğer basınç dozu değerleri de hesaplanmıştır. 11 farklı iş makinesi türünün kapasitesi, modeli, türü vb. değişkenlerle operatörlere ait bilgiler de kaydedilmiş ve SPSS® paket programı kullanılarak, çoklu karşılaştırma analizlerinde değerlendirilmiştir. Tek ya da çok değişkenli varyans analiziyle yapılan karşılaştırma sonuçlarına göre hafif iş makinesi operatörleri ağır iş makinelerine göre daha yüksek düzeyli titreşime maruz kalmıştır. İşletme koşulları, üzerinde hareket edilen zemin ya da işlenen malzeme özellikleri TVT maruziyetini etkilemektedir. En yüksek titreşim ivmesi dikey Z ekseninden gelmiştir.

Anahtar kelimeler: A(8), BS 6841 (1987), EU 2002/44/EC, ISO 2631-1, Varyans analizi, VDV_{Total} .

ABSTRACT

MEASUREMENT AND EVALUATION OF WHOLE-BODY VIBRATION OF MINING MACHINERY OPERATORS IN MINES

Tuğba DOĞAN

Doctorate Thesis, Department of Mining Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Bülent ERDEM

2018, 426+xxix pages

Within the scope of this doctoral thesis, whole-body vibration exposure measurements were taken and evaluated from the operators of 262 mining machines of different types, models and capacities used in open-pit and underground mines. Among the machines; trucks, hydraulic backhoe excavators, dozers, loaders, graders, electric excavators, vibrating rollers, drills, hydraulic breakers, draglines and bucket wheel excavators can be mentioned. The whole-body vibration exposure measurements were taken from 13 different mine and plant types operated by the state and private sectors in the Sivas and neighboring provinces and in western Anatolian region. The mines include the following: coal, aggregate, marble, gypsum, iron, gold, calcite, clay, limestone; road construction sites, ore preparation and ready-mix concrete plants and scrap iron plant.

The measurements were evaluated through the work cycle phases of the machines by using a vibration analysis package program. Thus, the general and phase-based vibration exposure of all machine operators could be determined separately. Operator exposures were evaluated over the worst-case axis in accordance with the EU 2002/44/EC directive, ISO 2631-1 (1997) and BS 6841 (1987) standards by taking into account the vibration acceleration parameter $A(8)$ and the vibration dose parameter VDV_{Total} . Likewise, the daily equivalent pressure dose (S_{ed}) parameter with which the human body response to whole-body vibration is evaluated, was assessed in accordance with the ISO 2631-5 (2004) standard over the worst-case axis for all mining machines. Based on WBV averages recorded on operator seat during the net recording phase for all mining machines, dozer operators were exposed to the highest level of vibration while those of draglines exposed to the lowest level.

For the worst-case axis criterion, in accordance with the S_{ed} parameter of ISO 2631-5 (2004) standard dozers, loaders, hydraulic breakers, vibratory rollers and hydraulic backhoe excavators are at the medium health risk zone, while other mining machines fall into the low health risk zone. According to this criterion, no group of mining equipment is in the high health risk zone. For the vector

total criterion, hydraulic breakers fall into high health risk zone; dozers, loaders, graders, vibrating rollers and hydraulic backhoe excavators rank among the medium health risk zone and trucks, bucket-wheel excavators, electric excavators, drills and draglines fall within the low health risk zone. For the worst-case axis criterion, in accordance with the R parameter of ISO 2631-5 (2004) standard all mining machine groups are situated in the low-risk zone. For the vector sum criterion however, hydraulic breakers leap to the medium risk zone while all other machine groups are left in the low health risk zone.

The measurements were recorded based on the stages of work cycle of the mining machines. Thus vibration acceleration, vibration dose, equivalent pressure dose and risk factor values could be calculated by phase. The information regarding capacity, model and type of 11 different types of mining machines along with those of operators were utilized in multiple comparison analyses with the SPSS® package. Results of univariate or multivariate analysis of variance reveal that operators of lighter mining machines have been subjected to higher levels of vibration compared to those of heavy mining machines. The operating conditions, the ground or the properties of the material were affecting the WBV exposure. The highest vibration acceleration was from the vertical Z axis.

Key words: A(8), ANOVA, BS 6841 (1987), EU 2002/44/EC, ISO 2631-1, VDV_{Total} .

İÇİNDEKİLER

ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxi
SİMGELER DİZİNİ	xxviii
KISALTMALAR DİZİNİ	xxix
1 GİRİŞ.....	1
2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
2.1 Titreşim.....	3
2.2 Titreşim Büyüklükleri ve Faktörleri	4
2.2.1 Yerdeğiştirme, Hız, İvme.....	4
2.2.2 Titreşimin frekansı ve genliği.....	5
2.2.3 Titreşimin süresi	7
2.2.4 Titreşimin yönü	7
2.3 Titreşimin Etki Yerlerine ve Frekansa göre Sınıflandırılması.....	8
2.4 Tüm Vücut Titreşimi ile ilgili Standartlar ve Ülkemizdeki Yasal Mevzuat.....	9
2.4.1 BS 6841 İnsan vücudunun mekanik titreşimlere ve tekrarlı şoklara maruziyetinin ölçümü ve değerlendirilmesi için kılavuz.....	9
2.4.2 ISO 2631-1 Mekanik titreşim ve şok - insanın tüm vücut titreşimine maruziyetinin değerlendirilmesi - Bölüm 1: genel gereksinimler (1997).....	10
2.4.3 ISO 2631-5 Mekanik titreşim ve şok - insanın tüm vücut titreşimine maruziyetinin değerlendirilmesi - Bölüm 5: çoklu şok içeren titreşimin değerlendirilmesi için yöntem (2004)	12
2.4.4 Avrupa Birliği Direktifi (EU) 2002/44/EC.....	13
2.4.5 Ülkemizdeki yasal mevzuat	14
2.5 Titreşimin Etkileri	16
2.6 Maden Kamyonları Üzerine Yapılan Öncel Çalışmaların Değerlendirilmesi.....	18
2.7 Diğer İş Makinelerinin Değerlendirilmesi	22
3 MATERYAL VE METOT	38
3.1 Giriş.....	38
3.2 Ölçülen ve Türetilen Büyüklükler	38
3.3 Hesaplanan büyüklükler	38
3.4 Tüm Vücut Titreşimi Ölçümü.....	47
3.4.1 Ölçüm düzeni	47
3.4.2 Analizör ve ivmeölçerler	48
3.4.3 Verinin İşlenmesi.....	50
3.5 Çalışma Uzayı	52
4 KAMYONLARIN TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ VE DEĞERLENDİRİLMESİ	55
4.1 Genel.....	55
4.2 Net Kayıt (RECORD) Evresi	58
4.2.1 Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme	58
4.2.2 Titreşim dozu üzerinden değerlendirme.....	61
4.2.3 Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme	64
4.3 Evrelerin Değerlendirilmesi.....	67
4.3.1 Titreşim ivmesi üzerinden tüm evrelerin değerlendirmesi.....	67
4.3.2 Titreşim dozu üzerinden tüm evrelerin değerlendirilmesi.....	71
4.3.3 Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden tüm evrelerin değerlendirilmesi.....	76

4.4 İstatistiksel Analizler	80
4.4.1 Giriş	80
4.4.2 Kamyon döngüsünü oluşturan evrelerin TVT düzeyi üzerindeki etkisi	81
4.4.3 Kamyon kapasitesinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi	83
4.4.4 Hafriyat ve maden tipi kamyonların sürücü TVT maruziyet düzeyi üzerindeki etkisi	85
4.4.5 Alttan ve arkadan boşaltma mekanizmasının sürücü TVT düzeyi üzerindeki etkisi	86
4.4.6 Sürücü yaşının TVT maruziyet düzeyi üzerindeki etkisi.....	87
4.4.7 Sürücü deneyiminin TVT maruziyet düzeyi üzerindeki etkisi.....	88
4.4.8 Kamyon yaşının TVT maruziyet düzeyi üzerindeki etkisi.....	89
4.4.9 Yeraltı ve yerüstü kamyonlarının TVT düzeyi üzerindeki etkisi	91
4.4.10 Taşınan malzemenin TVT düzeyi üzerindeki etkisi.....	91
4.4.11 Bazı manevraların ikili karşılaştırmasının TVT düzeyi üzerindeki etkisi	93
5 HIDROLİK TERSKEPÇE EKSKAVATÖRLERİN TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ VE DEĞERLENDİRİLMESİ	96
5.1 Genel.....	96
5.2 Net Kayıt (RECORD) Evresi	97
5.2.1 Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme	97
5.2.2 Titreşim dozu üzerinden değerlendirme.....	100
5.2.3 Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme	103
5.3 Evrelerin Değerlendirilmesi	106
5.3.1 Titreşim ivmesi üzerinden tüm evrelerin değerlendirmesi.....	106
5.3.2 Titreşim dozu üzerinden tüm evrelerin değerlendirmesi	109
5.3.3 Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden evrelerin değerlendirmesi.....	114
5.4 İstatistiksel Analizler	119
5.4.1 Döngü evre gruplarının TVT düzeyi üzerindeki etkisi	119
5.4.2 Hidrolik terskepçe ekskavatör kapasitesinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi	120
5.4.3 Hidrolik terskepçe ekskavatör hizmet süresinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi	121
5.4.4 Operatör yaşının TVT düzeyi üzerindeki etkisi	122
5.4.5 Operatör deneyiminin TVT düzeyi üzerindeki etkisi.....	123
5.4.6 Malzeme tipinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi	124
6 DOZERLERİN TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ VE DEĞERLENDİRİLMESİ	126
6.1 Genel.....	126
6.2 Net kayıt (RECORD) Evresi.....	127
6.2.1 Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme	127
6.2.2 Titreşim dozu üzerinden değerlendirme.....	130
6.2.3 Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme	133
6.3 Evrelerin Değerlendirmesi	136
6.3.1 Titreşim ivmesi üzerinden tüm evrelerin değerlendirmesi.....	136
6.3.2 Titreşim dozu üzerinden tüm evrelerin değerlendirilmesi.....	139
6.3.3 Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden tüm evrelerin değerlendirilmesi.....	143
6.4 İstatistiksel Analizler	148
6.4.1 Döngü evre gruplarının TVT düzeyi üzerindeki etkisi	148
6.4.2 Dozer boyutunun TVT düzeyi üzerindeki etkisi	149
6.4.3 Dozer yürüme tipinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi	150
6.4.4 Dozer hizmet süresinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi.....	151
6.4.5 Operatör yaşının TVT düzeyi üzerindeki etkisi	152
6.4.6 Operatör deneyiminin TVT düzeyi üzerindeki etkisi.....	153
6.4.7 Zemin tipinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi.....	155
6.4.8 Çalışma bölgesi zemininin TVT düzeyi üzerindeki etkisi	156
6.4.9 Bazı evrelerin TVT düzeyi bakımından karşılaştırılması.....	156
7 YÜKLEYİCİLERİN TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ VE DEĞERLENDİRİLMESİ	157
7.1 Genel.....	157
7.2 Net Kayıt (RECORD) Evresi	159

7.2.1	Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme	159
7.2.2	Titreşim dozu üzerinden değerlendirme	161
7.2.3	Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme	164
7.3	Evrelerin Değerlendirilmesi	167
7.3.1	Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme	167
7.3.2	Titreşim dozu üzerinden tüm evrelerin değerlendirmesi	170
7.3.3	Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden evrelerin değerlendirmesi	176
7.4	İstatistiksel Analizler	181
7.4.1	Döngü evre gruplarının TVT düzeyi üzerindeki etkisi	181
7.4.2	Kova kapasitesinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi	183
7.4.3	Lastik koruma zincirinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi	184
7.4.4	Yükleyici hizmet süresinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi	185
7.4.5	Operatör yaşının TVT düzeyi üzerindeki etkisi	186
7.4.6	Operatör deneyiminin TVT düzeyi üzerindeki etkisi	187
7.4.7	Zemin türünün TVT düzeyi üzerindeki etkisi	188
7.4.8	Çalışma modunun TVT düzeyi üzerindeki etkisi	189
7.4.9	Taşıma ve dönüş evrelerindeki TVT düzeyi arasında farklılık	190
8	GREYDERLERİN TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ VE DEĞERLENDİRİLMESİ	191
8.1	Genel	191
8.2	Net Kayıt (RECORD) Evresi	192
8.2.1	Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme	192
8.2.2	Titreşim dozu üzerinden değerlendirme	195
8.2.3	Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme	197
8.3	Evrelerin Değerlendirilmesi	200
8.3.1	Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme	200
8.3.2	Titreşim dozu üzerinden değerlendirme	203
8.3.3	Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme	207
8.4	İstatistiksel Analizler	212
8.4.1	Döngü evresi gruplarının TVT düzeyi üzerindeki etkisi	212
8.4.2	Greyder tipinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi	213
8.4.3	Greyder hizmet süresinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi	214
8.4.4	Operatör yaşının TVT düzeyi üzerindeki etkisi	215
8.4.5	Operatör deneyiminin TVT düzeyi üzerindeki etkisi	216
8.4.6	Zemin tipinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi	217
8.4.7	Çalışma bölgesinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi	218
8.4.8	Bazı evrelerin TVT düzeyi üzerindeki etkisi	219
9	ELEKTRİKLİ EKSKAVATÖRLERİN TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ VE DEĞERLENDİRİLMESİ	221
9.1	Genel	221
9.2	Net Kayıt (RECORD) Evresi	222
9.2.1	Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme	222
9.2.2	Titreşim dozu üzerinden değerlendirme	225
9.2.3	Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme	228
9.3	Evrelerin Değerlendirilmesi	230
9.3.1	Titreşim ivmesi üzerinden evrelerin değerlendirmesi	230
9.3.2	Titreşim dozu üzerinden evrelerin değerlendirmesi	233
9.3.3	Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden evrelerin değerlendirmesi	236
9.4	İstatistiksel Analizler	239
9.4.1	Döngü evre gruplarının TVT düzeyi üzerindeki etkisi	239
9.4.2	Elektrikli ekskavatör kova kapasitesinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi	240
9.4.3	Operatör yaşının TVT düzeyi üzerindeki etkisi	241
9.4.4	Operatör deneyiminin TVT düzeyi üzerindeki etkisi	242
10	TİTREŞİMLİ SİLİNDİRLERİN TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ VE DEĞERLENDİRİLMESİ	244
10.1	Genel	244

10.2 Net kayıt (RECORD) Evresi.....	245
10.2.1Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme	245
10.2.2Titreşim dozu üzerinden değerlendirme.....	247
10.2.3Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme	250
10.3 Evrelerin Değerlendirilmesi.....	253
10.3.1Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme	253
10.3.2Titreşim dozu üzerinden evrelerin değerlendirmesi	256
10.3.3Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme	260
10.4 İstatistiksel Analizler	264
10.4.1Döngü evre gruplarının TVT düzeyi üzerindeki etkisi	264
10.4.2Silindir tipinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi.....	266
10.4.3Silindir tambur sayısının TVT düzeyi üzerindeki etkisi.....	267
10.4.4Silindir titreşim durumunun TVT düzeyi üzerindeki etkisi.....	267
10.4.5Hizmet süresinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi.....	267
10.4.6Operatör yaşının TVT düzeyi üzerindeki etkisi	268
10.4.7Operatör deneyiminin TVT düzeyi üzerindeki etkisi.....	268
11 DELİCİLERİN TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	269
11.1 Genel.....	269
11.2 Net kayıt (RECORD) Evresi.....	270
11.2.1Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme	270
11.2.2Titreşim dozu (VDV) üzerinden değerlendirme	272
11.2.3Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme	275
11.3 Evrelerin Değerlendirilmesi.....	277
11.3.1Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme	277
11.3.2Titreşim dozu üzerinden değerlendirme.....	280
11.3.3Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme	284
11.4 İstatistiksel Analizler	286
11.4.1Döngü evre gruplarının TVT düzeyi üzerindeki etkisi	286
11.4.2Hizmet süresinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi.....	287
11.4.3Operatör yaşının TVT düzeyi üzerindeki etkisi	289
11.4.4Operatör deneyiminin TVT düzeyi üzerindeki etkisi.....	290
12 HİDROLİK KIRICILARIN TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	291
12.1 Genel.....	291
12.2 Net kayıt (RECORD) Evresi.....	292
12.2.1Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme	292
12.2.2Titreşim dozu üzerinden değerlendirme.....	294
12.2.3Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme	297
12.3 Evrelerin Değerlendirilmesi.....	299
12.3.1Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme	299
12.3.2Titreşim dozu üzerinden değerlendirme.....	302
12.3.3Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme	306
13 ÇEKMEKEPÇELERİN TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	309
13.1 Genel.....	309
13.2 Net kayıt (RECORD) Evresi.....	310
13.2.1Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme	310
13.2.2Titreşim dozu üzerinden değerlendirme.....	312
13.2.3Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme	315
13.3 Evrelerin değerlendirilmesi	317
13.3.1Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme	317
13.3.2Titreşim dozu üzerinden değerlendirme.....	319
13.3.3Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme	323

14 DÖNER KEPÇELİ EKSKAVATÖRLERİN TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ VE DEĞERLENDİRİLMESİ	326
14.1 Genel	326
14.2 Net Kayıt (RECORD) Evresi	327
14.2.1Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme	327
14.2.2Titreşim dozu üzerinden değerlendirme	329
14.2.3Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme	332
14.3 Evrelerin Değerlendirilmesi	334
14.3.1Titreşim ivmesi üzerinden tüm evrelerin değerlendirmesi	334
14.3.2Titreşim dozu üzerinden tüm evrelerin değerlendirmesi	336
14.3.3Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden tüm evrelerin değerlendirmesi	339
15. SAĞLIK RİSKİ CİDDİYETİ ÜZERİNE DEĞERLENDİRME	341
15.1 Kamyonlar	341
15.1.1Net kayıt evresinde tüm ölçütler üzerinden değerlendirme	341
15.1.2Kamyon evrelerinin tüm ölçütler üzerinden değerlendirmesi	342
15.2 Hidrolik Terskepçe Ekskavatörler	349
15.2.1Net kayıt evresinde tüm ölçütler üzerinden değerlendirme	349
15.2.2Hidrolik terskepçe ekskavatör evrelerinin tüm ölçütler üzerinden değerlendirmesi	350
15.3 Dozerler	356
15.3.1Net kayıt evresinde tüm ölçütler üzerinden değerlendirme	356
15.3.2Dozer evrelerinin tüm ölçütler üzerinden değerlendirmesi	356
15.4 Yükleyiciler	362
15.4.1Net kayıt evresinde tüm ölçütler üzerinden değerlendirme	362
15.4.2Yükleyici evrelerinin tüm ölçütler üzerinden değerlendirmesi	362
15.5 Greyderler	369
15.5.1Net kayıt evresinde tüm ölçütler üzerinden değerlendirme	369
15.5.2Greyder evrelerinin tüm ölçütler üzerinden değerlendirmesi	369
15.6 Elektrikli Ekskavatörler	375
15.6.1Net kayıt evresinde tüm ölçütler üzerinden değerlendirme	375
15.6.2Elektrikli ekskavatör evrelerinin tüm ölçütler üzerinden değerlendirmesi	375
15.7 Titreşimli Silindirler	380
15.7.1Net kayıt evresinde tüm ölçütler üzerinden değerlendirme	380
15.7.2Titreşimli silindir evrelerinin tüm ölçütler üzerinden değerlendirmesi	380
15.8 Deliciler	386
15.8.1Net kayıt evresinde tüm ölçütler üzerinden değerlendirme	386
15.8.2Delici evrelerinin tüm ölçütler üzerinden değerlendirmesi	386
15.9 Hidrolik Kırıcılar	391
15.9.1Net kayıt evresinde tüm ölçütler üzerinden değerlendirme	391
15.9.2Hidrolik kırıcı evrelerinin tüm ölçütler üzerinden değerlendirmesi	391
15.10Çekmekepçeler	397
15.10.1 Net kayıt evresinde tüm ölçütler üzerinden değerlendirme	397
15.10.2 Çekmekepçe evrelerinin tüm ölçütler üzerinden değerlendirmesi	397
15.11Döner Kepçeli Ekskavatörler	402
15.11.1 Net kayıt evresinde tüm ölçütler üzerinden değerlendirme	402
15.11.2 DKE evrelerinin tüm ölçütler üzerinden değerlendirmesi	402
16 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	407
16.1 Genel Sonuçlar	407
16.13Öneriler	413
KAYNAKLAR	415
ÖZGEÇMİŞ	426

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Bir titreşim dalgası üzerinde tepe, KOK ve tepe-tepenin gösterimi (Brüel ve Kjaer, 2002).	4
Şekil 2.2 Yer değiştirme, hız ve ivme için sinüs dalgası tepe ve çukur yerleri (Mansfield, 2005).	5
Şekil 2.3 İnsan vücudunun çeşitli bölümlerinin titreşim frekans aralığı (Brüel ve Kjaer, 2002).	6
Şekil 2.4 Oturma pozisyonunda x, y, z ekseninde titreşim ölçüm yönleri (ISO 2631-1, 1997).	8
Şekil 2.5 Ağırlıklandırılmış frekans eğrileri (Brüel ve Kjaer, 2002).	11
Şekil 3.1 Girdi (a_{sx}) ve tepki (a_{ix}) ivmeleri (ISO 2631-5, 2004).	47
Şekil 4.1 Kamyonların A(8) değerleri.	59
Şekil 4.2 Kamyonların A(8) değerlerinin 1/3 oktav baskın frekansları.	61
Şekil 4.3 Kamyonların VDV _{Total} değerleri.	62
Şekil 4.4 Kamyonların VDV – eVDV ilişkisi.	63
Şekil 4.5 Kamyon sürücülerinin A(8) – VDV _{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki.	64
Şekil 4.6 Kamyon sürücülerinin S _{ed} – R faktörü ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki.	66
Şekil 4.7 Kamyon sürücülerinin S _{ed} – A(8) ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki.	66
Şekil 4.8 Kamyon sürücülerinin S _{ed} – VDV _{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki.	67
Şekil 4.9 Kamyon döngü evrelerinde A(8) değerleri.	69
Şekil 4.10 Kamyon döngü evrelerinde VDV _{Total} değerleri.	73
Şekil 4.11 Kamyon döngü evrelerinde VDV – eVDV ilişkisi.	75
Şekil 4.12 Kamyon döngü evrelerinde sürücülerin A(8) – VDV _{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki.	76
Şekil 4.13 Kamyon döngü evrelerinde sürücülerin S _{ed} – R faktörü ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki.	78
Şekil 4.14 Kamyon döngü evrelerinde sürücülerin S _{ed} – A(8) ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki.	79
Şekil 4.15 Kamyon döngü evrelerinde sürücülerin S _{ed} – VDV _{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki.	80
Şekil 5.1 Hidrolik terskepçe ekskavatörlerin A(8) değerleri.	98
Şekil 5.2 Hidrolik terskepçe ekskavatörlerin A(8) değerlerinin 1/3 oktav baskın frekansları.	100
Şekil 5.3 Hidrolik terskepçe ekskavatörlerin VDV _{Total} değerleri.	101
Şekil 5.4 Hidrolik terskepçe ekskavatörlerin VDV – eVDV ilişkisi.	102
Şekil 5.5 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin A(8) – VDV _{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki.	103
Şekil 5.6 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin S _{ed} – R faktörü ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki.	104
Şekil 5.7 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin S _{ed} – A(8) ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki.	105
Şekil 5.8 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin S _{ed} – VDV _{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki.	105
Şekil 5.9 Hidrolik terskepçe ekskavatör evrelerinde A(8) değerleri.	107
Şekil 5.10 Hidrolik terskepçe ekskavatör evrelerinde VDV _{Total} değerlerinin EAV ve ELV sınırları ile karşılaştırılması.	112
Şekil 5.11 Hidrolik terskepçe ekskavatörlerin evreler bazında VDV – eVDV ilişkisi.	113
Şekil 5.12 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin evreler bazında A(8) – VDV _{Total} ilişkisi.	114
Şekil 5.13 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin evrelerdeki S _{ed} – R faktörü ilişkisi.	116
Şekil 5.14 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin evrelerdeki S _{ed} – A(8) ilişkisi.	117
Şekil 5.15 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin evrelerdeki S _{ed} – VDV _{Total} ilişkisi.	118
Şekil 6.1 Dozerlerin A(8) değerleri.	128
Şekil 6.2 Dozerlerin A(8) değerlerinin 1/3 oktav baskın frekansları.	130
Şekil 6.3 Dozerlerin VDV _{Total} değerleri.	131
Şekil 6.4 Dozerlerin VDV – eVDV ilişkisi.	132
Şekil 6.5 Dozer operatörlerinin A(8) – VDV _{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki.	133
Şekil 6.6 Dozer operatörlerinin S _{ed} – R faktörü ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki.	134
Şekil 6.7 Dozer operatörlerinin S _{ed} – A(8) ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki.	135
Şekil 6.8 Dozer operatörlerinin S _{ed} – VDV _{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki.	135

Şekil 6.9 Dozer evrelerinde A(8) değerleri.....	138
Şekil 6.10 Dozer evrelerinde VDV _{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması.....	141
Şekil 6.11 Dozerlerin evrelerdeki VDV – eVDV ilişkisi	142
Şekil 6.12 Dozerlerin evrelerdeki A(8) – VDV _{Total} ilişkisi.....	143
Şekil 6.13 Dozer operatörlerinin evreler bazında S _{ed} – R faktörü ilişkisi	145
Şekil 6.14 Dozer operatörlerinin evreler bazında S _{ed} – A(8) ilişkisi	146
Şekil 6.15 Dozer operatörlerinin evreler bazında S _{ed} – VDV _{Total} ilişkisi	147
Şekil 7.1 Yükleyicilerin A(8) değerleri	159
Şekil 7.2 Yükleyicilerin A(8) değerlerinin 1/3 oktav baskın frekansları	161
Şekil 7.3 Yükleyicilerin VDV _{Total} değerleri	162
Şekil 7.4 Yükleyicilerin VDV – eVDV ilişkisi.....	163
Şekil 7.5 Yükleyici operatörlerinin A(8) – VDV _{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki.....	164
Şekil 7.6 Yükleyici operatörlerinin S _{ed} – R faktörü ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki.....	165
Şekil 7.7 Yükleyici operatörlerinin S _{ed} – A(8) ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki.....	166
Şekil 7.8 Yükleyici operatörlerinin S _{ed} – VDV _{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki.....	166
Şekil 7.9 Yükleyici evrelerinde A(8) değerleri	168
Şekil 7.10 Yükleyici evrelerinde VDV _{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması	172
Şekil 7.11 Yükleyici döngü evrelerindeki VDV – eVDV ilişkisi.....	174
Şekil 7.12 Yükleyici döngü evrelerindeki A(8) – VDV _{Total} ilişkisi	175
Şekil 7.13 Yükleyici operatörlerinin evreler bazında S _{ed} – R faktörü ilişkisi	178
Şekil 7.14 Yükleyici operatörlerinin evreler bazında S _{ed} – A(8) ilişkisi	179
Şekil 7.15 Yükleyici operatörlerinin evreler bazında S _{ed} – VDV _{Total} ilişkisi.....	180
Şekil 8.1 Greyderlerin A(8) değerleri	193
Şekil 8.2 Greyderlerin A(8) değerlerinin 1/3 oktav baskın frekansları	194
Şekil 8.3 Greyderlerin VDV _{Total} değerleri	195
Şekil 8.4 Greyderlerin VDV – eVDV ilişkisi.....	196
Şekil 8.5 Greyder operatörlerinin A(8) – VDV _{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki	197
Şekil 8.6 Greyder operatörlerinin S _{ed} – R faktörü ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki.....	198
Şekil 8.7 Greyder operatörlerinin S _{ed} – A(8) ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki.....	199
Şekil 8.8 Greyder operatörlerinin S _{ed} – VDV _{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki.....	199
Şekil 8.9 Greyder evrelerinde A(8) değerleri	201
Şekil 8.10 Greyder evrelerinde VDV _{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması	205
Şekil 8.11 Greyder evrelerinde VDV – eVDV ilişkisi.....	206
Şekil 8.12 Greyder operatörlerinin evrelerdeki A(8) – VDV _{Total} ilişkisi	207
Şekil 8.13 Greyder operatörlerinin evreler bazında S _{ed} – R faktörü ilişkisi.....	209
Şekil 8.14 Greyder operatörlerinin evreler bazında S _{ed} – A(8) ilişkisi.....	210
Şekil 8.15 Greyder operatörlerinin evreler bazında S _{ed} – VDV _{Total} ilişkisi.....	211
Şekil 9.1 Elektrikli ekskavatörlerin A(8) değerleri	223
Şekil 9.2 Elektrikli ekskavatörlerin A(8) değerlerinin 1/3 oktav baskın frekansları	224
Şekil 9.3 Elektrikli ekskavatörlerin VDV _{Total} değerleri.....	225
Şekil 9.4 Elektrikli ekskavatörlerin VDV – eVDV ilişkisi.....	227
Şekil 9.5 Elektrikli ekskavatör operatörlerinin A(8) – VDV _{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki	227
Şekil 9.6 Elektrikli ekskavatör operatörlerinin S _{ed} – R faktörü ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki	229
Şekil 9.7 Elektrikli ekskavatör operatörlerinin S _{ed} – A(8) ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki	229
Şekil 9.8 Elektrikli ekskavatör operatörlerinin S _{ed} – VDV _{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki	230
Şekil 9.9 Elektrikli ekskavatör evrelerinde A(8) değerleri	232
Şekil 9.10 Elektrikli ekskavatör evrelerinde VDV _{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması	234
Şekil 9.11 Elektrikli ekskavatör evrelerinde VDV – eVDV ilişkisi.....	235
Şekil 9.12 Elektrikli ekskavatör operatörlerinin evrelerdeki A(8) – VDV _{Total} ilişkisi	236
Şekil 9.13 Elektrikli ekskavatör operatörlerinin evreler bazında S _{ed} – R faktörü ilişkisi.....	237
Şekil 9.14 Elektrikli ekskavatör operatörlerinin evreler bazında S _{ed} – A(8) ilişkisi.....	238
Şekil 9.15 Elektrikli ekskavatör operatörlerinin evreler bazında S _{ed} – VDV _{Total} ilişkisi.....	239
Şekil 10.1 Titreşimli silindirlerin A(8) değerleri.....	246

Şekil 10.2	Titreşimli silindirlerin A(8) değerlerinin 1/3 oktav baskın frekansları	247
Şekil 10.3	Titreşimli silindirlerin VDV _{Total} değerleri.....	248
Şekil 10.4	Titreşimli silindirlerin VDV – eVDV ilişkisi	249
Şekil 10.5	Titreşimli silindir operatörlerinin A(8) – VDV _{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki	250
Şekil 10.6	Titreşimli silindir operatörlerinin S _{ed} – R faktörü ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki	251
Şekil 10.7	Titreşimli silindir operatörlerinin S _{ed} – A(8) ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki ..	252
Şekil 10.8	Titreşimli silindir operatörlerinin S _{ed} – VDV _{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki	252
Şekil 10.9	Titreşimli silindir evrelerinde A(8) değerleri.....	254
Şekil 10.10	Titreşimli silindir evrelerinde VDV _{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması	257
Şekil 10.11	Titreşimli silindir evrelerinde VDV – eVDV ilişkisi	259
Şekil 10.12	Titreşimli silindir operatörlerinin evrelerdeki A(8) – VDV _{Total} ilişkisi	260
Şekil 10.13	Titreşimli silindir operatörlerinin evreler bazında S _{ed} – R faktörü ilişkisi	262
Şekil 10.14	Titreşimli silindir operatörlerinin evreler bazında S _{ed} – A(8) ilişkisi	263
Şekil 10.15	Titreşimli silindir operatörlerinin evreler bazında S _{ed} – VDV _{Total} ilişkisi	264
Şekil 11.1	Delicilerin A(8) değerleri.....	271
Şekil 11.2	Delicilerin A(8) değerlerinin 1/3 oktav baskın frekansları	272
Şekil 11.3	Delicilerin VDV _{Total} değerleri.....	273
Şekil 11.4	Delicilerin VDV – eVDV ilişkisi	274
Şekil 11.5	Delici operatörlerinin A(8) – VDV _{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki	275
Şekil 11.6	Delici operatörlerinin S _{ed} – R faktörü ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki	276
Şekil 11.7	Delici operatörlerinin S _{ed} – A(8) ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki	276
Şekil 11.8	Delici operatörlerinin S _{ed} – VDV _{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki	277
Şekil 11.9	Delici evrelerinde A(8) değerleri	278
Şekil 11.10	Delici evrelerinin VDV _{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması.....	281
Şekil 11.11	Delici evrelerinde VDV – eVDV ilişkisi	282
Şekil 11.12	Delici operatörlerinin evrelerdeki A(8) – VDV _{Total} ilişkisi	283
Şekil 11.13	Delici operatörlerinin evreler bazında S _{ed} – R faktörü ilişkisi	284
Şekil 11.14	Delici operatörlerinin evreler bazında S _{ed} – A(8) ilişkisi.....	285
Şekil 11.15	Delici operatörlerinin evreler bazında S _{ed} – VDV _{Total} ilişkisi	286
Şekil 12.1	Hidrolik kırıcıların A(8) değerleri	292
Şekil 12.2	Hidrolik kırıcıların A(8) değerlerinin 1/3 oktav baskın frekansları	294
Şekil 12.3	Hidrolik kırıcıların VDV _{Total} değerleri	295
Şekil 12.4	Hidrolik kırıcıların VDV – eVDV ilişkisi.....	296
Şekil 12.5	Hidrolik kırıcı operatörlerinin A(8) – VDV _{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki	297
Şekil 12.6	Hidrolik kırıcı operatörlerinin S _{ed} – R faktörü ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki	298
Şekil 12.7	Hidrolik kırıcı operatörlerinin S _{ed} – A(8) ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki	298
Şekil 12.8	Hidrolik kırıcı operatörlerinin S _{ed} – VDV _{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki ..	299
Şekil 12.9	Hidrolik kırıcı evrelerinde A(8) değerleri	300
Şekil 12.10	Hidrolik kırıcı evrelerinde VDV _{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması ...	303
Şekil 12.11	Hidrolik kırıcı evrelerinde evresinde VDV – eVDV ilişkisi	305
Şekil 12.12	Hidrolik kırıcı operatörlerinin evrelerdeki A(8) – VDV _{Total} ilişkisi	305
Şekil 12.13	Hidrolik kırıcı operatörlerinin evreler bazında S _{ed} – R faktörü ilişkisi.....	307
Şekil 12.14	Hidrolik kırıcı operatörlerinin evreler bazında S _{ed} – A(8) ilişkisi.....	307
Şekil 12.15	Hidrolik kırıcı operatörlerinin evreler bazında S _{ed} – VDV _{Total} ilişkisi	308
Şekil 13.1	Çekmekepçelerin A(8) değerleri	310
Şekil 13.2	Çekmekepçelerin A(8) değerlerinin 1/3 oktav baskın frekansları	312
Şekil 13.3	Çekmekepçelerin VDV _{Total} değerleri	313
Şekil 13.4	Çekmekepçelerin VDV – eVDV ilişkisi.....	314
Şekil 13.5	Çekmekepçe operatörlerinin A(8) – VDV _{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki	314
Şekil 13.6	Çekmekepçe operatörlerinin S _{ed} – R faktörü ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki	316
Şekil 13.7	Çekmekepçe operatörlerinin S _{ed} – A(8) ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki	316
Şekil 13.8	Çekmekepçe operatörlerinin S _{ed} – VDV _{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki ..	316
Şekil 13.9	Çekmekepçe evrelerinde A(8) değerleri	318
Şekil 13.10	Çekmekepçe evrelerinde VDV _{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması ...	320

Şekil 13.11 Çekmekepçe evrelerinde VDV – eVDV ilişkisi.....	322
Şekil 13.12 Çekmekepçe operatörlerinin evrelerdeki A(8) – VDV _{Total} ilişkisi	322
Şekil 13.13 Çekmekepçe operatörlerinin evreler bazında S _{ed} – R faktörü ilişkisi.....	324
Şekil 13.14 Çekmekepçe operatörlerinin evreler bazında S _{ed} – A(8) ilişkisi	324
Şekil 13.15 Çekmekepçe operatörlerinin evreler bazında S _{ed} – VDV _{Total} ilişkisi.....	325
Şekil 14.1 DKE'lerin A(8) değerleri	327
Şekil 14.2 DKE'lerin A(8) değerlerinin 1/3 oktav baskın frekansları	329
Şekil 14.3 DKE'lerin VDV _{Total} değerleri	330
Şekil 14.4 DKE'lerin VDV – eVDV ilişkisi.....	331
Şekil 14.5 DKE operatörlerinin A(8) – VDV _{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki.....	332
Şekil 14.6 DKE operatörlerinin S _{ed} – R faktörü ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki.....	333
Şekil 14.7 DKE operatörlerinin S _{ed} – A(8) ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki	333
Şekil 14.8 DKE operatörlerinin S _{ed} – VDV _{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki.....	334
Şekil 14.9 DKE evrelerinde A(8) değerleri	335
Şekil 14.10 DKE evrelerinde VDV _{Total} değerlerinin HGZ sınırları ile karşılaştırılması	337
Şekil 14.11 DKE evrelerinde VDV – eVDV ilişkisi	338
Şekil 14.12 DKE operatörlerinin evrelerdeki A(8) – VDV _{Total} ilişkisi	338
Şekil 14.13 DKE operatörlerinin evreler bazında S _{ed} – R faktörü ilişkisi	340
Şekil 14.14 DKE operatörlerinin evreler bazında S _{ed} – A(8) ilişkisi	340
Şekil 14.15 DKE operatörlerinin evreler bazında S _{ed} – VDV _{Total} ilişkisi	340
Şekil 15.1 Kamyon sürücülerinin her evrede Vector ₁₋₃ ve A(8) değerlerine göre sağlık riski	344
Şekil 15.2 Kamyon sürücülerinin her evrede Vector ₁₋₃ ve VDV _{Total} değerlerine göre sağlık riski ..	345
Şekil 15.3 Kamyon sürücülerinin her evrede S _{ed} ve R faktörü değerlerine göre sağlık riski	345
Şekil 15.4 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin evrelere göre Vector ₁₋₃ ve A(8) değerlerine göre sağlık riski.....	352
Şekil 15.5 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin evrelere göre Vector ₁₋₃ ve VDV _{Total} değerlerine göre sağlık riski	352
Şekil 15.6 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin evrelere göre S _{ed} ve R faktörü değerlerine göre sağlık riski.....	353
Şekil 15.7 Dozer operatörlerinin evrelere göre Vector ₁₋₃ ve A(8) değerlerine göre sağlık riski	359
Şekil 15.8 Dozer operatörlerinin evrelere göre Vector ₁₋₃ ve VDV _{Total} değerlerine göre sağlık riski	359
Şekil 15.9 Dozer operatörlerinin evrelere göre S _{ed} ve R faktörü değerlerine göre sağlık riski	360
Şekil 15.10 Yükleyici operatörlerinin evrelere göre Vector ₁₋₃ ve A(8) değerlerine göre sağlık riski	365
Şekil 15.11 Yükleyici operatörlerinin evrelere göre Vector ₁₋₃ ve VDV _{Total} değerlerine göre sağlık riski	365
Şekil 15.12 Yükleyici operatörlerinin evrelere göre S _{ed} ve R faktörü değerlerine göre sağlık riski	366
Şekil 15.13 Greyder operatörlerinin evrelere göre Vector ₁₋₃ ve A(8) değerlerine göre sağlık riski	372
Şekil 15.14 Greyder operatörlerinin evrelere göre Vector ₁₋₃ ve VDV _{Total} değerlerine göre sağlık riski	372
Şekil 15.15 Greyder operatörlerinin evrelere göre S _{ed} ve R faktörü değerlerine göre sağlık riski	373
Şekil 15.16 Elektrikli ekskavatör operatörlerinin evrelere göre Vector ₁₋₃ ve A(8) değerlerine göre sağlık riski	377
Şekil 15.17 Elektrikli ekskavatör operatörlerinin evrelere göre Vector ₁₋₃ ve VDV _{Total} değerlerine göre sağlık riski	378
Şekil 15.18 Elektrikli ekskavatör operatörlerinin evrelere göre S _{ed} ve R faktörü değerlerine göre sağlık riski	378
Şekil 15.19 Titreşimli silindir operatörlerinin evrelere göre Vector ₁₋₃ ve A(8) değerlerine göre sağlık riski.....	383
Şekil 15.20 Titreşimli silindir operatörlerinin evrelere göre Vector ₁₋₃ ve VDV _{Total} değerlerine göre sağlık riski	383
Şekil 16.21 Titreşimli silindir operatörlerinin evrelere göre S _{ed} ve R faktörü değerlerine göre sağlık riski.....	384
Şekil 15.22 Delici operatörlerinin evrelere göre Vector ₁₋₃ ve A(8) değerlerine göre sağlık riski	388
Şekil 15.23 Delici operatörlerinin evrelere göre Vector ₁₋₃ ve VDV _{Total} değerlerine göre sağlık riski	389
Şekil 15.24 Delici operatörlerinin evrelere göre S _{ed} ve R faktörü değerlerine göre sağlık riski	389

Şekil 15.25 Hidrolik kırıcı operatörlerinin evrelere göre $Vector_{1-3}$ ve $A(8)$ değerlerine göre sağlık riski	393
Şekil 15.26 Hidrolik kırıcı operatörlerinin evrelere göre $Vector_{1-3}$ ve $A(8)$ değerlerine göre sağlık riski	394
Şekil 15.27 Hidrolik kırıcı operatörlerinin evrelere göre S_{ed} ve R faktörü değerlerine göre sağlık riski	395
Şekil 15.28 Çekmekepçe operatörlerinin evrelere göre $Vector_{1-3}$ ve $A(8)$ değerlerine göre sağlık riski	399
Şekil 15.39 Çekmekepçe operatörlerinin evrelere göre $Vector_{1-3}$ ve VDV_{Total} değerlerine göre sağlık riski.....	399
Şekil 15.30 Çekmekepçe operatörlerinin evrelere göre S_{ed} ve R faktörü değerlerine göre sağlık riski	400
Şekil 15.31 DKE operatörlerinin evrelere göre $Vector_{1-3}$ ve $A(8)$ değerlerine göre sağlık riski	404
Şekil 15.32 DKE operatörlerinin evrelere göre $Vector_{1-3}$ ve VDV_{Total} değerlerine göre sağlık riski	404
Şekil 15.33 DKE operatörlerinin evrelere göre S_{ed} ve R faktörü değerlerine göre sağlık riski	405
Şekil 16.1 Tüm iş makinesi operatörlerinin $Vector_{1-3}$ ve $A(8)$ değerlerine göre sağlık riski	408
Şekil 16.2 Tüm iş makinesi operatörlerinin $Vector_{1-3}$ ve VDV_{total} değerlerine göre sağlık riski	409
Şekil 16.3 Tüm iş makinesi operatörlerinin S_{ed} ve R faktörü değerlerine göre sağlık riski	410

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Vücut bölümlerinin titreşime duyarlı olduğu frekans aralıkları (Öztürk vd, 2009)	6
Çizelge 2.2 TVT için maruziyet sınır ve HGCZ değerleri (Gryllias, 2016)	13
Çizelge 2.3 TVT için maruz kalma sınır değerleri (van Niekerk, 2008; Eger ve Godwin, 2014)	14
Çizelge 3.1 Çalışmada ölçüm alınan iş makineleri	53
Çizelge 3.2 İş makinelerinin işletmelere dağılımı	54
Çizelge 4.1 Kamyonların temel bilgileri	56
Çizelge 4.2 Kamyon sürücülerinin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi	59
Çizelge 4.3 Kamyon sürücülerinin VDV _{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi.....	62
Çizelge 4.4 Kamyon döngü evrelerinde titreşim ivmesi parametreleri	68
Çizelge 4.5 Kamyon döngü evrelerinde sürücülerin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi	70
Çizelge 4.6 Kamyon döngü evrelerinde A(8) değerine göre en kötü durum eksenleri.....	70
Çizelge 4.7 Kamyon döngü evrelerinde titreşim ivmesi doruk faktörleri.....	70
Çizelge 4.8 Kamyon döngü evrelerinde titreşim ivmesi SEAT faktörleri	71
Çizelge 4.9 Kamyon döngü evrelerinde titreşim dozu parametreleri.....	72
Çizelge 4.10 Kamyon döngü evrelerinde sürücülerin VDV _{Total} değerine göre sağlık riski.....	72
Çizelge 4.11 Kamyon döngü evrelerinde VDV _{Total} değerine göre en kötü durum eksenleri.....	74
Çizelge 4.12 Kamyon döngü evrelerinde titreşim dozu doruk faktörleri	74
Çizelge 4.13 Kamyon döngü evrelerinde sürücülerin S _{ed} ve R faktörleri.....	77
Çizelge 4.14 Kamyon döngü evrelerinde sürücülerin S _{ed} ve R faktörüne göre sağlık riski	77
Çizelge 4.15 Kamyon döngüsünü oluşturan evrelerin betimleyici istatistikleri	82
Çizelge 4.16 Kamyon döngüsü evrelerinin çoklu karşılaştırması	82
Çizelge 4.17 Kamyon döngüsü evreleri için ki-kare testi ile karşılaştırma sonuçları.....	83
Çizelge 4.18 Kamyon kapasitesini oluşturan grupların betimleyici istatistikleri	84
Çizelge 4.19 Kamyon kapasitesi gruplarının çoklu karşılaştırması	84
Çizelge 4.20 Kamyon tipi grupları için varyansların grup istatistikleri.....	85
Çizelge 4.21 Kamyon tipi grupları için bağımsız örneklem testi	85
Çizelge 4.22 Boşaltma mekanizması grupları için varyansların grup istatistikleri	86
Çizelge 4.23 Boşaltma mekanizması grupları için bağımsız örneklem testi	86
Çizelge 4.24 Sürücü yaş gruplarını oluşturan grupların betimleyici istatistikleri.....	87
Çizelge 4.25 Sürücü yaş gruplarının çoklu karşılaştırması	88
Çizelge 4.26 Sürücü deneyimi gruplarını oluşturan grupların betimleyici istatistikleri.....	89
Çizelge 4.27 Sürücü deneyimi gruplarının çoklu karşılaştırması.....	89
Çizelge 4.28 Kamyon yaşı gruplarını oluşturan grupların betimleyici istatistikleri	90
Çizelge 4.29 Kamyon yaşı gruplarının çoklu karşılaştırması.....	90
Çizelge 4.30 Yeraltı ve yerüstü kamyon grupları için varyansların grup istatistikleri.....	91
Çizelge 4.31 Yeraltı ve yerüstü tipi kamyonlar için bağımsız örneklem testi.....	91
Çizelge 4.32 Taşınan malzeme grupları için varyansların grup istatistikleri.....	92
Çizelge 4.33 Taşınan malzeme grupları için bağımsız örneklem testi	92
Çizelge 4.34 Evre grupları için varyansların grup istatistikleri	93
Çizelge 4.35 Evre grupları için bağımsız örneklem testi	93
Çizelge 4.36 Manevra grupları için varyansların grup istatistikleri	94
Çizelge 4.37 Manevra grupları için bağımsız örneklem testi	94
Çizelge 4.38 Evre grupları için varyansların grup istatistikleri	95
Çizelge 4.39 Evre grupları için bağımsız örneklem testi	95
Çizelge 5.1 Hidrolik terskepçe ekskavatörlerin temel bilgileri.....	97
Çizelge 5.2 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi	99
Çizelge 5.3 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin VDV _{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi	102
Çizelge 5.4 Hidrolik terskepçe ekskavatör döngü evrelerinde titreşim ivmesi parametreleri	108
Çizelge 5.5 Hidrolik terskepçe ekskavatör döngü evrelerinde operatörlerin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi.....	108

Çizelge 5.6 Hidrolik terskepçe ekskavatör döngü evrelerinde A(8) değerine göre en kötü durum eksenleri.....	108
Çizelge 5.7 Hidrolik terskepçe ekskavatör döngü evrelerinde titreşim ivmesi doruk faktörleri	109
Çizelge 5.8 Hidrolik terskepçe ekskavatör döngü evrelerinde titreşim ivmesi SEAT faktörleri	109
Çizelge 5.9 Hidrolik terskepçe ekskavatör döngü evrelerinde titreşim dozu parametreleri.....	110
Çizelge 5.10 Hidrolik terskepçe ekskavatör döngü evrelerinde operatörlerin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi.....	110
Çizelge 5.11 Hidrolik terskepçe ekskavatör döngü evrelerinde VDV_{Total} değerine göre en kötü durum eksenleri.....	110
Çizelge 5.12 Hidrolik terskepçe ekskavatör döngü evrelerinde titreşim dozu doruk faktörleri	111
Çizelge 5.13 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin döngü evrelerindeki S_{ed} ve R faktörleri	115
Çizelge 5.14 Hidrolik terskepçe ekskavatör döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörüne göre sağlık riski	115
Çizelge 5.15 Hidrolik ekskavatör döngüsünü oluşturan evrelerin betimleyici istatistikleri	119
Çizelge 5.16 Hidrolik ekskavatör döngüsü evrelerinin çoklu karşılaştırması.....	120
Çizelge 5.17 Ekskavatör kova kapasitesi gruplarının betimleyici istatistikleri	121
Çizelge 5.18 Ekskavatör kova kapasitesi gruplarının çoklu karşılaştırması	121
Çizelge 5.19 Ekskavatör hizmet süresi gruplarının betimleyici istatistikleri.....	122
Çizelge 5.20 Ekskavatör hizmet süresi gruplarının çoklu karşılaştırması	122
Çizelge 5.21 Operatör yaşı gruplarının betimleyici istatistikleri	123
Çizelge 5.22 Operatör yaş gruplarının çoklu karşılaştırması.....	123
Çizelge 5.23 Operatör deneyimi gruplarının betimleyici istatistikleri	124
Çizelge 5.24 Operatör deneyimi gruplarının çoklu karşılaştırması.....	124
Çizelge 5.25 Zemin tipi grupları için varyansların grup istatistikleri.....	125
Çizelge 5.26 Malzeme tipi grupları için bağımsız örneklem testi.....	125
Çizelge 6.1 Dozerlerin temel özellikleri.....	127
Çizelge 6.2 Dozer operatörlerinin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi	129
Çizelge 6.3 Dozer operatörlerinin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi.....	131
Çizelge 6.4 Dozer döngü evrelerinde titreşim ivmesi parametreleri	136
Çizelge 6.5 Dozer döngü evrelerinde operatörlerin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi	136
Çizelge 6.6 Dozer döngü evrelerinde A(8) değerine göre en kötü durum eksenleri	137
Çizelge 6.7 Dozer döngü evrelerinde titreşim ivmesi doruk faktörleri	137
Çizelge 6.8 Dozer döngü evrelerinde titreşim ivmesi SEAT faktörleri	139
Çizelge 6.9 Dozer döngü evrelerinde titreşim dozu parametreleri	139
Çizelge 6.10 Dozer döngü evrelerinde operatörlerin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi .	140
Çizelge 6.11 Dozer döngü evrelerinde VDV_{Total} değerine göre en kötü durum eksenleri.....	140
Çizelge 6.12 Dozer döngü evrelerinde titreşim dozu doruk faktörleri.....	140
Çizelge 6.13 Dozer operatörlerinin döngü evrelerindeki S_{ed} ve R faktörleri	144
Çizelge 6.14 Dozer döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörüne göre sağlık riski	144
Çizelge 6.15 Dozer döngüsünü oluşturan evrelerin betimleyici istatistikleri	148
Çizelge 6.16 Dozer döngüsü evrelerinin çoklu karşılaştırması.....	149
Çizelge 6.17 Dozer boyutu grupları için varyansların grup istatistikleri	150
Çizelge 6.18 Dozer boyutu için bağımsız örneklem testi.....	150
Çizelge 6.19 Dozer yürüme aksanı gruplarının istatistikleri	150
Çizelge 6.20 Dozer yürüme aksanı için bağımsız örneklem testi.....	151
Çizelge 6.21 Dozer hizmet süresi gruplarının betimleyici istatistikleri	151
Çizelge 6.22 Paletli dozer hizmet süresi grupları için çoklu karşılaştırma sonuçları	152
Çizelge 6.23 Operatör yaşı gruplarının betimleyici istatistikleri	153
Çizelge 6.24 Operatör yaşı gruplarının için çoklu karşılaştırması	153
Çizelge 6.25 Operatör deneyimi gruplarının betimleyici istatistikleri	154
Çizelge 6.26 Operatör deneyimi 5 yıllık grupları için çoklu karşılaştırma sonuçları	154
Çizelge 6.27 Zemin tipi grupları için varyansların grup istatistikleri.....	155
Çizelge 6.28 Zemin tipi grupları için bağımsız örneklem testi	155
Çizelge 6.29 Çalışma bölgesi zemini grupları için varyansların homojenliği testi sonuçları.....	156
Çizelge 6.30 Çalışma bölgesi zemini grupları için bağımsız örneklem testi.....	156
Çizelge 7.1 Yükleyicilere ait temel bilgiler	158
Çizelge 7.2 Yükleyici operatörlerinin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi.....	160

Çizelge 7.3 Yükleyici operatörlerinin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi	162
Çizelge 7.4 Yükleyici döngü evrelerinde titreşim ivmesi parametreleri	167
Çizelge 7.5 Yükleyici döngü evrelerinde operatörlerin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi	169
Çizelge 7.6 Yükleyici döngü evrelerinde A(8) değerine göre en kötü durum eksenleri	169
Çizelge 7.7 Yükleyici döngü evrelerinde titreşim ivmesi doruk faktörleri	170
Çizelge 7.8 Yükleyici döngü evrelerinde titreşim ivmesi SEAT faktörleri	170
Çizelge 7.9 Yükleyici döngü evrelerinde titreşim dozu parametreleri	171
Çizelge 7.10 Yükleyici döngü evrelerinde operatörlerin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi	173
Çizelge 7.11 Yükleyici döngü evrelerinde VDV_{Total} değerine göre en kötü durum eksenleri	173
Çizelge 7.12 Yükleyici döngü evrelerinde titreşim dozu doruk faktörleri	173
Çizelge 7.13 Yükleyici döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörleri	176
Çizelge 7.14 Yükleyici döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörüne göre sağlık riski	177
Çizelge 7.15 Yükleyici döngüsünü oluşturan evrelerin betimleyici istatistikleri	181
Çizelge 7.16 Yükleyici döngüsü evrelerinin çoklu karşılaştırması	182
Çizelge 7.17 Yükleyicilerin kova kapasitesi gruplarının betimleyici istatistikleri	183
Çizelge 7.18 Yükleyici kova kapasitesi gruplarının çoklu karşılaştırması	184
Çizelge 7.19 Yükleyicilerin lastik koruma zinciri gruplarının betimleyici istatistikleri	184
Çizelge 7.20 Yükleyici lastik koruma zinciri gruplarının çoklu karşılaştırması	185
Çizelge 7.21 Yükleyici hizmet süresi gruplarının betimleyici istatistikleri	185
Çizelge 7.22 Yükleyici hizmet süresi grupları için çoklu karşılaştırması	186
Çizelge 7.23 Operatör yaşı gruplarının betimleyici istatistikleri	186
Çizelge 7.24 Operatör yaş grupları için çoklu karşılaştırma	187
Çizelge 7.25 Operatör deneyimi gruplarının betimleyici istatistikleri	187
Çizelge 7.26 5 yıllık operatör deneyimi grupları için çoklu karşılaştırma	188
Çizelge 7.27 Zemin tipi grupları için grup istatistikleri	189
Çizelge 7.28 Zemin tipi grupları için bağımsız örneklem testi	189
Çizelge 7.29 Çalışma şekli grupları için grup istatistikleri	189
Çizelge 7.30 Çalışma modu grupları için bağımsız örneklem testi	190
Çizelge 7.31 Taşıma ve dönüş evrelerinin grup istatistikleri	190
Çizelge 7.32 Taşıma ve dönüş evreleri için bağımsız örneklem testi	190
Çizelge 8.1 Greyderlerin temel bilgileri	192
Çizelge 8.2 Greyder operatörlerinin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi	193
Çizelge 8.3 Greyder operatörlerinin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi	196
Çizelge 8.4 Greyder döngü evrelerinde titreşim ivmesi parametreleri	200
Çizelge 8.5 Greyder döngü evrelerinde operatörlerin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi	202
Çizelge 8.6 Greyder döngü evrelerinde A(8) değerine göre en kötü durum eksenleri	202
Çizelge 8.7 Greyder döngü evrelerinde titreşim ivmesi doruk faktörleri	202
Çizelge 8.8 Greyder döngü evrelerinde titreşim ivmesi SEAT faktörleri	203
Çizelge 8.9 Greyder döngü evrelerinde titreşim dozu parametreleri	204
Çizelge 8.10 Greyder döngü evrelerinde operatörlerin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi	204
Çizelge 8.11 Greyder döngü evrelerinde VDV_{Total} değerine göre en kötü durum eksenleri	204
Çizelge 8.12 Greyder döngü evrelerinde titreşim dozu doruk faktörleri	206
Çizelge 8.13 Greyder döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörleri	208
Çizelge 8.14 Greyder döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörüne göre sağlık riski	208
Çizelge 8.15 Greyder döngüsünü oluşturan evrelerin betimleyici istatistikleri	212
Çizelge 8.16 Greyder döngüsü evrelerinin çoklu karşılaştırması	213
Çizelge 8.17 Greyder tipi grupları için varyansların grup istatistikleri	214
Çizelge 8.18 Greyder tipi grupları için bağımsız örneklem testi	214
Çizelge 8.19 Greyder hizmet süresi gruplarının betimleyici istatistikleri	215
Çizelge 8.20 Greyder hizmet süresi grupları için çoklu karşılaştırma sonuçları	215
Çizelge 8.21 Operatör yaş gruplarının betimleyici istatistikleri	216
Çizelge 8.22 Operatör yaş grupları için çoklu karşılaştırma sonuçları	216
Çizelge 8.23 Operatör deneyiminin 5 yıllık grupları için betimleyici istatistikleri	217
Çizelge 8.24 Operatör deneyimi 5 yıllık grupları için çoklu karşılaştırma sonuçları	217
Çizelge 8.25 Zemin tipi grupları için varyansların grup istatistikleri	218
Çizelge 8.26 Zemin tipi grupları için bağımsız örneklem testi	218

Çizelge 8.27	Çalışma bölgesi grupları için varyansların grup istatistikleri.....	219
Çizelge 8.28	Çalışma bölgesi grupları için bağımsız örneklem testi	219
Çizelge 8.29	İleri yürüme ve tesviye grupları için varyansların grup istatistikleri	219
Çizelge 8.30	İleri yürüme ve tesviye grupları için bağımsız örneklem testi.....	220
Çizelge 9.1	Elektrikli ekskavatörlerin temel bilgileri	222
Çizelge 9.2	Elektrikli ekskavatör operatörlerinin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi	223
Çizelge 9.3	Elektrikli ekskavatör operatörlerinin VDV _{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi	226
Çizelge 9.4	Elektrikli ekskavatör döngü evrelerinde titreşim ivmesi parametreleri.....	231
Çizelge 9.5	Elektrikli ekskavatör döngü evrelerinde operatörlerin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi.....	231
Çizelge 9.6	Elektrikli ekskavatör döngü evrelerinde A(8) değerine göre en kötü durum eksenleri	231
Çizelge 9.7	Elektrikli ekskavatör döngü evrelerinde titreşim ivmesi doruk faktörleri	232
Çizelge 9.8	Elektrikli ekskavatör döngü evrelerinde titreşim ivmesi SEAT faktörleri.....	233
Çizelge 9.9	Elektrikli ekskavatör döngü evrelerinde titreşim dozu parametreleri	233
Çizelge 9.10	Elektrikli ekskavatör döngü evrelerinde operatörlerin VDV _{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi.....	234
Çizelge 9.11	Elektrikli ekskavatör döngü evrelerinde VDV _{Total} değerine göre en kötü durum eksenleri	235
Çizelge 9.12	Elektrikli ekskavatör evrelerinin doruk faktörü değerleri	236
Çizelge 9.13	Elektrikli ekskavatör döngü evrelerinde operatörlerin S _{ed} ve R faktörleri	237
Çizelge 9.14	Elektrikli ekskavatör döngü evrelerinde operatörlerin S _{ed} ve R faktörüne göre sağlık riski	238
Çizelge 9.15	Elektrikli ekskavatör döngüsünü oluşturan evrelerin betimleyici istatistikleri.....	240
Çizelge 9.16	Elektrikli ekskavatör döngüsü evrelerinin çoklu karşılaştırması	240
Çizelge 9.17	Ekskavatör kova kapasitesi gruplarının betimleyici istatistikleri	241
Çizelge 9.18	Elektrikli ekskavatör kova kapasitesi gruplarının çoklu karşılaştırması	241
Çizelge 9.19	Operatör yaşı gruplarının betimleyici istatistikleri	242
Çizelge 9.20	Operatör yaş gruplarının çoklu karşılaştırması.....	242
Çizelge 9.21	Operatör deneyimi grupları için varyansların grup istatistikleri.....	243
Çizelge 9.22	Operatör deneyimi grupları için bağımsız örneklem testi	243
Çizelge 10.1	Titreşimli silindirlerin temel bilgileri	245
Çizelge 10.2	Titreşimli silindir operatörlerinin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi	246
Çizelge 10.3	Titreşimli silindir operatörlerinin VDV _{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi.....	248
Çizelge 10.4	Silindir döngü evrelerinde titreşim ivmesi parametreleri.....	253
Çizelge 10.5	Silindir döngü evrelerinde operatörlerin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi	253
Çizelge 10.6	Titreşimli silindir döngü evrelerinde A(8) değerine göre en kötü durum eksenleri ...	255
Çizelge 10.7	Titreşimli silindir döngü evrelerinde titreşim ivmesi doruk faktörleri	255
Çizelge 10.8	Titreşimli silindir döngü evrelerinde titreşim ivmesi SEAT faktörleri	255
Çizelge 10.9	Silindir döngü evrelerinde titreşim dozu parametreleri	256
Çizelge 10.10	Titreşimli silindir döngü evrelerinde operatörlerin VDV _{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi	258
Çizelge 10.11	Titreşimli silindir döngü evrelerinde VDV _{Total} değerine göre en kötü durum eksenleri	258
Çizelge 10.12	Titreşimli silindir evrelerinin doruk faktörü değerleri	258
Çizelge 10.13	Titreşimli silindir döngü evrelerinde operatörlerin S _{ed} ve R faktörleri	261
Çizelge 10.14	Titreşimli silindir döngü evrelerinde operatörlerin S _{ed} ve R faktörüne göre sağlık riski	261
Çizelge 10.15	Silindir döngüsünü oluşturan evrelerin betimleyici istatistikleri.....	265
Çizelge 10.16	Silindir döngüsü evrelerinin çoklu karşılaştırması	266
Çizelge 10.17	Silindir verilerinin betimleyici istatistikleri	266
Çizelge 11.1	Delicilerin temel bilgileri	270
Çizelge 11.2	Delici operatörlerinin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi	270
Çizelge 11.3	Delici operatörlerinin VDV _{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi	273
Çizelge 11.4	Delici döngü evrelerinde titreşim ivmesi parametreleri.....	278
Çizelge 11.5	Delici döngü evrelerinde operatörlerin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi	279
Çizelge 11.6	Delici döngü evrelerinde A(8) değerine göre en kötü durum eksenleri	279
Çizelge 11.7	Delici döngü evrelerinde titreşim ivmesi doruk faktörleri	279
Çizelge 11.8	Delici döngü evrelerinde titreşim ivmesi SEAT faktörleri.....	280

Çizelge 11.9	Delici döngü evrelerinde titreşim dozu parametreleri	280
Çizelge 11.10	Delici döngü evrelerinde operatörlerin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi	281
Çizelge 11.11	Delici döngü evrelerinde VDV_{Total} değerine göre en kötü durum eksenleri	282
Çizelge 11.12	Delici evrelerinin doruk faktörü değerleri	283
Çizelge 11.13	Delici döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörleri	285
Çizelge 11.14	Delici döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörüne göre sağlık riski	286
Çizelge 11.15	Delici döngüsünü oluşturan evrelerin betimleyici istatistikleri	287
Çizelge 11.16	Delici döngüsü evrelerinin çoklu karşılaştırması	287
Çizelge 11.17	Hizmet süresini oluşturan grupların betimleyici istatistikleri	288
Çizelge 11.18	Delici hizmet süresi gruplarının çoklu karşılaştırması	288
Çizelge 11.19	Operatör yaşı gruplarının betimleyici istatistikleri	289
Çizelge 11.20	Operatör yaş gruplarının çoklu karşılaştırması	289
Çizelge 11.21	Operatör deneyimi grupları için varyansların grup istatistikleri	290
Çizelge 11.22	Operatör deneyimi grupları için bağımsız örneklem testi	290
Çizelge 12.1	Hidrolik kırıcıların temel bilgileri	292
Çizelge 12.2	Hidrolik kırıcı operatörlerinin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi	293
Çizelge 12.3	Hidrolik kırıcı operatörlerinin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi	295
Çizelge 12.4	Hidrolik kırıcı döngü evrelerinde titreşim ivmesi parametreleri	300
Çizelge 12.5	Hidrolik kırıcı döngü evrelerinde operatörlerin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi	301
Çizelge 12.6	Hidrolik kırıcı döngü evrelerinde A(8) değerine göre en kötü durum eksenleri	301
Çizelge 12.7	Hidrolik kırıcı döngü evrelerinde titreşim ivmesi doruk faktörleri	301
Çizelge 12.8	Hidrolik kırıcı döngü evrelerinde titreşim ivmesi SEAT faktörleri	302
Çizelge 12.9	Hidrolik kırıcı döngü evrelerinde titreşim dozu parametreleri	302
Çizelge 12.10	Hidrolik kırıcı döngü evrelerinde operatörlerin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi	304
Çizelge 12.11	Hidrolik kırıcı döngü evrelerinde VDV_{Total} değerine göre en kötü durum eksenleri	304
Çizelge 12.12	Hidrolik kırıcı evrelerinin doruk faktörü değerleri	304
Çizelge 12.13	Hidrolik kırıcı döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörleri	306
Çizelge 12.14	Hidrolik kırıcı döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörüne göre sağlık riski	306
Çizelge 13.1	Çekmekepçelerin temel bilgileri	310
Çizelge 13.2	Çekmekepçe operatörlerinin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi	311
Çizelge 13.3	Çekmekepçe operatörlerinin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi	312
Çizelge 13.4	Çekmekepçe döngü evrelerinde titreşim ivmesi parametreleri	317
Çizelge 13.5	Çekmekepçe döngü evrelerinde operatörlerin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi	317
Çizelge 13.6	Çekmekepçe döngü evrelerinde A(8) değerine göre en kötü durum eksenleri	318
Çizelge 13.7	Çekmekepçe döngü evrelerinde titreşim ivmesi doruk faktörleri	319
Çizelge 13.8	Çekmekepçe döngü evrelerinde titreşim ivmesi SEAT faktörleri	319
Çizelge 13.9	Çekmekepçe döngü evrelerinde titreşim dozu parametreleri	320
Çizelge 13.10	Çekmekepçe döngü evrelerinde operatörlerin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi	321
Çizelge 13.11	Çekmekepçe döngü evrelerinde VDV_{Total} değerine göre en kötü durum eksenleri	321
Çizelge 13.12	Çekmekepçe evrelerinin doruk faktörü değerleri	321
Çizelge 13.13	Çekmekepçe döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörleri	323
Çizelge 13.14	Çekmekepçe döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörüne göre sağlık riski	323
Çizelge 14.1	DKE'lerin temel bilgileri	326
Çizelge 14.2	DKE operatörlerinin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi	328
Çizelge 14.3	DKE operatörlerinin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi	330
Çizelge 14.4	DKE döngü evrelerinde titreşim ivmesi parametreleri	335
Çizelge 14.5	DKE döngü evrelerinde operatörlerin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi	335
Çizelge 14.6	DKE döngü evrelerinde A(8) değerine göre en kötü durum eksenleri	335
Çizelge 14.7	DKE döngü evrelerinde titreşim ivmesi doruk faktörleri	336
Çizelge 14.8	DKE döngü evrelerinde titreşim ivmesi SEAT faktörleri	336
Çizelge 14.9	DKE döngü evrelerinde titreşim dozu parametreleri	336
Çizelge 14.10	DKE döngü evrelerinde operatörlerin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi ..	337
Çizelge 14.11	DKE döngü evrelerinde VDV_{Total} değerine göre en kötü durum eksenleri	337
Çizelge 14.12	DKE evrelerinin doruk faktörü değerleri	338

Çizelge 14.13	DKE döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörleri.....	339
Çizelge 14.14	DKE döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörüne göre sağlık riski	339
Çizelge 15.1	Kamyon sürücülerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin (SRC) karşılaştırılması	342
Çizelge 15.2	Kamyon sürücülerinin evreler bazında TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması.....	343
Çizelge 15.3	Kamyon sürücülerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyeti.....	348
Çizelge 15.4	Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması	349
Çizelge 15.5	Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin evreler bazında TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması	351
Çizelge 15.6	Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyeti.....	355
Çizelge 15.7	Dozer operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması	356
Çizelge 15.8	Dozer operatörlerinin evreler bazında TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması.....	357
Çizelge 15.9	Dozer operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyeti.....	361
Çizelge 15.10	Yükleyici operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması	362
Çizelge 15.11	Yükleyici operatörlerinin evreler bazında TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması	363
Çizelge 15.12	Yükleyici operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyeti	368
Çizelge 15.13	Greyder operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması	369
Çizelge 15.14	Greyder operatörlerinin evreler bazında TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması	370
Çizelge 15.15	Greyder operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyeti.....	374
Çizelge 15.16	Elektrikli ekskavatör operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması.....	375
Çizelge 15.17	Elektrikli ekskavatör operatörlerinin evreler bazında TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması.....	376
Çizelge 15.18	Elektrikli ekskavatör operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyeti.....	379
Çizelge 15.19	Titreşimli silindir operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması.....	380
Çizelge 15.20	Titreşimli silindirlerin evreler bazında TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması.....	381
Çizelge 15.21	Titreşimli silindir operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyeti.....	385
Çizelge 15.22	Delici operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması	386
Çizelge 15.23	Delici operatörlerinin evreler bazında TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması.....	387
Çizelge 15.24	Delici operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyeti.....	390
Çizelge 15.25	Hidrolik kırıcı operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması	391
Çizelge 15.26	Hidrolik kırıcı operatörlerinin evreler bazında TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması	392
Çizelge 15.27	Hidrolik kırıcı operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyeti	396
Çizelge 15.28	Çekmekepçe operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması	397

Çizelge 15.29 Çekmekepçe operatörlerinin evreler bazında TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması	398
Çizelge 15.30 Çekmekepçe operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyeti	401
Çizelge 15.31 DKE operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması	402
Çizelge 15.32 DKE operatörlerinin evreler bazında TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması.....	403
Çizelge 15.33 DKE operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyeti.....	406
Çizelge 16.1 Tüm iş makinesi operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyeti.....	411



SİMGELER DİZİNİ

$a_{wx}, a_{wy}, a_{wz}(t)$: x, y, z yönlerinde titreşim ivme sinyalleri (m/s^2)
$a(t)$: t zamanındaki ivme (m/s^2)
A	: genlik (m/s^2)
A(8)	: Eksenler üzerinde toplam günlük maruziyet
CRF	: Doruk faktörü
EAV	: Maruziyet eylem değeri
ELV	: Maruziyet sınır değeri
eVDV	: Titreşim ivmesi üzerinden kestirilen titreşim dozu
f	: Frekans (Hz)
KOK	: Kareler toplamının karekökü (RMS)
MTVV	: Maksimum geçici titreşim değeri
PEAK	: Tepe titreşim ivmesi
P-P	: Tepe-tepe titreşim ivmesi
p	: Anlamlılık düzeyi
TE	: Titreşime maruz kalınan süre
T_0	: Referans süresi
SAE	: Society of Automotive Engineers
SEAT	: Sürücü koltuğunun yalıtım etkinliğini faktörü
$SEAT_{RMS}$: Koltuk etkinliği genlik geçirgenliği
S_{ed}	: Statik eşdeğer basınç dozu
VDV	: Titreşim dozu değeri
VDV_{Total}	: Toplam titreşim dozu
R	: Statik eşdeğer basınç dozuna bağlı günlük risk faktörü
ω/s	: Frekans (salınım sıklığı)
W_b, W_c, W_d, W_e	: Standartlar uyarınca titreşim sinyallerine uygulanan ağırlık filtreleri
W_i, W_j, W_k	: Standartlar uyarınca titreşim sinyallerine uygulanan ağırlık filtreleri

KISALTMALAR DİZİNİ

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
BMI	: Body Mass Index
BS	: British Standardization
ÇSGB	: Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı
DKE	: Döner Kepçeli Ekskavatör
EAV	: Maruziyet eylem değeri
EKDE	: En kötü durum eksen
EKT	: El Kol Titreşimi
EKTS	: El-Kol Titreşim Sendromu
ELV	: Maruziyet sınır değeri
EU	: European union
eVDV	: Tahmini titreşim dozu değeri
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
HAV	: Hand-Arm Vibration (El-Kol Titreşimi)
HGCZ	: Health Guidance Caution Zone (Sağlık Kılavuzu Uyarı Bölgesi)
ILO	: International Labour Organization (Uluslararası Çalışma Örgütü)
IPPC	: The American Conference of Government Industrial Hygienists
ISO	: International Organization for Standardization
iOS	: Internetwork Operating System
İSGÜM	: İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü Müdürlüğü
JISHA	: Japan Industrial Safety and Health Association (Japonya Endüstriyel Güvenlik ve Sağlık Kurumu)
KOK (RMS)	: Kareler Toplamının Karekökü
MSHA	: Mine Safety and Health Administration
MTVV	: Maximum Transitional Vibration Value (Maksimum Geçici Titreşim Değeri)
NHEWS	: Ulusal Tehlike Maruziyeti İşçi Gözetimi
NIOSH	: National Institute for Occupational Safety and Health (Ulusal İş Güvenliği ve Sağlığı Enstitüsü)
One-way ANOVA	: Tek yönlü varyans analizi
OSHA	: Occupational Safety and Health Agency
OSHS	: Occupational Safety and Health Service
PSD	: Titreşim ivme güç spektrum yoğunluğu
S_{ed}	: Günlük eşdeğer statik basınç dozu
SDOF	: Tek serbestlik dereceli
SGK	: Sosyal Güvenlik Kurumu
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences
SSK	: Sosyal Sigortalar Kurumu
SRC	: Sağlık Riski Ciddiyeti
TMMOB	: Türkiye Mimarlar ve Mühendisler Odalar Birliği
TKİ	: Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu
TTK	: Türkiye Taşkömürü Kurumu
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TVT	: Tüm Vücut Titreşimi
VAH	: Vibro-akustik hastalık
VDV	: Titreşim Dozu Değeri
VT	: Vektör toplamı
YTB	: Yükle-Taşı-Boşalt
WHO	: World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)

1 GİRİŞ

Endüstrileşmenin ve teknolojinin ilerlemesi ve karmaşıklaşması ile giderek artan ihtiyaçlar, madenlere ve maden ürünlerine olan talebi büyük ölçüde artırmaktadır. Maden aranması ve çıkarılması işlemleri yeryüzünün gittikçe daha derin kesimlerinde yürütülmekte ve daha büyük boyutlu kazıcı ve yükleyicilerin kullanılması ile mümkün olmaktadır. Madencilik dünya genelinde ve ülkemizde de iş kazaları ve meslek hastalıklarının yüksek olduğu iş kollarından biri olup en riskli sektörler arasında yer almaktadır. Meydana gelen kazaların çoğu kömür ocaklarında göçük, grizu patlaması ve zehirlenme sebebiyle olurken, taş ve mermer ocaklarında meydana gelen kaza sayısı ikinci en çok karşılaşılan alandır (TMMOB, 2010). İş kazaları izlenip, kayıt altına alınırken, meslek hastalıkları için aynı hassasiyetin gösterilemediği öne sürülmektedir (TMMOB, 2010). TÜİK verilerine göre 2010 ve 2015 yılları arasında toplam 57129 kişi iş kazası geçirirken; aynı yıllarda toplam 899 kişinin meslek hastalığına yakalandığı görülmüştür. TMMOB Maden Mühendisleri Odası verilerine göre 1983 ile 2015 yılları arasında madenlerde geçirdikleri kazalar sonucu toplam 696 kişi hayatını kaybetmiştir (TMMOB, 2010).

Madencilik faaliyetleri sırasında sürekli değişen ortam koşulları, farklı jeolojik ve iklim şartları çalışanları olumsuz etkileyen fiziksel durumlar arasında sayılmaktadır. Ayrıca madenlerde çalışan işçi ve operatörler kullandıkları iş makinelerinin oluşturdukları titreşim nedeniyle mekanik titreşime maruz kalmaktadırlar. Ağır iş makinelerini kullanan operatörler ile elle kumanda edilen delici ve kırıcı gibi araçları kullanan pek çok çalışan, insan-makine etkileşiminden ötürü mekanik kaynaklı TVT ve HAV'ın olumsuz etkilerine maruz kalmaktadır. Bu titreşim çalışanları fiziksel ve psikolojik yönlerden etkileyerek çalışma hayatlarında kronik hastalıkların oluşmasına sebep olmakta, çalışma performanslarını etkileyerek iş güvenliğini tehlikeye sokmaktadır. TÜİK kayıtlarında 2007-2012 yılları arasında "E-5 grubu Titreşim Sonucu Kemik-Eklemler Zararları ve Anjionörotik Bozuklukları" başlığı altında sadece 6 hastalık kaydedilmişken 2013 yılından itibaren bu başlık istatistik kayıtlarından çıkartılmış olup "Gürültü ve Titreşimin Etkileri (Ani duyma kaybını da kapsar)" başlığı altına taşınmıştır. 2013 yılı itibarıyla kayıt edilen yaralanmaların gürültü sonucunu yoksa titreşim sonucunu olduğu anlaşılamamaktadır.

ABD'de 7 milyondan fazla insan kas ve iskelet sistemi hastalıklarına yakalanırken; İngiltere'de endüstride çalışanların %50'sinden fazlası kas-iskelet sistemi rahatsızlığı çektiği bildirilmiştir (Wasserman vd.,1997; Özel ve Çetik, 2010). Dünyada pek çok ülkede kas ve iskelet sistemine bağlı hastalıkların dikkat çekici bir artış gösterdiği istatistiksel kayıtlardan izlenmesine rağmen ülkemizde bu konuda hiçbir istatistiksel kesin kaydın olmamasıyla birlikte kapsamlı bir akademik çalışmanın olmaması önemli bir eksiklik olarak görülmüştür.

Bu çalışmanın amacı, maden ocaklarında kullanılan ağır iş makinesi operatörlerinin tüm vücut titreşim maruziyet değerleri ile günlük muhtemel maruziyet düzeylerini belirlemektir. TVT ölçümleri, TVT-zaman öykülerinin temsili örneklerini sunmak için, her iş makinesi faaliyet

sirasında günlük rutin çalışma periyodunu temsil edecek şekilde ve TS ISO 2631-1 ile ISO 2631-5 standartlarında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmış ve analiz edilmiştir. Çalışma konusu ile ilgili literatür incelenmiş olup bunların büyük bölümünde maden sahalarında iş makinelerinin kullanımı sırasında faaliyet döngüleriyle birlikte iş makinelerinin titreşim analizlerinin ayrıntılı biçimde çalışılmadığı gözlenmiştir. Bu alışma genel olarak üç bölümden oluşmaktadır. İlk olarak literatür araştırması, ikinci olarak ISO 2631-1 ve 2631-5 standartları kapsamında yapılan ölçümler ve hesaplamaların sonuçları ve son olarak da bu sonuçların SPSS ile değerlendirilmesi bölümlerinden oluşmaktadır.



2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Titreşim

İnsanların, muhtemelen düdük ya da davul gibi ilk müzik aletlerini yaptıklarında titreşimle ilgilenmeye başladıkları ifade edilmektedir. Ses dalgaları ve müzikal seslerin bilimsel temelini ilk araştıran matematikçi Pisagor (MÖ 582-507), monokord denilen basit bir alet kullanarak titreşimli bir sicim üzerine deneyler gerçekleştirmiştir (Rao, 2011). Müzikal enstrümanların birçoğunda, özellikle telli enstrümanlarda, titreşim istenilen bir olay olmasına rağmen birçok mekanik sistem için istenmeyen bir durumdur. Örneğin uçak gövdesindeki titreşimler yorulmaya neden olmakta ve sonuç olarak hasara yol açmaktadır (Rao, 2011).

Titreşim, bir cismin iç veya dış kuvvetlerin etkisi ile yaptığı salınım hareketi olarak tanımlanmaktadır. Salınımın derecesi titreşimin büyüklüğünü belirlerken, titreşim döngülerinin tekrarlama oranı da frekansını belirlemektedir (Griffin, 1990). Titreşim, diğer yandan, ses dalgaları gibi belirli aralıklarla tekrarlayan mekanik bir enerji olup bunu sestten ayıran en önemli farkın, sesin hava yolu ile titreşimin ise cismin (vücudun) sert kısımlarından girmesi olduğu belirtilmektedir (Akdoğan ve Pekey, 2010). Mansfield (2005) titreşimin mekanik bir yapıya ihtiyacı olduğunu ve bu yapının bir makinenin, aracın veya kişinin bir parçası olabileceğini ancak mekanik bir bağlantı (kuplaj) kaybolduğunda titreşim artık yayılamayacağını ifade etmiştir. Diğer yandan titreşim, genellikle katı ortamlarda yayılan ve dokunma duygusu ile hissedilen alçak frekanslı ve yüksek genlikli mekanik salınımlar olarak da tanımlanabilmektedir.

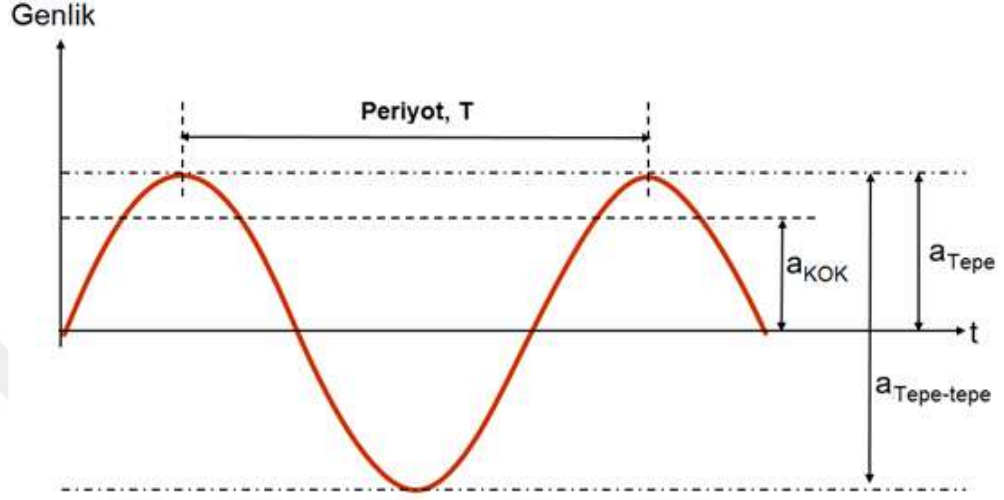
Bir denge noktası etrafındaki tekrarlanan mekanik salınımlar titreşimi oluştururken; bu salınımlar bir sarkacın hareketi gibi periyodik olabileceği gibi çakıllı bir yolda tekerleğin hareketi gibi rastgele de olabilmektedir. Titreşim hareketi periyodik ve rastgele (gelişigüzel, periyodik olmayan) olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Periyodik titreşim hareketi, belirli bir sürede aynen veya kısmen tekrar etme özelliğine sahip bir harekettir. Genellikle sinüs veya kosinüs fonksiyonları olarak ifade edilen periyodik hareketler harmonik hareket olarak bilinmektedir (URL-1). Rastgele titreşim hareketi ise zamanla tekrarlanabilme özelliğine sahip değildir (French, 2009).

Titreşim hareketi zamana bağlı $a(t)$ gibi denklem ile sinüs eğrisinin bir fonksiyonu olarak da ifade edilmekte ve matematiksel olarak Eşitlik 2.1'de tanımlanmaktadır: Bu tür dalgalar sinüs dalgaları olarak bilinmektedir. Dalganın frekansı ile periyodu arasında negatif ilişki vardır. Mühendislik literatüründe frekans, saniyedeki radyan (ω) cinsinden ifade edilmektedir (Eşitlik 2.2).

$$a(t) = A \sin(2\pi ft) \quad [2.1]$$

$$\omega = 2\pi f \quad [2.2]$$

Titreşim büyüklüğü; yer değiştirmesi (m), hızı (m/s) ve ivmesi (m/s^2) ile gösterilmekle birlikte genellikle ivme değeri esas alınmaktadır (Çay, 2006). Tipik bir titreşim dalgası ve özellikleri Şekil 2.1'de verilmiştir.

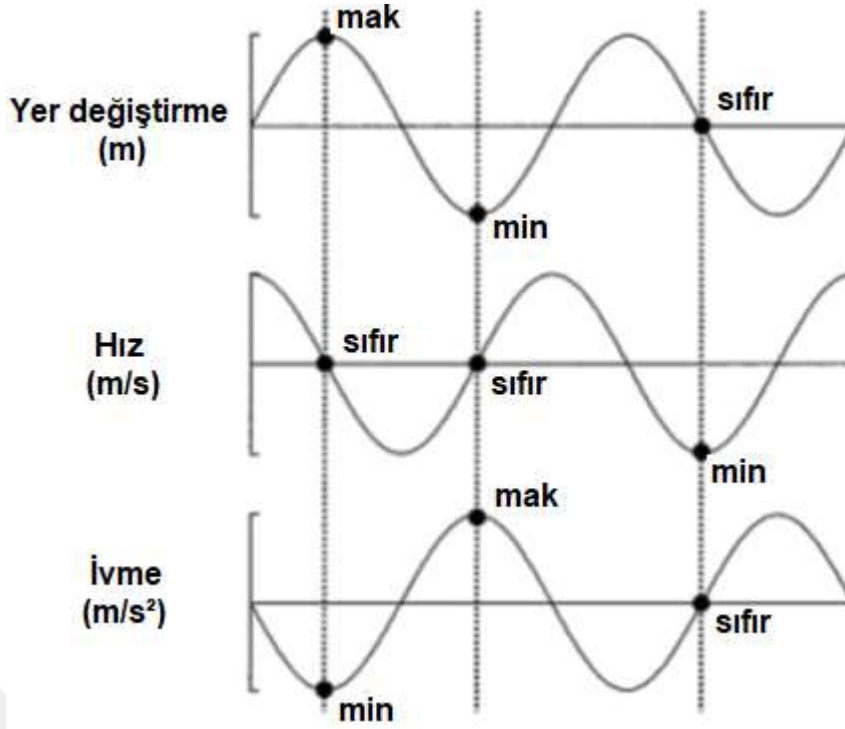


Şekil 2.1 Bir titreşim dalgası üzerinde tepe, KOK ve tepe-tepenin gösterimi (Brüel ve Kjaer, 2002).

2.2 Titreşim Büyüklükleri ve Faktörleri

2.2.1 Yerdeğiştirme, Hız, İvme

Herhangi bir titreşim sinyalinin ayrılmaz biçimde birbirine bağlı üç büyüğü bulunmaktadır: yer değiştirme (m), hız (m/s) ve ivme (m/s^2) (Şekil 2.2). Herhangi bir titreşim sisteminde özellikle bu parametreler ölçülmektedir. Sinüs dalgasında yer değiştirme ve ivme arasında negatif ilişki vardır. İvme, birim zamandaki titreşim hızı değişimidir. Yer değiştirme düşük frekanslarda en önemli özellik olarak belirlemektedir. Diğer yandan orta ve yüksek frekanslarda sırasıyla hız ve ivme en önemli büyüklüklerdir. Titreşim grafiğinde X eksenini zamanı, Y eksenini herhangi bir zamanda ivmeyi temsil etmektedir. Bu, zaman etki alanında gösterim olarak bilinmektedir. Bu gösterimler hareket dalga biçimini anlamada kullanışlı olsa da yorumlanmaları güç olup genellikle standartlaştırılmış analiz yöntemlerine uygulanamamaktadırlar. Zaman-alan sinyalleri daima doğrusal eksenlerle sunulmaktadır. Tüm vücut titreşimi için X eksenini genellikle doğrusal, elle iletilen titreşim için ise genellikle logaritmiktir (Mansfield, 2005).



Şekil 2.2 Yer değiştirme, hız ve ivme için sinüs dalgası tepe ve çukur yerleri (Mansfield, 2005).

2.2.2 Titreşimin frekansı ve genliği

Bir titreşim etkisini belirleyen faktörler; genlik, frekans, etki süresi, zamana göre değişim, yön ve etki noktasıdır. Ölçülen titreşim ivmesinin birinci integrali ile hızı, ikinci integrali ile de genlik elde edilmektedir. Titreşim, titreyen parçada ölçüldüyse “emisyon”, insan bedeni üzerinde ölçüldüyse “imiyon” büyüklüğü olarak adlandırılmaktadır (Melemez ve Tunay, 2010).

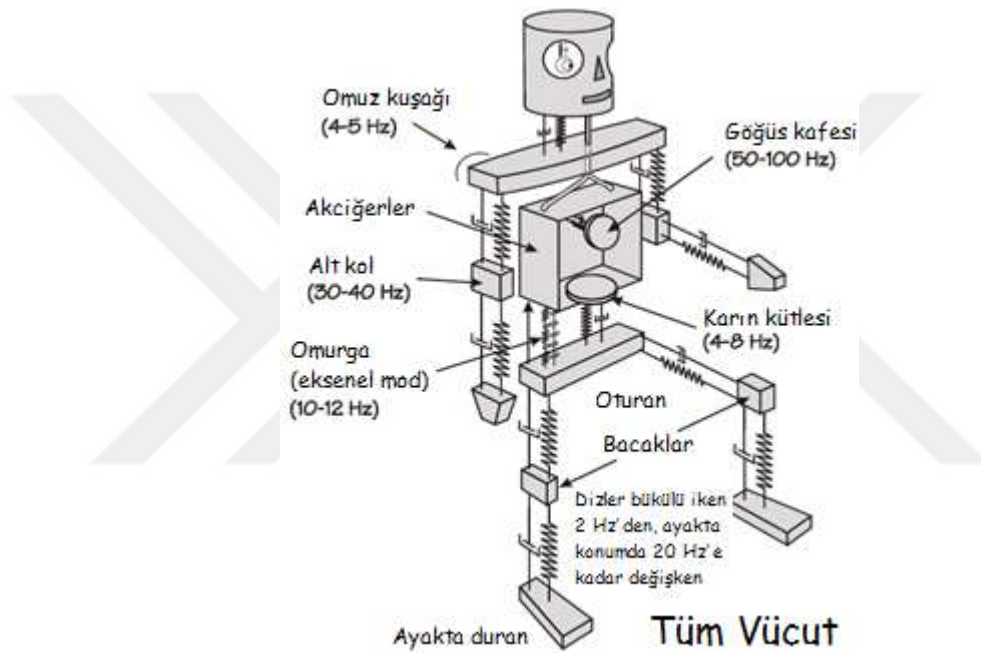
Birim zamandaki titreşim sayısına titreşimin frekansı denilmektedir. Periyodun birimi saniye (s), frekansın birimi Hertz'dir (Hz). Frekans titreşimin insan sağlığına olan etkilerinde önemli bir faktördür. Rehn (2004) insan vücudunun 0,1 Hz ile 100 Hz arasındaki frekans değerlerine duyarlı olduğunu ve genellikle daha alçak frekansların dikey ve yatay doğrultularda bazı faktörlerle birlikte insan vücudunda sağlık sorunlarına yol açabileceğini söylerken Griffin (1990) tüm vücut titreşiminin olumsuz sağlık etkilerinin 0,5 Hz - 80 Hz arasındaki düşük frekans aralığında ortaya çıkabileceğini belirtmektedir. Uluslararası standartlar görece daha yüksek frekanslara kadar raporlamayı önerirlerken, insan vücudu parçaları ve organlarının tınlaşım tepkileri 1 Hz ila 20 Hz frekans aralığına karşılık gelmektedir (Mansfield, 2005).

İnsanın titreşime verdiği tepki, titreşimin frekansı ile değiştiği için ölçülen titreşimin frekans bazında ağırlıklandırılması gerekmektedir. Frekans ağırlıklandırması ile titreşimin hangi değerde istenmeyen etkilere neden olduğu yansıtılabilmektedir. Ağırlıklandırma tüm eksenler için gerekli olup tüm vücut ve el-kol titreşimleri için farklı frekans ağırlıklandırmaları kullanılmaktadır. Maruz kalınan titreşimin frekansı, özellikle, vücudun o bölümünün doğal frekansına karşılık geldiğinde, vücudun o bölgesi için tınlaşım kaynaklı olumsuz etkiler oluşabilmektedir. İnsan vücudunun doğal

salınım frekansı karın içi organları için (4-8) Hz, spinal ve üst gövde için (10-12) Hz, baş ve boyun bölgesi için yaklaşık 30 Hz, gözbebekleri için ise (60-90) Hz olarak verilmektedir. Vücudun farklı bölgelerinin salınım frekansları Şekil 2.3 ile Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Vücut bölümlerinin titreşime duyarlı olduğu frekans aralıkları (Öztürk vd, 2009)

Kafatası	20-30 Hz	Kol	5-10 Hz
Göz bebeği	20-90 Hz	El	30-50 Hz
Omuz	4-5 Hz	Omurga	10-12 Hz
Göğüs duvarı	50-100 Hz	Karın	4-8 Hz
Alt kol	16-30 Hz	Bacaklar	2-20 Hz



Şekil 2.3 İnsan vücudunun çeşitli bölümlerinin tınlaşım frekans aralığı (Brüel ve Kjaer, 2002).

Salınımın büyüklüğü titreşimin genliği olup pratikte titreşimin genliği ivmesi ile temsil edilmektedir. Genlik aynı zamanda g veya $m \cdot s^{-2}$ cinsinden ivme veya mm , cm , m cinsinden yer değiştirme olarak da alınmaktadır. Fakat logaritmik ölçekte titreşimin genliği desibel cinsinden tanımlanmaktadır (Rehn, 2004). Titreşim genliği farklı biçimde ifade edilmektedir. Bunlardan biri tepe-tepe (peak to peak) değeri titreşim sırasında birbirine en uzak pozitif ve mutlak değerce en büyük negatif iki tepe arası uzaklık olarak tanımlanmaktadır. Bir diğer ifade ise titreşimin efektif değeri olan ortalama hız değeridir (KOK) (Şahin, 2007; Melemes ve Tunay, 2010). Elimizi titreşimli bir makina üzerine koyduğumuzda hissettiğiniz titreşim seviyesi olarak da tanımlanmaktadır (Url-2).

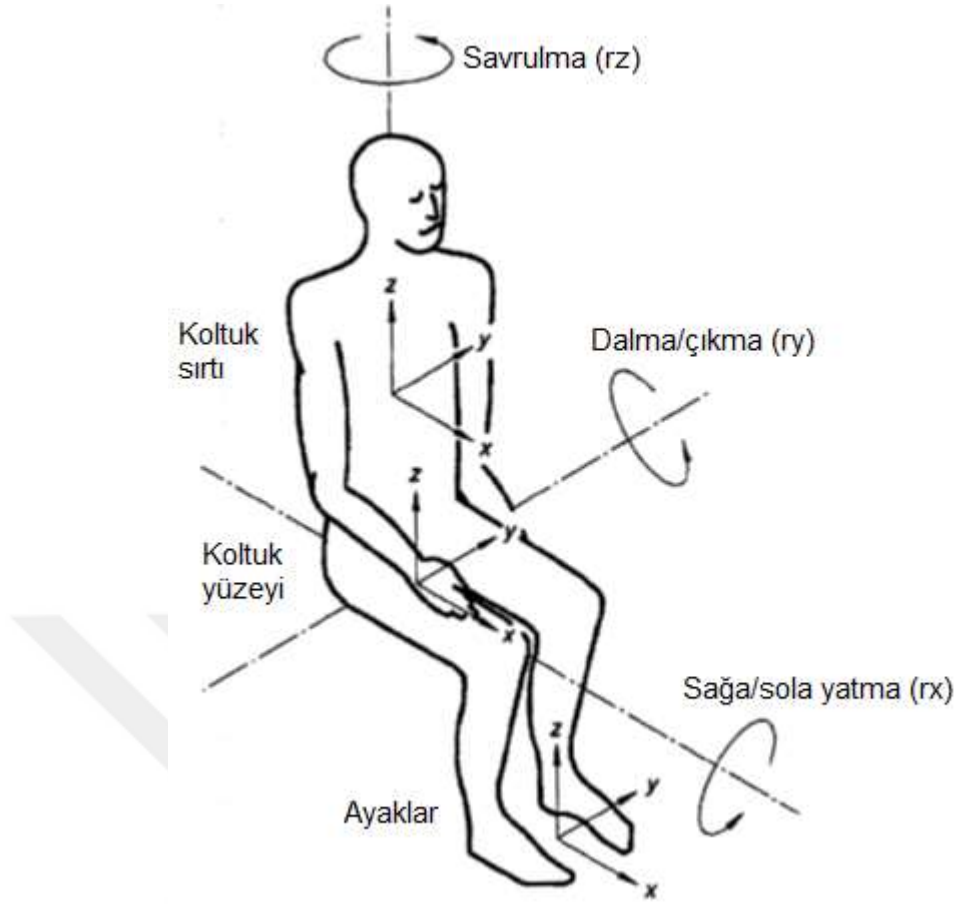
2.2.3 Titreşimin süresi

Titreşime insan tarafından verilen tepki, titreşim maruziyetinin toplam süresine bağlıdır. Kjellberg (1990) rahatsızlığın maruziyet süresiyle arttığı genel olarak kabul edildiğini ancak kesin ilişkinin basit olmadığını ifade etmiştir. Bir titreşim dozu değeri (VDV) süresi dikkate alınarak, toplam maruziyet süresi kestirilebilmektedir. VDV, ölçülen titreşime denk şiddette bir titreşim süresi olan bir şiddet göstergesini vermekte ve $m/s^{1.75}$ ile ifade edilmektedir (ISO 2631-1, 1997). Titreşimin karakteristikleri zamanla değişmiyorsa, titreşimin RMS değeri ortalama titreşim büyüklüğü için uygun bir ölçüm vermektedir (Hopcraft ve Skinner, 2005). Ancak titreşimin karakteristikleri zamanla değişiyorsa ölçülen ortalama titreşim, ölçümün alındığı periyoda bağlı olmaktadır. Çoğu mesleki maruziyet aralıklı olup zamanla değişmekte veya rastgele şoklardan oluşmaktadır. Böyle karmaşık hareketlerin toplam büyüklüğünü hesaplamak için büyük titreşimlerde kısa periyotların, küçük titreşimlerde uzun periyotların kullanıldığı yöntemler uygun olmaktadır.

Kjellberg (1990) ile Sanders ve McCormick (1993) titreşime birkaç dakikalık maruziyetin genelde sadece hafif hiperventilasyon gibi küçük fizyolojik değişikliklere neden olduğunun düşünüldüğünü ancak uzun süreli maruziyet ile fizyolojik değişim arasındaki nedensel bağlantının açık olmadığını belirtmiştir. Griffin (1990) ve Kjellberg (1990) giriş noktasının, titreşimin vücuda nasıl iletiltiği üzerinde büyük bir etken olduğunu, sözgelimi ayakta durulduğunda titreşimin ayaktan, oturulduğunda ise iskiyak kemiğinden kemik yoluyla gireceğini belirtmişlerdir. Yazarlara göre aynı anda vücuda etki eden birçok farklı titreşimin iletim etkileri, her bir frekansın etkisini toplamakla belirlenmemektedir. Hopcraft ve Skinner (2005) belirli bir sıklığın, belirli belirtilerle veya belirli bir görevin performansında düşme ile ilişkilendirilebileceğini ancak frekansın vücut üzerindeki etkisi ile gerçek ilişkisinin net olmadığını ifade etmiştir.

2.2.4 Titreşimin yönü

ISO 2631-1 (1997), insan vücudu için temel olarak oturma, ayakta durma ve sırtta yaslanma olmak üzere üç yön tanımlamaktadır. Bu koordinat sistemi, insan vücuduna giren titreşimin yönlerini ve yer değiştirme hareketlerini de bu eksenler boyunca tanımlamaktadır. Oturmakta olan bir kişide X eksenindeki hareketler arkadan öne veya önden arkaya, Y eksenindeki hareketler sağdan sola veya soldan sağa, Z eksenindeki hareketler ise ayaktan başa veya yerçekimi doğrultusu boyunca olmaktadır (Şekil 2.4). Standartta ayrıca üç adet te dönüş esaslı eksen tanımlanmakta ve bu eksenler boyunca sırasıyla yuvarlanma, tırmanma ve rotadan çıkma hareketleri meydana gelmektedir (Griffin, 1990; Rehn, 2004). Biyodinamik alanında yaygın olarak kullanılan terimler, koordinat sistemi ile insan iskeletinin normal anatomik konumu arasında ilişkileri belirlemektedir. Buna göre ayak (veya kalça) - baş eksenindeki ivmeler (hareketler) $+a_z$; ön-arka veya sırt- göğüs eksenindeki ivmeler $+a_x$; ve yanal (sağdan sola) eksenindeki ivmeler ise $+a_y$ olarak gösterilmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Oturma pozisyonunda x, y, z ekseninde titreşim ölçüm yönleri (ISO 2631-1, 1997).

2.3 Titreşimin Etki Yerlerine ve Frekansa göre Sınıflandırılması

İnsanlar öncelikle bölgesel veya tüm vücudu etkileyen titreşime maruz kalmaktadırlar. Bölgesel titreşim genellikle kumanda çubuğu, direksiyon çubuğu veya direksiyon simidi gibi alet, iş parçası veya kontrol cihazı benzeri titreşen bir nesneyi tutan el aleti sistemini etkilemektedir. Bu titreşim türü "el kol titreşimi (EKT)" olarak adlandırılmaktadır. Bu titreşim yeterince büyük ve maruziyet uzun sürdüğünde el-kol titreşim sendromu (EKTS) gelişebilmektedir. EKTS kas, sinir, kemik, eklemler ve dolaşım sistem bozuklukları ile karakterize olup en iyi bilineni titreşimle tetiklenen beyaz parmak sendromu olarak görülmektedir.

İnsan vücuduna iletilen genel titreşim, aynı anda meydana gelen farklı titreşim frekanslarından oluşmaktadır. "Tüm vücut titreşimi, TVT", maruz kalan kişinin tüm vücuduna etki eden titreşim olarak tanımlanmaktadır. Ayakta duran veya uzanmış haldeki kişiler için de önem taşımakla birlikte genellikle koltuk oturakları, sırt dayama yerleri ve zemin üzerinden iletilmektedir (Mansfield, 2005).

2.4 Tüm Vücut Titreşimi ile İlgili Standartlar ve Ülkemizdeki Yasal Mevzuat

ISO'ya göre standartlar; malzemelerin, ürünlerin, işlemlerin ve hizmetlerin amaçlarına uygun olmasını sağlamak için kurallar, kılavuzlar veya özellikler tanımları olarak sürekli kullanılmak üzere teknik şartnameler veya diğer kesin ölçütler içeren belgelenmiş anlaşmalardır.

Ölçüm metodolojilerini belirlemek için standartlar kullanılmaktadır. Bu, bir dizi yöntem bir laboratuvar tarafından kullanıldığında aynı sonuçları kullanan başka bir laboratuvar da benzer sonuçlar elde edilmesini sağlamak amacıyla yapılmaktadır. İdeal olarak, bu laboratuvarlardan herhangi birisinin ölçümün, "standartlara (standart sayıya) göre yapıldığını" rapor etmesi yeterli olmakta ve daha fazla açıklama gerekmemektedir. İnsan titreşim maruziyeti araştırması disiplini için de standartlar mevcut olup bunlarda ölçüm amaçlı genel metotlar verilmektedir.

Çoğu titreşim standardı, makinelerin emisyonu veya operatör maruziyetinin ölçülmesini sağlamak için uygulanmaktadır. Emisyon, belirli çalışma koşullarında işleyen makinenin belirlenebilen titreşim büyüklüğünü belirlemekte olup çalışma koşulları ile değişmektedir. Personelin titreşim maruziyeti ise genellikle bir iş gününü kapsayan maruziyete yol açan makine emisyonlarını çalışma süresi ve çalışma koşulu profiliyle birleştirmektedir. Bu nedenle emisyon makineye özel, maruziyet ise operatöre özgü olarak tanımlanmaktadır.

İnsan vücudunun titreşime maruziyetinin ölçümü ve değerlendirilmesi için en iyi bilinen standartlar BS 6841 (1987) ve ISO 2631-1'dir (1997). Frekans ağırlıkları, eksen çarpanları, sınır değerleri vb. aralarında önemli farklılıklar olmasına rağmen bu iki standart benzer şekilde uygulanabilmektedir. AB Fiziksel Ajanlar (Titreşim) Direktifinde ISO 2631'e atıfta bulunulduğundan, BS 6841'in yerine tercih edilmektedir.

2.4.1 BS 6841 İnsan vücudunun mekanik titreşimlere ve tekrarlı şoklara maruziyetinin ölçümü ve değerlendirilmesi için kılavuz

BS 6841 (1987) standardı; insan sağlığına, faaliyetlerin engellenmesine, rahatsızlığa, titreşim algılama ihtimaline ve yol tutmasına neden olan titreşimleri ve tekrarlı şokların ölçümünde kullanılan yöntemleri içermektedir. Standart, operatör koltuğundaki titreşim ölçümlerinin, koltuk yüzeyine yerleştirilen minder türü bir aygıtta monte edilmiş bir ivmeölçer kullanılarak yapılması gerektiğini belirtmektedir. Standart ayrıca, koltuk sırtlığında ve ayakta iken ölçülen titreşimin değerlendirilmesine yönelik rehberlik de vermektedir. Standart uyarınca titreşim ivmesi sinyalleri, normal olarak, koltuk dikeyinde W_b , ön-arka koltuk sırtlığı için W_c ve koltukta yatay titreşim için W_d filtresi kullanılarak frekansa göre ağırlıklandırılmalıdır. El-kol titreşimi için W_b , yol tutması için ise W_f frekans ağırlıklandırması kullanılmaktadır.

Standart uyarınca titreşim sinyalleri kararlı (durağan) ve bir tepe değere sahipse, sağlık üzerindeki etkilerini değerlendirmek için frekans-ağırlıklı ivme sinyallerinin KOK değeri hesaplanmalı ve bu değer üzerinden eVDV belirlenmelidir. Sinyallerin zamana bağlı olarak durağan olmadığı ya da tepe faktörünün 6'dan büyük olduğu durumda VDV hesaplanmalıdır. Standart, $15 \text{ m/s}^{1.75}$ 'den

büyük VDV değerlerinde titreşim kaynaklı ciddi rahatsızlıkların oluşabileceğini belirtmektedir. Dolayısıyla bu değer, genel bir gösterge olarak, standart uyarınca güvenli veya güvensiz bir sınır olarak sunulmaktadır.

2.4.2 ISO 2631-1 Mekanik titreşim ve şok - insanın tüm vücut titreşimine maruziyetinin değerlendirilmesi - Bölüm 1: genel gereksinimler (1997)

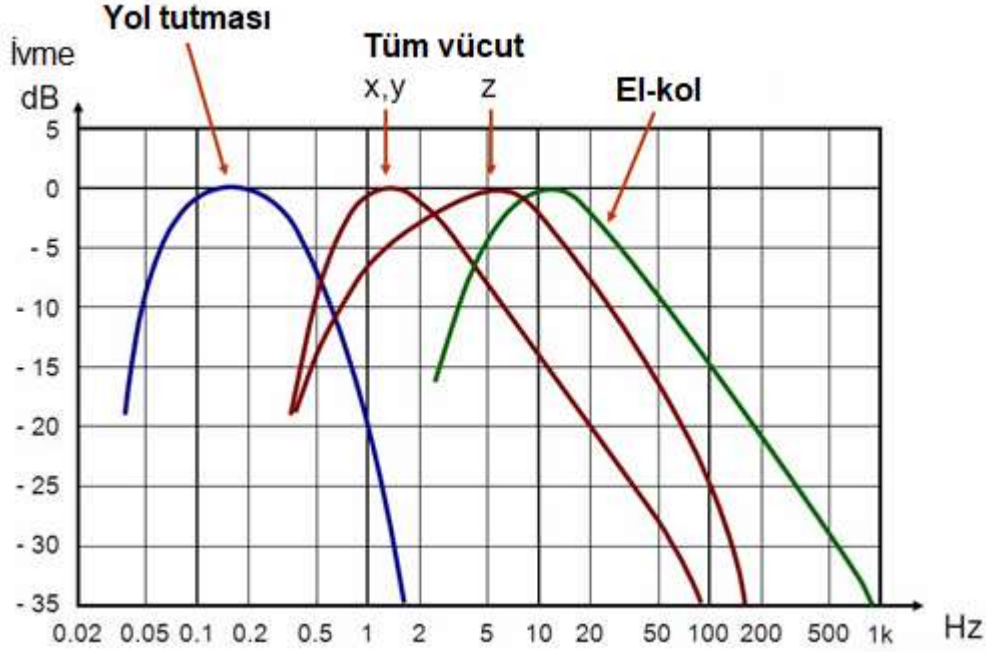
ISO 2631-1 periyodik, rasgele ve geçici nitelikteki tüm vücut titreşiminin ölçüm yöntemlerini ve ölçümlerin yorumlanması için rehberlik içermektedir. Birinci ek frekans ağırlıklandırmalarını tanımlamaktadır. Standart, titreşimin insan vücudu ve titreşim kaynağı arasındaki arayüzde ölçülmesi gerektiğini belirtmektedir. Operatör koltuğundaki ölçümler, ivmeölçerin içerisine yerleştirildiği SAE uyumlu bir minder kullanılarak, kişinin otururken kalçasında eliyle hissedebileceği iskiyak kemikleri altında yapılmalıdır. Standart ayrıca, koltuk sırtlığında ve ayakta dururken yapılan titreşim ölçümlerine nasıl yaklaşılacağı konusunda rehberlik etmektedir. Titreşim büyüklüğü, geldiği frekansın vücut üzerindeki etkisini gösterecek biçimde 'ağırlıklandırma' faktörü ile düzeltilmektedir. ISO 2631 farklı durumlarda kullanılmak üzere altı adet frekans ağırlıklandırması tanımlamıştır. Frekans ağırlıklandırmaları, daha büyük frekanslı frekanslarda daha yüksek değerlere sahiptir. Bunlar W_c , W_d , W_e , W_f , W_j , W_k 'dir. İvme sinyalleri normal olarak, koltuk dikeyinde (Z eksen) W_k , ön-arka ve sırt (X eksen) için W_c ve koltukta yatay titreşim için (X ve Y eksenleri) W_d kullanılarak frekans ağırlıklandırması ile alınmaktadır. Yol tutması için W_f filtresi kullanılmaktadır. Tüm vücut titreşimi ve el-kol titreşimi ölçümlerinde faydalanılan frekans ağırlıklandırma filtreleri Şekil 2.5'de gösterilmektedir.

ISO 2631'e (1997) göre titreşimin sağlık üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi frekans ağırlıklı KOK değerleri kullanılarak saptanmaktadır. Destek yüzeyi üzerindeki her bir hareket eksen için tepe faktörü 9'dan düşükse, her yönde bağımsız olarak değerlendirmeler yapılmakta ve yatay titreşim 1,4 ölçek faktörü ile çarpılmaktadır.

İki eksen de karşılaştırılabilir büyüklükler olduğunda bunların vektörel toplamı alınabilmekle birlikte bu işlem zorunlu değildir ve "karşılaştırılabilir" in nasıl yorumlanacağı konusunda rehberlik bulunmamaktadır. Tepe faktörü 9'dan büyük olduğunda iki alternatif değerlendirme yönteminin kullanımı önerilmektedir: MTVV ve VDV. MTVV, akan KOK değerlerinin en büyüğüdür. Ancak standart, VDV veya MTVV kullanılmış olsa bile KOK değerinin rapor edilmesini istemektedir.

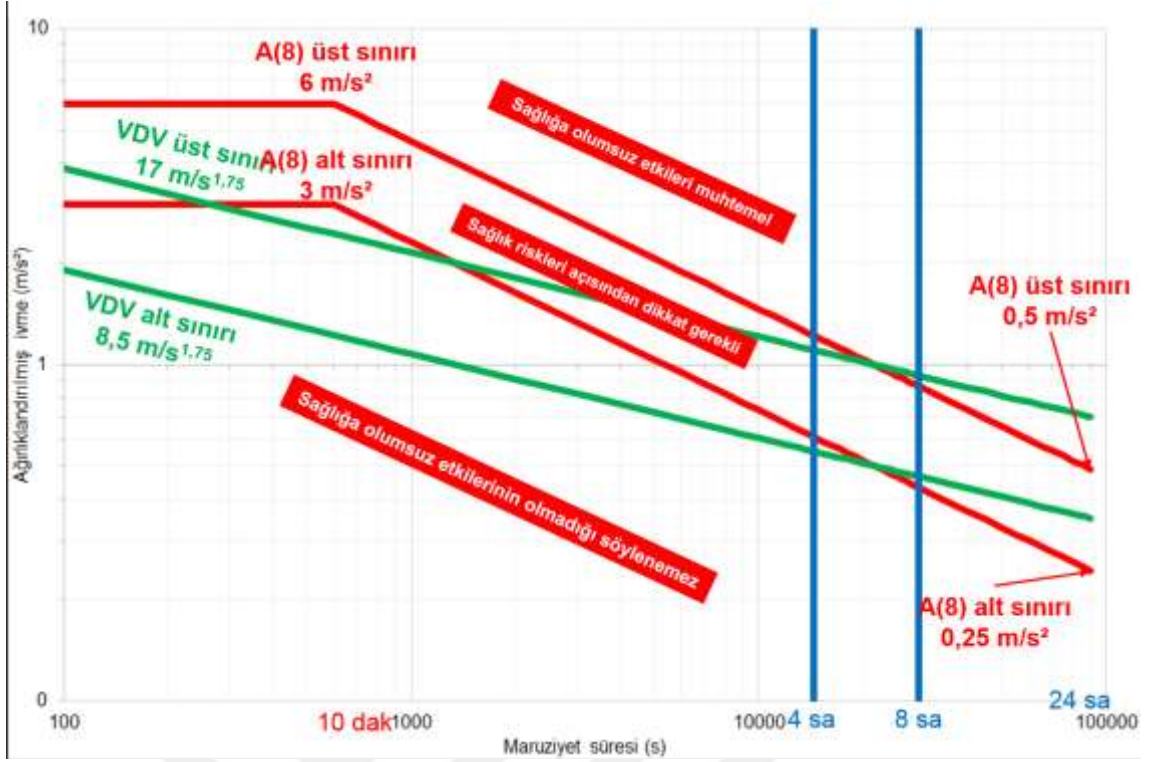
ISO 2631 (1997), en 'kötü' eksenindeki frekans ağırlıklı KOK ivmesini yorumlamaya yardımcı olmak amacıyla KOK ve VDV yaklaşımları için iki "sağlık kılavuzu uyarı bölgesi (HGCZ)" içermektedir. Standarda göre "*Bölgenin altındaki maruziyet değerlerindeki sağlığa olumsuz etkiler açıkça belgelenmemiş ve/veya nesnel olarak gözlenmemiştir; bölgede potansiyel sağlık riskleri ile ilgili ihtiyatlılık gösterilmektedir ve bölgenin üstünde ise sağlık riskleri muhtemeldir*". KOK ve VDV değerleri için bölgeler yaklaşık 4-8 saat aralığında çakışmakta olup standart, bölgelerin daha kısa sürelerle kullanılmasına karşı uyarılmaktadır (Şekil 2.6). VDV baz alınarak yapılan değerlendirmelerde, sağlık kılavuzu uyarı bölgesi sırasıyla $8,5 \text{ m/s}^{1,75}$ ve $17 \text{ m/s}^{1,75}$ 'de alt ve üst

sınırlara sahiptir. MTVV için eşdeğer bir bölge yoktur. Standardın özünde frekans ağırlıklı KOK değerleri kullanma yöntemi var olup bu, çoğu kullanıcının uyguladığı birincil yöntemdir. VDV veya MTVV üzerinden sağlık etkilerinin değerlendirilmesi, tepe faktörü 9'u aştığında uygulanmaktadır.



Şekil 2.5 Ağırlıklandırılmış frekans eğrileri (Brüel ve Kjaer, 2002).

ISO 2361-1 ve BS 6841 standartları karşılaştırıldığında; dikey yönlü titreşim için BS 6841' de W_b , ISO 2361-1'de W_k frekans ağırlıklandırma filtresi kullanılmaktadır. Koltuk yüzeyinde ölçülen titreşiminin değerlendirilmesinde BS 6841'de çarpım faktörü gerekmezken; ISO 2361-1'de X ve Y yönlerinde oluşan yatay titreşim için 1,4 çarpım faktörü kullanılmaktadır. BS 6841'de sağlık riski ölçütü olarak titreşim dozunun $15 \text{ m/s}^{1.75}$ üzerindeki değerleri, ISO 2361-1'de bu ölçüt için "sağlık kılavuzu uyarı bölgesi"nin alt ve üst sınır değerleri olan $8,5 \text{ m/s}^{1.75}$ ve $17 \text{ m/s}^{1.75}$ kullanılmaktadır. Ancak her iki standartta da RMS değerlerine öncelik verilmekte; sağlık riskini değerlendirmek için BS 6841'de tepe faktörünün 6'dan, ISO 2631-1'de 9'dan büyük olduğu eksenlerde VDV dikkate alınmaktadır.



Şekil 2.6 ISO 2631-1 (1997) HGCZ sınırları ve sağlığa olası etki bölgeleri (Doğan vd., 2015)

2.4.3 ISO 2631-5 Mekanik titreşim ve şok - insanın tüm vücut titreşimine maruziyetinin değerlendirilmesi - Bölüm 5: çoklu şok içeren titreşimin değerlendirilmesi için yöntem (2004)

ISO 2631-5: 2004 standardı, genel olarak bel omurgasında olumsuz sağlık etkileri söz konusu olduğunda koltuk yüzeyinde ölçülen mekanik çoklu şoklara maruziyet sorununu ele almaktadır. Yöntem kullanılarak tekli veya çoklu şokların omurgada oluşturacağı baskı hesaplanabilmekte ve muhtemel zarar analiz edilebilmektedir. ISO 2631-5: 2004 standardı şokları doğru biçimde analiz etmek için kullanılabilen tek güncel standart olma özelliğine sahiptir (ISO, 2004).

Standart uyarınca sağlık riski hesaplanırken çalışanın yaşı, titreşime maruziyetin başladığı yaş, başlangıçtan itibaren titreşime maruz kalınan yıl ile yılda titreşime maruz kalınan gün sayısı kullanılmaktadır. ISO 2631-5: 2004'te tarif edilen bel omurga sisteminin titreşime tepkisinin hesaplandığı yöntem uyarınca titreşime maruz olan kişinin koltukta dik bir konumda oturduğu ve farklı duruşlar omurganın farklı tepkileriyle sonuçlanabileceği için maruziyet sırasında gönüllü olarak koltuktan kalkmadığını varsayılmaktadır.

Standart, tüm vücut titreşiminin sağlık üzerindeki etkilerini değerlendirmek için statik basınç dozu tanımını ortaya koymaktadır. S_{ed} ; 0,5 MPa altında, 0,5 MPa ve 0,8 MPa arasında ya da 0,8 MPa değerinin üzerindeki bölgelere düşmektedir. ISO 2631-5: 2004'e göre $S_{ed} < 0,5$ MPa durumunda olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşüktür. $S_{ed} > 0,8$ MPa ise olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı yüksektir. Bununla birlikte 0,5 MPa ile 0,8 MPa arasındaki S_{ed} değerleri sağlık üzerindeki olumsuz

etkilerin orta derecede olasılığına işaret etmektedir. Alternatif olarak günlük eşdeğer statik basınç dozu kullanılarak hesaplanan ve operatörün yaşı ile tecrübesine bağlı azalan güç durumunu dikkate alan R faktöründen de faydalanılabilmektedir. Buna göre; R faktörü 0,8'in altındaysa olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşük, 1,2'nin üzerinde ise olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı yüksek, 0,8 ve 1,2 arasında ise olumsuz bir sağlık etkisinin orta derecede olası olduğu belirtilmektedir.

2.4.4 Avrupa Birliği Direktifi (EU) 2002/44/EC

Avrupa Birliği üye devletleri, işyerinde sağlık ve güvenlik koşullarını sağlamak için asgari standartlar da dâhil olmak üzere bazı "sosyal hükümlerin" uyumlaştırılması üzerinde anlaşmaya varmıştır. Avrupa Direktifi 89/391/EEC ile işverenlerin işyerindeki kişilerin sağlığı ve güvenliğiyle ilgili riskleri ve belirli tehlikelere ilişkin şartları değerlendirmesi ve kontrol etmesiyle ilişkili hükümler belirlenmiştir. 2002/44/EC sayılı ile kabul edilen "Fiziksel Ajanlar (Titreşim) Direktifi" olarak bilinen el-kol titreşiminden ve tüm vücut titreşiminden kaynaklanan risklere çerçeve yönerge ilkelerini uygulayan, titreşime bağlı hastalıkların önlenmesi için asgari gereklilikleri vurgulayan 2002 tarihli direktif, üye devletlerin 6 Temmuz 2005 tarihine kadar gerekli hükümleri uygulaması yükümlüğünü getirmiştir (Nelson ve Brereton, 2005). Direktifte işverenin çalışma kaynaklı titreşim maruziyetini mümkün olan yerlerde en aza indirmesinin yanı sıra maruziyet eylem değeri (EAV) ve maruziyet sınır değeri de (ELV) tanımlanmıştır. Bir işçinin titreşime maruziyet yükümlülüğü varsa günlük titreşime maruziyet olasılığının değerlendirilmesi ve maruziyet düzeyi EAV'yi aşarsa, maruziyeti azaltmak ve riskleri en aza indirmek için bir dizi önlem alınması gerekmektedir. ELV aşıldığında ise titreşim maruziyetini bu eşik altına düşürmek için derhal harekete geçilmeli ve tekrar aşılmasını önlemek için önlemler uygulanmalıdır.

TVT maruziyetiyle ilişkili olumsuz sağlık etkilerinin değerlendirilmesi için 2002/44/EC sayılı Avrupa Birliği Direktifi'nde A(8) için belirlenen EAV ve ELV değerleri, sırasıyla; 0,5 m/s² ve 1,15 m/s², VDV değerleri de sırasıyla, 9,1 m/s^{1,75} ve 21 m/s^{1,75}'dir. Maruziyet eşikleri Çizelgeler 2.2 ve 2.3'de tablo formatında sunulmuştur. Morrison vd. (1998) ile Eger vd. (2013) VDV'nin insan sağlığı, konfor, algı ve yol tutması ile ilişkili olarak geliştirilmiş öngörü gücüne rağmen mevcut standartların, çoklu şokların bulunduğu durumlarda insanın titreşime tepkisini yeterince tarif edemediği sonucuna varmıştır.

Çizelge 2.2 TVT için maruziyet sınır ve HGCZ değerleri (Gryllias, 2016)

	ISO 2631-1 (1997)		European Directive 2002/44/EC		ISO 2631-5 (2004) HGCZ	
	A(8) (m/s ²)	VDV (m/s ^{1,75})	A(8) (m/s ²)	VDV (m/s ^{1,75})	S _{ed} (MPa)	R
EAV	0,43	8,5	0,5	9,1	Alt sınır	0,50 0,80
ELV	0,86	17,0	1,15	21,0	Üst sınır	0,80 1,20

Çizelge 2.3 TVT için maruz kalma sınır değerleri (van Niekerk, 2008; Eger ve Godwin, 2014)

	ISO 2631-1 (1997)		European Directive 2002/44/EC		BS 6841 (1987)	ISO 2631-5: 2004		R
	A(8) (m/s ²)	VDV (m/s ^{1,75})	A(8) (m/s ²)	VDV (m/s ^{1,75})	VDV (m/s ^{1,75})	Sed (MPa)		
Düşük	< 0,45	< 8,5	< 0,5	< 9,1		Alt Sınır	<0,50	<0,80
Orta	0,45-0,90	8,5-17,0	0,5-1,15	9,1-21,0		Ara bölge	0,5-0,80	0,80-1,20
Yüksek	>0,90	>17,0	>1,15	>21,0	15,0	Üst Sınır	>0,80	>1,20

2.4.5 Ülkemizdeki yasal mevzuat

Ülkemizde titreşim ile ilintili olarak Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından yayımlanan standartların bazıları aşağıda verilmiştir.

- TS EN ISO 5349-1 (2005) Mekanik titreşim-Kişilerin maruz kaldığı elle iletilen titreşimin ölçülmesi ve değerlendirilmesi - Bölüm 1: Genel kurallar:** Bu standart, üç ortogonal ekseninde elle iletilen titreşime maruziyetin ölçümü ve raporlanması ile ilgili genel kuralları kapsamaktadır. EN ISO 5349-1(2001) standardından yararlanılmıştır.
- TS EN ISO 5349-2 (2004) Mekanik titreşim-Kişilerin maruz kaldığı, elden vücuda iletilen titreşimin ölçülmesi ve değerlendirilmesi-Bölüm 2: İş yerlerinde ölçme yapmak için pratik kılavuz:** Bu standart, ISO 5349-1'e göre işyerlerindeki elle iletilen titreşimin ölçülmesi ve değerlendirilmesi için kılavuzluk bilgilerini (kurallarını) kapsamaktadır. EN ISO 5349-2 (2001) standardından yararlanılmıştır.
- TS ISO 2631-2 (2001) İnsanın tüm vücut titreşimine maruz kalmasının değerlendirilmesi- Bölüm 2: Binalarda sürekli ve darbe ile meydana gelen titreşim (1 ila 80 Hz)** Bu standart esas olarak bina titreşimine maruz kalan insanların rahatsızlıklarına bakılarak; sürekli titreşim ve kesikli titreşim hususlarında bilgi vermektedir. Geçici (darbeli) titreşimle ilgili son gelişmeler eklerinde verilmiştir. ISO 2631-2 (1989) standardından yararlanılmıştır.
- TS ISO 5805 (1999) Mekanik titreşim ve şok-İnsanın maruz kaldığı-Terimler ve tarifler:** Bu standart, insan biyodinamiği veya mekanik titreşim ve şoka maruz kalan insanın değerlendirmesini mümkün kılan diğer standartlardaki belirli kapsamlarda kullanılan terimlerin tariflerini kapsamaktadır. Çevre ve sağlık koruma, güvenlik, insan açısından titreşim ve şok gibi. ISO 5805 (1997) standardından yararlanılmıştır.
- TS EN 1032+A1 (2011) Mekanik titreşim-Titreşim emisyon değerinin belirlenmesi amacıyla hareketli makinelerin deneye tabi tutulması:** Bu standart, hareketli makinenin deneye tâbi tutulması esnasında kullanıcının bulunduğu konumdaki/konumlardaki tüm vücut ve el-kol titreşim emisyonunun belirlenmesini kapsamaktadır. 22.11.2011 tarihinde kabul edilmiş olup, EN 1032:2003+A1:2008 standardından yararlanılmıştır.
- TS ISO 2631-1 (1997) Mekanik titreşim ve şok-Tüm vücut titreşime maruz kalma değerlendirilmesi - Bölüm 1: Genel kurallar:** 25.04.2013 tarihinde kabul edilen standart titreşim ölçümü ve etkileri hakkında yol göstermektedir.
- TS ISO 2631-5 (1997) Mekanik titreşim ve şok - Tüm vücut titreşime maruz kalma değerlendirilmesi - Bölüm 5: Birden fazla şok içeren titreşim değerlendirilmesi için**

yöntem: 25.04.2013 tarihinde kabul edilen standart titreşim ölçümü ve etkileri hakkında yol göstermektedir.

Dünyada pek çok ülkede tüm vücut titreşimini inceleyen ve konfor ile sağlık açısından titreşimin önemini ortaya koymayı amaçlayan ISO 2631-1 ile ISO 2631-5 standartları kullanılmaktadır. ISO 2631-1 standardında kullanılan teknik terimler ve ölçüm bilgileri tezin ilerideki bölümlerinde verilmektedir. Titreşimin ölçülmesi, kayıt altına alınması ve raporlanması; titreşim yönetmeliği ve uygulanmakta olan titreşim standartlarına uygun olarak yapılmalıdır. Titreşim ölçümünde kullanılan algılayıcılar yer değiştirme, hız ve ivme algılayıcıları olmakla birlikte rahatsız edici en büyük niceliğin ivme olması nedeniyle genellikle bu büyüklük ölçülmektedir (Sara1 1976; Anonim, 1998; Çay, 2006).

Ülkemizde Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından 20.6.2012 tarih ve 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun 30. maddesine dayanarak ve 25.6.2002 tarihli ve 2002/44/EC sayılı Avrupa Parlamentosu ve Konseyi Direktifine paralel olarak, çalışanların mekanik titreşime maruziyeti sonucu oluşabilecek sağlık ve güvenlik risklerinden korunmalarını sağlamak için asgari gereklilikleri belirlemek amacıyla 22.08.2013 tarih ve 28743 sayılı Resmi Gazete'de "Çalışanların Titreşimle ilgili Risklerden Korunmalarına dair Yönetmelik" yayımlanmış olup, halen kullanılmaktadır.

Yönetmelik madde 4 uyarınca:

- i. Bütün vücut titreşimi: Vücudun tümüne aktarıldığında, çalışanın sağlık ve güvenliği için risk oluşturan, özellikle de bel bölgesinde rahatsızlık ve omurgada travmaya yol açan mekanik titreşimi,
- ii. Maruziyet eylem değeri: Aşıldığı durumda, çalışanın titreşime maruziyetinden kaynaklanabilecek risklerin kontrol altına alınmasını gerektiren değeri,
- iii. Maruziyet sınır değeri: Çalışanların bu değer üzerinde bir titreşime kesinlikle maruz kalmaması gereken değeri ifade etmektedir.

Yönetmelik madde 5: Bütün vücut titreşimi için;

- i. Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet sınır değeri: 1,15 m/s².
- ii. Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet eylem değeri: 0,5 m/s² olacak şekilde belirtilmektedir. Bu sınırların aşıldığı durumlarda insan vücudunda refleks azalması, görme bozuklukları, bel ağrısı, omurgadaki olumsuz etkiler, sindirim ve üreme sistemi bozuklukları gibi rahatsızlıklar görülmeye başlanmaktadır.

Çalışanların Titreşimle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik EK 2: Maruziyet değerlendirmesinde "Bütün vücut titreşiminde maruziyet düzeyinin değerlendirilmesi, günlük maruziyet değerinin hesaplanmasına dayalı olarak sekiz saatlik dönemde A(8) sürekli ivme eşdeğeri cinsinden tanımlanan en yüksek (RMS) değeri olarak hesaplanan, TS EN 1032+A1:2011 "Mekanik Titreşim – Titreşim Emisyon Değerinin Belirlenmesi Amacıyla Hareketli Makinelerin Deneye Tabi Tutulması" ile TS ISO 2631-1 "Mekanik Titreşim ve Şok-Tüm Vücut

Titreşime Maruz Kalma Değerlendirilmesi – Bölüm 1: Genel Kurallar” standartlarına ve bu standartların en güncel hallerine göre yapılır ifadesi yer almaktadır.

Titreşim riskinin tahmin edilmesi ve değerlendirilmesi eylem ve sınır değerleri ile karşılaştırma yapılarak gerçekleştirilir. Buna göre;

- Eylem değeri altında hassas bünyeler hariç risk yoktur. Çalışana aktarılan titreşim tolere edilir.
- Eylem değeri ile sınır değer arasındaki bölgede risk vardır. Tolere edilip edilemeyeceğine maruz kalınan süreye göre karar verilir. Eylem değeri ile sınır değer arasındaki bölgede riskin kaynağında yok edilmesi için çalışmalar yapmak, sağlık taraması yapmak gerekmektedir.
- Sınır değer üzerinde maruz kalınan titreşim tolere edilememektedir. Sınır değer üzerinde, titreşim değerinin sınır değer altına indirilmesi için acil bir şekilde önlem alınmalıdır. Değer, sınır değer altına indirilemiyorsa çalışma saatlerini düzenleyerek çalışanın 8 saatlik maruziyet değeri azaltılmalıdır.

2.5 Titreşimin Etkileri

Titreşim, fiziksel ve mekanik etkileri nedeniyle iş sağlığı ve iş güvenliğini etkilemektedir (İşsever, 1999; Şahin ve Işık, 2007). İşsever (1999), Sezgin ve Birlik (2004) ve Şahin (2007) titreşimin gürültü ile birlikte toplumsal etkilerinden en önemlisinin çalışma hayatında kronik hastalıkların oluşum mekanizmasındaki yeri olduğunu belirtmişlerdir.

İnsan, titreşimin düşük frekanslarında sarsıntı hissetmekte, yüksek frekanslarında ise karıncalanma hatta yanma hissi duymaktadır. Titreşim sebebiyle meydana gelen rahatsızlıklara kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları denilmektedir. Terminolojik olarak kas-iskelet sistemi; tendonları, bağları, eklemleri, çevresel sinirleri ve kan damarlarını kapsayan bir yapıdır. Kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları, endüstrileşmiş ülkelerin birçoğunda görülen bir rahatsızlık tipidir (İşsever, 1999; Rehn, 2004). Şahin ve Işık (2007) Avrupa'nın toplam çalışan nüfusunun %30'undan fazlasına karşı gelecek şekilde kırk milyon üzerinde çalışanın kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarından etkilendiğini belirtmişlerdir. Titreşim rahatsızlığının en çok görülen belirtileri arasında yorgunluk, bitkinlik ve ağrılar bulunmaktadır. Rahatsızlık durumunda özellikle boyun, omuz ve bel bölgeleri etkilenmektedir. Kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları çalışma şartlarından kaynaklı olup olumsuz ergonomik faktörler bu rahatsızlıkları tetikleyici, ağırlaştırıcı etki göstermektedir. İş ortamıyla ilgili daha fazla risk faktörleri ortaya çıktıkça, çalışanlar bu rahatsızlıklardan daha fazla etkilenmektedirler (Rehn, 2004). Son yıllarda tanımlanan ve doğrudan gürültü ve titreşimle ilişkilendirilmiş olan vibro-akustik hastalık (VAH) dikkate alındığında, helikopter pilotlarının maruz kaldığı titreşim düzeylerinin azaltılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. UH-1H helikopterlerinde normal uçuş koşullarında pilot koltuklarında $a_z=0,920 \text{ m/s}^2$ ve $a_y=0,868 \text{ m/s}^2$ KOK değerleri tespit edilmiş olup bunlar oldukça yüksek titreşim düzeylerine işaret etmektedir. Bunun sonucu olarak da pilotlarda, özellikle omurgada, uzun dönemlerde meydana gelen dejeneratif değişikliklerin sebebinin bu titreşimler olduğu kanısına varılmaktadır (Sezgin ve Birlik, 2004).

İnsan vücudu çoğu titreşimi zararsız biçimde soğurabilmekte ancak 1 Hz - 20 Hz arasındaki frekanslarda maruz kalınan titreşim sonuçta, vücutta (pelvis ve omurga) yapısal hasar, bel ağrısı ve omurga ağrılarını da içeren rezonansa neden olurken (Kitazaki ve Griffin, 1998; Thalheimer, 1996) dejenerasyon, gastrointestinal problemler, uyku sorunları, baş ağrısı, boyun problemleri, otonomik sinir sistemi bozuklukları, işitme kaybı ve mide bulantısı (Seidel, 1993; Scutter vd., 1997; Thalheimer, 1996) gibi sağlık sıkıntılarını da açığa çıkarabilmektedir.

Titreşim kaynaklı rahatsızlıkları incelemek amacıyla dünya çapında çeşitli işçi toplulukları üzerinde çok sayıda epidemiyoloji çalışmaları yapılmış ve TVT maruziyeti lomber omurga ağrısı ve dejeneratif/herniasyonlu (fitıklı) disk hastalıklarıyla ilişkilendirilmiştir. Bazı değerlendirmeler, TVT maruziyeti ile bel ağrısı arasında bir ilişki olduğunu göstermiştir (Bernard, 1997; Bovenzi ve Hulshof 1998; Lings ve Leboeuf-Yde, 2000; Rehn, 2004). Ancak titreşim dozu ve ağrı ilişkisi arasında kesin bir bağ kurulmamıştır (Rehn, 2004).

Tüm vücut titreşimine maruz kalan işçilerde de bel ağrısı artışı, omurgadaki olumsuz etkiler, ayak kemiklerinde dejeneratif değişiklikler, baş ağrısı gibi merkezi sinir sistemi rahatsızlıkları, dolaşım ve sindirim sistemi rahatsızlıkları görülmektedir (İşsever, 1999). Griffin (1990), TVT ile sağlık arasındaki ilişkinin çok net biçimde açıklanamayacağını iddia ederken Mansfield (2005), TVT ve maruziyeti arasındaki kesin bağlantıyı kurmanın zorluklarını tartışmaktadır. Stayner (2001) lomber sendromunun meslek gruplarıyla ilişkili olduğunu ancak TVT ile kesin ilişkili olmadığını söylemektedir. Sürücü/operatör tarafından hatalı ayarlanmış bir koltuk pozisyonunda uzun süre çalışmak, postürü değiştirmeden uzun süre oturmak, çalışma sırasında şok ve ani sarsıntılara maruz kalmak TVT maruziyetinin en çok bildirilen etkisi olan sırt ağrısına neden olmaktadır (Price, 2011). Darby vd. (2010), titreşim ve ergonominin birleşimini ve durumlarını incelemiştir. Yazarlara göre sırt ağrısının tam nedeni açık değildir ancak sırt ağrısı, özellikle uzun mesafelerde veya kötü zemin üzerinde sürüş gerektiren işlerde çalışanlarda daha sık görülmektedir. Ayrıca sürüş sırasında meydana gelen şok ve ani sarsıntıların bu ağrıyı artıracak yorumunda bulunmuşlardır. Ancak Burgess-Limerick (2012) sırt ağrısının muhtemel birçok nedeninin olabileceği için TVT ile sırt ağrısı arasındaki bağlantıyı açıkça göstermenin zor olduğunu bildirmiştir.

Titreşimin fiziksel özelliklerine ilaveten maruziyet süresi (günlük, yıllık ve ömür boyu), maruziyet paterni (sürekli, aralıklı, dinlenme), titreşim üreten araçlar, işlemler veya araç tipleri, çevre koşulları (ortam sıcaklığı, hava akışı, nem, gürültü), insan vücudunun dinamik tepkisi (mekanik direnç, titreşim geçirgenliği, emilen enerji) ve bireysel karakteristikleri (araç kullanma yöntemleri veya araç sürüş tarzı, vücut duruşu, sağlık durumu, eğitim, beceri, kişisel koruyucu donanım kullanımı, hasara karşı bireysel duyarlılık) gibi faktörlerin titreşimin zararlı etkileriyle ilişkili olduğuna inanılmaktadır (Mandal ve Srivastana, 2010).

Mansfield ve Marshall (2001) tüm vücut titreşiminin madencilik endüstrisi için önemli bir konu olduğunu ve bel ağrısı ile omurga dejenerasyonuna katkıda bulunduğunu bildirmişlerdir. Maden işletmelerinde kullanılan dozer, greyder, hidrolik ekskavatör, kamyon ve yükleyici gibi çoğu iş

makinelerinin operatörler titreşim ve şoklara maruz kalmaktadır. Düşük frekanslı tüm vücut titreşimine uzun süreli mesleki maruziyetin lomber omurga ve bağlı sinir sisteminde oluşan hastalık riskini artırdığı ifade edilmiştir (Bongers vd., 1988; Bernard, 1997; Bovenzi ve Hulshof, 1998; Bovenzi, 2005, 2006).

2.6 Maden Kamyonları Üzerine Yapılan Öncel Çalışmaların Değerlendirilmesi

Endüstriyel işlerde özellikle yüksek güçle çalışan makinalarda meydana gelen yoğun titreşim, makinaları çalıştıran operatörleri doğrudan etkilemektedir (Akduman ve Pekey, 2010). ILO 1977'de titreşimi mesleki bir tehlike olarak nitelendirmiş, "çalışanların titreşimden korunması için önlemlerin alınması" gerektiğini ve sorumlu yetkililerin tehlikeyi belirlemek için ölçütler oluşturması gerektiğini vurgulamıştır. Yerüstü madencilik faaliyetlerinde kullanılan ağır iş makinesi operatörlerini etkileyen el-kol ve tüm vücut titreşimi, iş sağlığı ve güvenliği açısından önemli bir konudur. 1 Hz ve 20 Hz arasındaki frekanslar vücutta özellikle sırt ağrısı, omurga dejenerasyonu, mide sorunları, baş ağrısı, uyku sorunları gibi hasarlara sebep olabilmektedir (Thalheimer, 1996; Eger vd. 2008b; Okunribido vd., 2006). Birçok araştırmacı yukarıdaki etkileri doğrulamış ve kas yorulması, stabilitenin azalması, vestibüler işlev bozukluğu, kadın üreme sisteminin bozulması gibi diğer risk faktörleri olduğunu belirtmişlerdir (Seidel ve Heide, 1986; Bongers vd., 1988; Herington ve Morse, 1995; Griffin, 1998).

NIOSH (1998), mesleki titreşimin ABD'de sekiz ila on milyon insanı etkilediğini bildirmiştir. Kamyon, otobüs, lokomotif, helikopter, ağır makineler ve çiftlik ekipmanı operatörleri yanı sıra titreşimli iş makinesi kullanan işçilerin de mesleki tüm vücut titreşimine maruz kaldıkları vurgulanmıştır. Mandal vd. (2006) Hindistan maden endüstrisinde çalışan işçilerin %18'lik kesiminin mesleki titreşime maruz kaldığını ifade etmiştir.

Açık maden işletmelerinde kazı-yükleme ve taşıma için yükleyici-taşıyıcı birleşimleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Operasyonlarda yüksek üretim ve düşük maliyet hedefini yakalamak için büyük kapasiteli yükleme ve taşıma araçlarına olan talep artmaktadır. Frimpong vd. (2011) 360 ton üzerinde taşıma kapasitesine sahip kamyonlar ile çevrim başına >90 ton kapasiteli elektrikli ekskavatörlerin kullanımı ile üretim ve ekonomi bakımından önemli iyileştirme sağlandığını ancak bu araçların kullanılmasıyla birlikte operatör sağlığı açısından bakıldığında uzun çalışma saatleri ve sürekli oturarak çalışmanın önemli olumsuz yan etkileri de açığa çıkardığını belirtmiştir. Operatörlerin sürekli mekanik titreşime maruz kalması, titreşimin yoğunluğuna ve frekansına bağlı olarak, geri döndürülemez ve engellenemez fiziksel zararlara neden olabilmektedir. Bu durumda, mesleki bel ağrısı gibi titreşim kaynaklı hastalıklar ortaya çıkmaktadır.

Araştırmacılar arasında iş makinesi operatörlerinin TVT etkilerine maruziyeti ve TVT'nin uzun dönemli olumsuz sağlık etkileri üzerinde görüş birliği bulunmaktadır (Miyashita vd., 1992; Mandal ve Srivastava, 2010; Aye ve Heyns, 2011). TVT maruziyetini etkileyen faktörler arasında iş makinelerinin çalışma koşulları, tonajları, hizmet ömürleri, işlenen malzemenin türü gibi değişkenler bireysel ya da toplu halde değerlendirilmiştir. Noorloos vd. (2008) bir aracın neden

olduğu titreşim büyüklüğünün; kullanıldığı saha şartları, bakım durumu, operatörün sürüş tarzı ve hızı, yürüme organı türü, koltuk tipi ve yüklenen/boşaltılan malzemenin özellikleri ve operatör tecrübesi gibi birçok faktöre bağlı olduğunu bildirmiştir.

Mandal ve Srivastava (2010) Hindistan'da bir kömür madeninde damperli kamyon operatörlerinin tüm vücut titreşimi maruziyetini değerlendirdikleri çalışmada, baskın Z eksenini boyunca KOK ivme değerlerinin $0,644 \text{ m/s}^2$ ile $1,820 \text{ m/s}^2$ arasında değiştiğini bulmuşlardır. Sürücü koltuğuna yerleştirdikleri ivmeölçer ile üç eksenden, sürücülerin normal bir çalışma döngüsünü (yükleme, taşıma, boşaltma ve dönüş) temsil edecek şekilde 18-22 dak boyunca ölçüm almışlardır. Günlük ortalama 5 saatlik maruziyet ile birlikte değerlendirildiğinde, tüm damperli araçların ISO 2631-1 (1997) standardında öngörülen yüksek sağlık risklerine neden olduğu ortaya çıkmıştır. 7 t ile 350 t arasında taşıma kapasiteli kamyonların 40 sürücüsü üzerinde 20 kez tekrarlanarak yapılan çalışmada, %85 anlamlılık düzeyi ile bel ağrısı sorunu, %30 omuz ve %37,5 boyun ağrısı şikâyeti tespit edilmiştir. Titreşime maruz kalan 40 kamyon sürücüsü ile titreşim ölçümü yaparken aynı madende çalışan ve titreşime maruz kalmayan 20 maden çalışanından oluşan kontrol topluluğu ile anket çalışması yaparak aralarındaki bel, sırt, kol ve bacak ağrısı vb. farklılıkları incelemişlerdir. Tüm vücut titreşimine maruz kalan sürücüler için omuz, boyun ve diz ağrısı ile ağrı kesici ilaç kullanımının, titreşime maruz kalmayan denek grubuna göre daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir.

Cann vd. (2004) nakliye kamyon sürücülerini üzerinde yaptıkları çalışma ISO 2631-1 (1997) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Sürücü tecrübesi ve kamyon hizmet yılı başta olmak üzere yol durumu, kamyon tipi, kamyon kilometresi ve koltuk türünün TVT maruziyeti üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Testler dört ana karayolu üzerinde, her 30 dakikada bir 80 km/sa'e eşit veya daha yüksek hızlarda (otoyol sürüş koşullarında) alınan 5 dakikalık rastgele numunelerle gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, sürücülerin ISO 2631-1 standardı uyarınca günlük maruziyetten kaynaklanan olumsuz sağlık etkileri altında olmadığını göstermiştir.

Önceki çalışmalar, farklı modeldeki araçların TVT maruziyetini etkilediğini belirtmektedir. Maeda ve Morioka (1998) ağır yol koşullarının çöp kamyonu sürücülerinin TVT maruziyetinde artışa neden olduğunu tespit etmişlerdir. Village vd. (1989) maden kamyonlarını incelemiş ve araç boyutunun TVT maruziyeti üzerinde önemli rol oynadığını bildirmiştir. Buna karşılık Noorloos vd. (2008) 12 farklı işyerinde otomobil, minibüs, kamyon, tekerlekli yükleyiciler, damperli kamyonlar, ekskavatörler, buldozerler, silindirler (steamroller), mobil vinçler ve asfalt makineleri gibi çeşitli tipte araç kullanan 467 katılımcı ile anket çalışması yapmışlardır. Çalışma sonucunda TVT maruziyeti ile bel ağrısı arasında bir ilişki bulunamamış, bu da örneklem sayısındaki azlığa bağlanmıştır.

Lundström ve Holmlund (1998) 15 erkek ve 15 kadın üstünde yaptıkları çalışmada Z yönünde kaydedilen TVT ivmesinin X ve Y yönlerindeki titreşimden çok daha etkili olduğunu, bunun da diğer çalışmaları ve ISO 2361 standardını destekler nitelikte olduğunu bildirmişlerdir.

Maeda ve Morioka (1998) çöp kamyonu sürücüleri üzerinde farklı yüklerde ve farklı yol koşullarında TVT maruziyetini araştırmışlardır. Çalışmada, 6 ve 7 farklı işletme koşulunda üç eksenenden yaklaşık 60 s'lik TVT verisi ölçümleri alınmıştır. Sürücü koltuğunda $0,76 \text{ m/s}^2$, $0,79 \text{ m/s}^2$ ve $1,1 \text{ m/s}^2$ RMS ivme bulunmuştur. Standartta günlük titreşim dozu $eVDV = 8,5 \text{ ms}^{-1,75}$ iken ölçümler sonucu sürücülerin maruz kaldığı doz ($eVDV = 1,4a_{wz}T^{0,25}$), $15 \text{ ms}^{-1,75}$ 'dir. Titreşim verisi ISO 2631-1 standardı Ek B'de verilen sağlık riski kılavuzu ile karşılaştırılmış ve ölçüm yapılan üç farklı tipteki çöp kamyonu sürücülerinin mevcut çalışma koşulları altında günde en fazla 2,5 saat çalıştırılması gerektiği tespit edilmiştir. Japonya'daki çöp kamyonu sürücülerinin mekanik tüm vücut titreşimine maruz kaldığı ve bu etki sonucunda bazı sürücülerin titreşim kaynaklı bel ağrısı çektiği yorumunda bulunmuşlardır. Yazarlar titreşim kaynaklı bel ağrısının meslek hastalığı olarak kabul edilebileceği yargısına varmışlardır.

Nishiyama vd.'nin (1998) operatörlerin sırt ağrısını değerlendirmek amacıyla az sayıda örnek üzerinde ve kısa süre içerisinde yaptığı çalışmada eski model kamyonların daha yüksek TVT maruziyetine neden olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu çalışma maden işletmelerinde kullanılan kamyonlar üzerine döngüsel bir değerlendirme olmayıp, kamyon tonajı ile TVT arasında ilişki kuracak şekilde kapsamlı bir inceleme olmamıştır.

Paddan ve Griffin (2002) 14 farklı kategoride 100 adet iş makinesi üzerinde yaptıkları TVT maruziyeti çalışmasında koltuk ve kabin zemininde kaydedilen titreşim ivmelerini karşılaştırmışlardır. 67 konvansiyonel (köpük ve metal veya kauçuk yaylı koltuklar) ve 33 süspansiyonlu (bir yay ve bir sönümleyici) araç koltuğu ile BS 6841 ve ISO 2631 standartlarına uygun olarak ölçüm ve değerlendirme yapmışlardır. Sürücü koltuğunun yalıtım etkinliğini (SEAT faktörü) hesaplayarak TVT maruziyetinin oturma dinamiklerinde sağlanacak iyileştirmelerle birçok çalışma ortamı için azaltılabilir olduğu sonucuna varmışlardır.

ABD'de NIOSH tarafından yapılan bir araştırmada iki farklı yeraltı kömür ocağında kullanılan nakil aracı modellerinin koltuk tasarımları karşılaştırılmıştır (Mayton vd., 2003). Nitel yapıdaki sonuçlar, araç operatörlerinin mevcut koltuklara göre ayarlanabilirlik, düşük sırt desteği ve iyileştirilmiş koltuk dolgusu ile NIOSH tarafından tasarlanmış daha yeni koltukları tercih ettiğini göstermiştir.

Kumar (2001) açık ocaklarda kullanılan kamyonların operatörlerinin TVT bakımından takip edildiği çalışmada X, Y ve Z eksenlerinde titreşim ölçümleri kaydetmiş ve bulguların değerlendirilmesi sonucunda operatörlerin üçüncü bel ve yedinci boyun omurlarında titreşim kaynaklı etkileri ölçmüştür. Farklı marka ve değişik taşıma kapasitelerindeki yeni ve eski kamyonlardan alınan veriden, ISO 2631-1 standardında öngörülen maruziyet eşliğinin aşıldığını tespit etmiştir.

Kumar (2004) diğer bir çalışmasında, iki farklı markada 240 t ve 320 t kapasiteli ikisi eski diğer ikisi yeni dört kamyonunda on dört sürücü (8 erkek ve 6 kadın) üzerinden TVT maruziyeti ölçümleri yapmıştır. Z ekseninde ivmeler $0,37 \text{ m/s}^2$ ile $11,73 \text{ m/s}^2$ arasında değişmiştir. Örnekleme bel merkezi titreşimi $0,34 \text{ m/s}^2$ ve $2,72 \text{ m/s}^2$, servikal seviyedeki düşey titreşim değerleri $0,2 \text{ m/s}^2$ ile $2,22 \text{ m/s}^2$ arasında değişmiştir. Sürücünün cinsiyeti ile kamyon kapasitesinin titreşim üzerinde

belirgin bir etkisi olmadığını; bununla birlikte, sürücünün vücut kütlesi, aracın segmenti ve ölçüm bölgesinin titreşimde önemli farklılıklar ortaya koyduğu yorumunda bulunmuştur ($p < 0,001$). Toplam 36 birleşimde (4 kamyon \times 9 kayıt konumu) kaydedilen Z eksenli dikey TVT ivmeleri ISO standartlarını erkek sürücülerde 8 kez, kadın sürücülerde 9 kez aşmıştır. Erkeklerde bel omurgasında kaydedilen TVT ivmesi ISO standartlarını 12 kez, kadınlarda 11 kez aşmıştır. Ağır ocak kamyonlarının aşırı güç madencilik operasyonlarında operatörler üzerinde önemli bir sağlık tehlikesi oluşturduğu ve ISO standartlarını sıklıkla aşan TVT ivmeleri ürettiği yorumunda bulunmuştur.

Gunaselvam ve van Niekerk (2005) ISO 7096 standardında öngörülen ölçüm tekniklerini kullanarak zayıf ve kilolu sınıflarına ayırdıkları üçer kişilik deney grupları ile beş farklı üreticiye ait altı tip süspansiyon koltuğunu incelemiştir. Koltuklar hava süspansiyonlu olup bazılarının amortisörleri açılabilir veya kapanabilir özellikte olduğundan ölçümler süspansiyon devrede/devre dışı olarak yapılmıştır. Değerlendirme sonucunda işletme ve zemin koşullarındaki farklılıkların TVT maruziyetini etkilediği ve daha ayrıntılı ölçümler alınması gerektiği sonucuna varmışlardır.

Blüthner vd. (2008) TVT'nin sürücüler üzerindeki etkisini farklı bir şekilde incelemiştir. X ve Y eksenlerinden sürücüye aktarılan titreşimi azaltmak amacıyla yatay yönlü bir süspansiyon üzerinde çalışarak, bu süspansiyon sistemine sahip bir koltuk modellemiştir ve dokuz gönüllü ile üç yönlü süspansiyon sistemine sahip bir koltuk üzerinde testler yapmışlardır. Yatay yönde süspansiyonlu koltukların değerlendirilmesi hakkında bir süreç veya standardın olmadığını ve bu konuda devam çalışmalarının yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Vanerker vd. (2008) Hindistan'da iki metalik cevher işletmesinde (boksit ve demir) kullanılan iş makinelerinin neden olduğu TVT maruziyetini iki farklı tip sürücü koltuğu üzerinde ölçmüşlerdir. Boksit ve demir işletmelerinden kaydedilen titreşim dozu değerlerine (VDV) çapraz karşılaştırma uygulandığında, boksit işletmesindeki ağır iş makinesi operatörlerinin TVT maruziyetinin, demir işletmesi muadillerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Smets vd. (2010) 35 ton, 100 ton ve 150 ton kapasiteli ağır iş kamyonu sürücülerinin titreşim maruziyetini ISO 2631-1 ve ISO 2631-5 standartları göre bir saat boyunca operatör koltuğundan değerler kaydederek, ölçmüşlerdir. En yüksek eşdeğer günlük maruziyet ivme değeri Z ekseninden $0,44 \text{ m/s}^2$ - $0,82 \text{ m/s}^2$ aralığında ölçülmüştür. VDV(8) ölçümleri ise $8,8 \text{ m/s}^{1,75}$ ila $16,4 \text{ m/s}^{1,75}$ arasında değişmiştir. ISO 2631-1 ölçütlerine göre sürücüler günlük maruziyet sınırının üzerinde titreşime maruz kalırken, ISO 2631-5 uyarınca sağlık etkisi olasılıklarının düşük olduğu sonucuna vararak, iki standart arasında uyumsuzluk olduğu yorumunu yapmışlardır. Kamyon kapasitesinin A(8) ivme üzerindeki etkisini belirlemek için % 95 güven aralığı ile t-testi kullanmışlardır. Spektral analizlerde yatay düzlemdeki X ve Y eksenleri için baskın frekanslar 1 Hz - 1,25 Hz aralığında iken Z ekseninde baskın frekans 2 Hz - 4 Hz aralığında çıkmıştır.

Mayton vd. (2008) 4 adedi eski ve 2 adedi yeni olmak üzere toplam altı kamyonun TVT maruziyeti ölçümü yapmışlardır. Ölçümler, ortalama 19,5 dakika olmak üzere 2 ile 58 dakika

arasında srmstr. Tüm kayıt sırasında GPS ile konum verisi de toplanmış ve titreşim verisi ile senkronize edilmiştir. Böylece 10 m/s²'den yüksek ivme değeri veren bölgelerdeki yollar bakım için işaretlenmiştir. Z eksenindeki titreşim ivmesinin baskın olduğu sonucu ile eski model kamyonların daha yüksek titreşim değerleri verdiğini tespit etmişlerdir. TVT ve GPS konum verileri birlikte değerlendirildiğinde şokların büyük bölümünün yükleme, boşaltma ve yoldaki çukurlarda meydana geldiği belirlenmiştir.

Frimpong vd. (2011) ISO 5982: 2001 standardına dayalı bütünleşik bir operatör-kamyon-malzeme sistemi sanal ilk örnek simülatörünü ADAMS™ ortamında geliştirmiş ve yükleyici-kamyon kombinasyonunda, kamyonlarda boşaltma aşamasında oluşan titreşimleri matematiksel model ile incelemişlerdir. Model; boşaltma süresi, kamyon kütlesi, zemin koşulları, malzeme özellikleri ve yükleyici operatörünün deneyimi gibi diğer çevresel faktörlerden kaynaklanan harici uyarılma ile karakterize edilmiştir. Titreşim yoğunluğunun; kamyon kütlesine, sürekli araç-arazi etkileşimlerine ve araç süspansiyonunun sönümleme mekanizmasına bağlı olduğunu tespit etmişlerdir. Her çevrimde yüklenme ve boşaltma evrelerinde kamyonun büyük titreşimlere maruz kalmakta olduğunu vurgulayarak kamyonu meydana gelen aşınma ve yıpranmanın araç şasisi üzerinden operatör kabinine iletildiğini ve etkilerin uzun vadede operatörün sağlığına zararlı olabildiğini, bu zararın tüm vücut titreşiminden kaynaklandığı yorumunu yapmaktadırlar.

Palmer vd. (2000) İngiltere'de TVT'ye maruz kalan işçilerin sayısını tahmin etmek için çalışan 22194 erkek ve kadın işçi üzerinde bir anket çalışması yapmışlardır. Günlük alışma sresinde VDV için 15 ms^{-1.75} sınır değer öneren BS 6841 standardı referans alındığında kamyon sürücüleri, çiftçiler, tarım işçileri ve forklift sürücülerinde sınır değerin aşıldığını söylemişlerdir.

Ülkemiz maden sektöründe çalışan sürücü ve operatörlerin TVT maruziyetinin değerlendirilmesi üzerine bilimsel bir çalışma henüz yapılmamıştır. Bu alışma kapsamında önce, maden işletmelerindeki ağır iş makinelerini kullanan operatörlerin tipik çalışma koşulları altında maruz kaldığı TVT düzeyinin belirlenmesi sonra da işletme, donanım ve kişi faktörlerinin TVT maruziyeti üzerindeki etkisinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

2.7 Diğer iş Makinelerinin Değerlendirilmesi

Titreşime maruziyet mühendislik, idari ve iş organizasyonu kontrolleri kullanılarak azaltılabilir. Mühendislik tasarımı açısından bakıldığında, koltuk ya da araç süspansiyon sisteminin geliştirilmesi, sürücüler üzerindeki titreşim maruziyetleri azaltmaya yardımcı olabilir. Yapılan çalışmalarda aktif süspansiyon sistemlerinin çeşitli sürüş koşullarında titreşimle ilgili rahatsızlığı azalttığını göstermiştir (Pollard ve Simons, 1984).

Seidel ve Heide (1986) tüm vücut titreşimi üzerine 185 makale incelemiş ve titreşim ortamında ISO 2631-1 standardında verilen sınıra yaklaşan ya da aşan kişilerin kas-iskelet sistemi rahatsızlığına maruz kalabileceklerine karar vermişlerdir. İncelemeleri TVT'ne maruz kalan 43.000 işçi ve maruz kalmayan 24.000 kişiden oluşan kontrol grubundan oluşmuştur. Verilerin

değerlendirilmesi sonucu yorumları, yoğun ve uzun süreli tüm vücut titreşimi maruziyetinin, omurga ve periferik sinir sisteminin sağlık riskini arttırdığıdır. Yazarlar, her bir makaleyi kontrol grupları, istatistiksel analizler, maruz kalan meslek grupları ve incelenen organ sistemi açısından değerlendirmişlerdir. Çalışan oryantasyonu, yaş, cinsiyet, birleşik etkiler, kontroller, sübjektif şikâyetler, gövde kasları, çeşitli kas-iskelet sistemi koşulları, biyomekanik faktörler, biyokimyasal faktörler, maruziyet süresi ve vücut tipi değişkenlerin etkileri sınıflandırılmıştır. Değerlendirmeleri sonucunda bazı titreşim maruziyetlerinin sırt için sağlık riski oluşturduğuna ve ISO 2631-1'de yer alan sınır değerlerin daha alt seviyelere indirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Village ve Morrison (1989) 2,7 m³ (3,5 yd³), 3,8 m³ (5 yd³), 4,6 m³ (6 yd³) ve 6,1 m³ (8 yd³) kapasiteli yük taşı-boşalt (YTB) araçlarının neden olduğu TVT seviyelerini araştırmışlar ve büyük kapasiteli iş makinelerinin TVT ile ilgili potansiyel tehlikelerini ortaya çıkarmışlardır. 11 farklı YTB aracının doldurma, taşıma, boşaltma ve dönüş evrelerini kapsayan toplam 22 ölçümde operatörlerin TVT maruziyeti ölçülmüştür. 22 ölçümün 20'sinde Z eksenini boyunca oluşan TVT ivmesi, ISO 2631-1 (1982) standardında önerilen emniyet sınırlarının aşıldığını göstermiştir. Ayrıca üç ortogonal eksendeki ivmeler birlikte kullanılarak hesaplanan vektör değerlere göre tüm vakalarda ISO sınırları aşılmıştır. X ve Z yönlerinde en büyük ivmeler 2,7 m³ kapasiteli en küçük YTB'den kaynaklanmıştır. KOK ivme değerleri 2,0 m/s² - 2,8 m/s²'ye kadar yükselmiştir. Baskın frekansların X ve Y yönlerinde 1,6 Hz - 2 Hz, Z yönünde 3,15 Hz aralığında olduğu bulunmuştur. X ve Z yönlerindeki dolu ve boş ilerleme esnasında oluşan TVT ivmelerinin, doldurma ve boşaltma sırasında oluşan ivmelerden daha büyük olduğunu belirtmişlerdir.

Miyashita vd.'nin (1992) yaptıkları araştırmada anket ve öz-bildirim yöntemi ile iş makinesi operatörlerinin titreşim maruziyetleri araştırılmıştır. 184 ekskavatör, 127 buldozer, 44 forklift operatörü ile 44 ofis çalışanın değerlendirildiği çalışmada 30-49 yaş aralığında bir grup seçilmiştir. Ankette yorgunluk, sindirim sorunları ile alt ya da üst ekstremitelere veya sırt sorunları gibi 20 farklı belirti ile sıklık ve belirti özellikleri incelenmiş ve istatistiksel anlamlılığı, t-testi ve ki-kare testi ile test edilmiştir. Operatör gruplarının baskın belirtileri arasında omuz, bel ve mide ağrısı belirtileri bulunmuştur. Çalışmada operatörlerin sıklıkla donuk omuz (stiff shoulder) (%43,5 - %56,8), bel ağrısı (lower back pain) (%38,0 - %50,0), genel yorgunluk (general fatigue) (%26,6 - %45,5) ve mide ağrısı (weak stomach) (%27,2 - %38,6) sorunlarından yakındığı görülmüştür.

Özkaya vd. (1997) metro treni vagonlarında yaptıkları çalışmada, yolcuların TVT maruziyetini ISO 2631 (1985) standardı ile analiz etmişler ve Z eksenini boyunca kaydedilen ivmelerin diğer eksenlere göre daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir.

Sırt rahatsızlıkları, toplu taşıma sektöründe çalışan operatörler arasında sağlığın bozulması ve erken gelişen kalıcı sakatlık için en önemli nedenler arasında listelenmiştir. Demiryolu araçlarını kullanan, özellikle toplu taşıma operatörlerinin epidemiyolojisi ve maruziyet koşulları hakkında çok az araştırma bulunmaktadır. ABD'de 53 000 lokomotif çalışanın bulunduğu yaklaşık 100 000 demiryolu tabanlı araç operatörü sırt rahatsızlıklarından şikâyet etmektedir. Johanning (1998) toplu ulaşım operatörleri ile yaptığı çalışmada tüm vücut titreşiminin bel bölgesine zarar verdiğini

ve bunun sonucu olarak önemli sağlık sıkıntılarının açığa çıktığını kanıtlamıştır. New York City ve Münih toplu transit sisteminin transit operatörleri üzerinde yaptığı çalışma sonucunda; New York City transit operatörleri, kabin tasarımı (boy), koltuk tasarımı ve ayarlanabilirlik, titreşim ve şoka maruziyet, iklim, hava kalitesi ve aydınlatma eksikliği nedeniyle çalışma ortamını eleştirmektedir. Münih Toplu Transit Sisteminin transit operatörleri de (metro, tramvay ve otobüs) ergonomik çalışma koşullarına ilişkin benzer şikâyetler bulunmuştur.

Araç operatörleri tüm vücut titreşiminin potansiyel olarak tehlikeli seviyelerine maruz kalmaktadırlar (Village and Morrison, 1989; Cann vd., 2004; Kumar, 2004; Rehn vd., 2002). Palmer vd. (2000) İngiltere'de her hafta 9 milyondan fazla kişinin mesleki TVT'ne maruz kaldığının tahmin edildiğini bildirmişlerdir. Birçok araç operatörü sırt ağrısından şikâyet etmektedir (Bovenzi ve Betta, 1994; Schwarze vd., 1998; Rehn vd., 2002).

Bovenzi ve Hulshof (1998), 1986 ile 1996 yılları arasında yayımlanan epidemiyolojik çalışmaların gözden geçirilmesi yoluyla spinal sistem üzerindeki TVT'nin sağlık üzerindeki olumsuz etkilerinin epidemiyolojik kanıtı hakkındaki bilgileri güncellemeye yönelik yaptıkları çalışmada bel ağrısı (LBP) bozuklukları ve TVT'ne maruz bırakan meslekleri 37 maddede ele almışlardır. Seçilen çalışmaların bulguları mesleki TVT'ne maruziyetin bel ağrısı, siyatik ağrı ve spinal sistemde dejeneratif değişiklikler (bel omurları intervertebral disk bozuklukları) ile ilişkili olduğunu göstermiştir.

Kuzey Amerika demiryolu operatörleri titreşim ve şoka maruz kalmaktadır. Yirmi iki Amerikan demiryolu lokomotifinde düşük KOK titreşim seviyesi tespit edilmiştir (Johanning vd., 2002). En yüksek KOK değeri $0,43 \text{ m/s}^2$ ve ISO 2631-1 (1997) temel alınarak EAV'nin altında olan ortalama KOK değeri $0,32 \text{ m/s}^2$ dir.

Kanada Ontario'daki üç farklı zemin sıkıştırıcısı (soil compactors) ile yapılan bir çalışmada, frekans ağırlıklı ortalama düşey ivme $0,91 \text{ m/s}^2$ olarak tespit edilmiştir (Cann vd., 2003).

İşsever vd. (2003) kaya matkabı (rock drill) ile çalışan 50 işçi ve 64 kamyon operatörü üzerinde Japonya Endüstriyel Güvenlik ve Sağlık Kurumu (Japan Industrial Safety and Health Association, JISHA) tarafından düzenlenen Titreşim Rahatsızlığı Tıbbi Komitesi (Medical Committee of Vibration Disease) tarafından hazırlanan 38 maddelik bir anket kullanılarak titreşim sonucu oluşan belirtileri tespit etmek amacıyla çalışma yapmışlardır. Benzer bir çalışmayı, ağır iş makinesi operatörleri ile 54 ofis çalışanı arasındaki farklılıkları gözlemek amacıyla da gerçekleştirmişlerdir. Ağır araç operatörlerinde parmaklarda ağrı şikâyetleri, gece duyu hissi, uyuşukluk ve geceleri parmak ağrısı, durgunluk zayıflığı, bilek-dirsek ağrısı, dirsek bükme ve gerilme güçlüğü, silah tutarken omuz ağrısı, bel ağrısı, uyku bozukluğu ve işitme zorluğu gibi rahatsızlıklar, ofis çalışanlarına göre anlamlı derecede yüksek çıkmıştır. Sonuç olarak kalıcı titreşim maruziyetinin, mesleki hastalıklara neden olabilecek olumsuz fiziksel etkilere neden olduğu, bütün vücut ve el kol titreşimlerine karşı korunmak için teknik ve tıbbi önlemlerin dikkate alınması gerektiği yorumunu yapmışlardır.

ABD'de yapılan bir çalışmada, vibrasyonlu kompaktör ile kamyonet ve tren koltuklarından titreşim ivmesi ölçümü yapılmış ve kompaktörün TVT ivme değerleri diğerlerinden dört kat yüksek çıkmıştır (Beck vd., 2004).

Önden yükleyici operatörlerinin sürüş tarzındaki değişkenlik, yol pürüzlülüğü, yükleme şekli ve yüklenen malzemenin özellikleri tüm vücut titreşimi maruziyetini etkilemektedir. Newell vd. (2005) yaptıkları çalışmada dokuz adet önden yükleyici ile iki farklı granit ocağı, açık kömür ve hurda metal işletmesi dâhil olmak üzere 4 ayrı çalışma sahasında ISO 2631-1 (1997) standardına uygun olarak ölçümler almışlardır. Kayıtların uzun süreli olmasına rağmen iş makinelerinin iş akışını takip edemediklerinden ötürü yüksek TVT ivmelerinin çalışmanın hangi aşamasında oluştuğunu açıklayamamışlardır.

Fleury ve Mistrot (2006), tekerlekli yükleyici koltukları için ön-arka süspansiyon tasarlamak amacıyla hesaplamalı bir yaklaşım önermişlerdir. Sürücünün maruz kaldığı titreşimin yapısını analiz etmek için bir taş ocağında saha testleri yapmışlar ve tipik girdi sinyallerini laboratuvarda yeniden üreterek süspansiyon için teknik özellikler belirlemişlerdir. Oturan bir insan vücudu modeli üzerinde SEAT faktörlerinin hesaplanan değerlerine dayanarak koltuk tarafından titreşim değerlerini azaltacak biçimde yeni bir süspansiyon modeli önermişlerdir.

Newell vd. (2006), diğer bir çalışmalarında dört farklı işyerinde altı farklı paletli önden yükleyiciden ISO 2631-1 (1997) standardına uygun olarak üç ortogonal ekseninde operatörlerin TVT maruziyetini ölçmüşlerdir. Araştırmacılar, yükleyicilerin tipik çalışma döngüsü ve işlevleri arasındaki doğal değişkenlikten ötürü tüm işlevlerin örneklenmesini ve TVT maruziyetine ait güvenilir göstergeler elde etmek için her işleve ait yeterli sayıda çalışma döngüsünün ölçülmesi gerektiği sonucuna varmışlardır. Paletli yükleyiciler tarafından gerçekleştirilen temel görevler, zeminde tesviyeleme ve kamyonların yüklenmesidir. Araçlarda toplam 11 ölçüm yapılmış ve en büyük KOK değeri X ekseninde ölçülmüştür. Bazı paletli önden yükleyicilerde Y ve Z eksenlerindeki KOK değerleri de yüksek çıkmıştır. Bu tutarsızlığın tesviye işlemi sırasında artan hareketlilik, operatörlerin girişken sürüş teknikleri ve farklı saha koşullarından kaynaklanabileceği şeklinde açıklamışlardır.

Mandal vd. (2006) üç ayrı açık maden işletmesinde damperli kamyon, dozer ve elektrikli ekskavatörlerden oluşan toplam 18 ağır iş makinesini kullanan operatörler üzerinde titreşim analizi yapmışlardır. ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca yapılan ölçümlerin değerlendirilmesi sonucunda damperli kamyon ve dozerlerden oluşan 13 adedinin günde dört saatlik çalışma için güvenli sınırların üzerinde titreşim düzeyi oluşturduğunu ancak elektrikli ekskavatörlerin neden olduğu titreşim seviyelerinin güvenli sınırlarda olduğunu tespit etmişlerdir.

33 skreyper operatörü ile üç tam çalışma çevrimini test eden Salmoni vd. (2010) bekleme, doldurma ve taşıma süreçlerinde operatör koltuğu ve kabin zemininden TVT verileri almışlardır. En yüksek Z ekseninden olmak üzere A(8) değerleri AB güvenlik standartları ile karşılaştırıldığında tüm eksenler için yüksek bulunmuştur. Tüm araçlarda $0,5 \text{ m/s}^2$ maruziyet

eylem değerinin, büyük bölümünde de maruziyet sınır değeri olan 1,15 m/s²'nin aşıldığı görülmüştür. Verilerin ortalama değerleri 0,01 güven aralığında varyans analizi ile incelenmiştir. TVT maruziyeti eylem değerinin üzerinde olduğundan yeni bir koltuk tasarımı önerilmiştir.

Cann vd. (2005) toplam 33 adet skreyper operatörünün TVT maruziyetini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada koltuk ve zemindeki titreşimi ölçmek için üç eksenli ivmeölçerler ve bir Biometrics™ veri kaydedici kullanmışlardır. Veri toplama ve analiz ISO 2631-1 (1997) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiş ve ölçüm, skreyperlerin üç çevrimini kapsamıştır. Frekans-ağırlıklı KOK ivmelerini kullanan TVT analizinin sonuçları, her bir eksen için koltuktaki ortalama maruziyetin, ISO 2631 (1997) sınırlarını aştığını göstermiştir (X eksen: 0,79 m/s² - 0,83 m/s², Y eksen: 0,81 m/s² - 0,97 m/s², Z eksen: 1,08 m/s² - 1,36 m/s²). SEAT faktörleri her araç için ISO 10326 (1992) standardına göre hesaplanmış ve ortalama 0,96 olarak tespit edilmiştir (ortalama %4 sönümlenme). Yeni model skreyperlerde koltuktaki titreşim seviyesi zemine kıyasla daha az olup baskın frekanslar 3,15 Hz'den 2,5 Hz'e düşmüştür. Diğer yandan maruz kalınan TVT doz ve ivme değerleri ISO 2631 HGCZ bölgesini aştığından koltuk tasarımlarının iyileştirmesine yönelik daha fazla araştırma yapılmasını vurgulamışlardır.

Gillin vd. (2005) 33 skreyper operatörünün TVT maruziyetlerini doldurma, taşıma, serme, dönüş ve çalışır durumda bekleme olmak üzere beş farklı konumda en az üç skreyper döngüsünü içerecek şekilde yirmişer dakikalık devir boyunca üç eksenle ölçümler olarak tespit etmişlerdir. Titreşim, baskın Z ekseninde boyunca ortalama 1,21 m/s² KOK, vektör toplam değeri ise 2,08 m/s² olmuştur. Ulaşılan TVT değerleri, skreyper operatörleri için büyük bir sağlık tehlikesinin mevcut olduğunu göstermiştir. Skreyper çalışma döngüsünün zaman bakımından bölümlenmesi sonucunda %23'lük kısmın taşıma, %20'lik kısmın serme, %22'lik kısmın boş dönüş, %15'lik kısmın bekleme ve %20'lik kısmın doldurma için harcadığı tespit edilmiştir. Taşıma için 2,46 m/s², bekleme için 2,31 m/s², boş dönüşte 0,55 m/s² ve doldurma sırasında 1,46 m/s² KOK vektör toplam ivme değerleri kaydedilmiştir.

Miller vd.'nin (2008) yaptığı çalışma skreyperler, dozerler, ağır kamyonlar ve yükleyiciler gibi iş makinelerini kapsamıştır. Operatörlerin iş makinesi içinde uzun vardiya süresi boyunca aynı oturuş pozisyonunda çalışmaları sonucunda kas-iskelet sistemlerinin makine tarafından oluşturulan titreşim ve sarsıntılardan zarar gördüğünü söylemektedir. Ergonomik çalışma ortamlarının oluşturulmasının bu zararın etkisini azaltabileceği yorumunda bulunarak; etkili kabin düzeni, koltuk tasarımı, süspansiyon teknikleri, bakım, operatör sürüş eğitimi ve çalışma süresi uygun biçimde tasarlandığında, operatör sağlığı açısından daha iyi sonuçlar geliştirebileceği yorumunda bulunmaktadır.

YTB operatörleri, sınırlı görüş hatları nedeniyle gövde ve boyunları dönük, gövde öne bükük ve yanal olarak eğik konumda oturarak çalışmaktadırlar. TVT ile birlikte kısıtlı oturma postürleri intervertebral disk yetmezliği, spinal dejenerasyon ve bel ağrısı riskini artırmaktadır. Dolayısıyla, titreşim maruziyetinin büyüklüğü ve süresi, YTB operatörlerine yönelik kas-iskelet hasarı ile ilişkili tek risk faktörü değildir. Eger vd. (2013), tüm vücut titreşimine maruz kalmış büyük ve küçük

kapasiteli YTB operatörlerine, ISO 2631-1, ISO 2631-5 ve 2002/44 EC sayılı AB yönergesi kapsamında üç standardın eşzamanlı olarak değerlendirmesini yapmış, büyük ve küçük YTB araçlarının çalışması sırasında baş, boyun, üst sırt ve alt sırt ağrısı tespit etmişlerdir.

Eger vd. (2008a) yaptıkları başka bir çalışmada da 19 YTB operatörünün TVT maruziyetlerini ölçerek, bel bölgesindeki omurga rahatsızlıklarını ISO 2631-1 ile 2631-5 standartları doğrultusunda karşılaştırmıştır. ISO2631-1 standardı doğrultusunda A(8), KOK ve VDV değerleri değerlendirilirken; ISO 2631-5 standardı ile S_{ed} değerleri yorumlanmıştır. Çalışma sonucunda ISO 2631-1 standardı uyarınca 9 operatör etkilenirken, ISO 2631-5 uyarınca 2 operatörde bel bölgesi omurga rahatsızlığı riski tespit edilmiştir.

Eger vd. (2008b,c) YTB operatörleri üzerinde yaptıkları çalışmada ISO 2631-1'e göre ön görülen sağlık risklerine ilave olarak, ISO 2631-5 ölçütlerini de çalışarak iki standardı karşılaştırmıştır. Operatör koltuğuna yerleştirilen ivmeölçer ile ISO standartlarına göre TVT ölçümü yapılan çalışmanın devamı niteliğindeki başka bir araştırmada da aynı çalışma grubu ile 3DMatch™ programı kullanarak boyun ve eklem dönüşleri üzerindeki baskı ve yükleri ölçmüşler ve YTB operatörlerinin titreşime maruz kaldıkları çalışma şartlarındaki postürlerinin kas-iskelet sistemi yaralanma riskini artırdığını görmüşlerdir.

Eger vd. (2011) Ontario-Kanada'da bulunan sekiz yeraltı maden ocağında kullanılan 16 farklı kapasiteli YTB aracı üzerinde yaptıkları çalışmada, üretim sırasında operatör koltuğunda TVT değerlerini belirlemişler ve sonuçları ISO 2631-1 standardı ile karşılaştırmışlardır. 7,65 m³ kapasiteli Model A'da Z ekseninde 0,89 m/s² - 1,18 m/s² değerleri arasında okunan titreşim değerlerinin sağlık açısından özellikle günlük 8 saat süre ile çalışan operatörler için oldukça yüksek olduğunu söylemişlerdir. 4,6 m³ kapasiteli Model B'de ise en yüksek titreşim değerleri 0,55 m/s² - 0,64 m/s² arasında olup X ekseninde kaydedilmiştir. Model A'da en yüksek titreşim değerleri Z-ekseninde ölçülmüş ve SEAT faktörü 1'den büyük olmak üzere koltuk, tüm eksenlerde titreşim değerlerini artıracak şekilde davranmıştır. Maruz kalınan TVT değerleri, olası zararlı sağlık etkileri gösterecek şekilde HGCZ bölgesi içinde kalmıştır. Ayrıca araçtaki operatör koltuğunun yeraltı madenlerindeki çalışma koşulları için uygun olmadığı da tespit edilmiştir. Model B'de ise en yüksek titreşim değerleri X ekseninde ölçülmüş ve bu koltuk da tüm eksenlerde titreşim değerlerini artıracak biçimde davranmıştır. Maruz kalınan titreşim değerleri, olası zararlı sağlık etkileri açısından dikkatli olunması gereken bölge içinde kalmış ve araçtaki operatör koltuğunun yeraltı işletme koşulları için uygun olmadığı belirlenmiştir.

Rehn vd. (2005) 11 sürücü tarafından kullanılan yedi ağaç taşıma (pençe) makinesi için 10 farklı arazide TVT ölçümü yapmışlardır. Her sürücü için dört ile 35 kez arasında ölçüm yapılmış ve bu ölçümler 0,2 dk ile 34 dk arasında değişen sürelerde gerçekleştirilmiştir. Araçların titreşim toplam değeri (vibration total value, a_v) ve toplam vibrasyon dozu değeri (VDV_{Total}) belirlenmiştir. Ölçümlerin sonucunda TVT maruziyetinin zemin koşulları ile aracın dolu ya da boş çalışmasına bağlı olduğu yorumunda bulunarak, bu maruziyetin en çok aracın boş iken çalışması sırasında a_v

değerlerinde meydana geldiğini, VDV_{total} değerleri için ise yükleme sırasında belirgin bir fark olurken, boş çalışmada önemli bir farkın olmadığı sonucuna ulaşmışlardır.

Boileau vd. (2006), bir yeraltı maden işletmesinde çalışan 8 küçük ve 8 büyük YTB aracı üzerinde titreşim ölçümleri yapmışlar ve koltuk bağlantı noktasında ölçülen dikey titreşim sonuçlarını spektrum sınıflarının tanımlanmasında temel olarak kabul etmişlerdir. Her bir YTB aracının boyutu ve yük durumu için toplanan verileri yeniden gruplandırarak, ölçülen zemin titreşiminin ivme güç spektrumu yoğunluğunun (PSD) genel dağılımı 0,5 Hz ile 20 Hz frekans aralığında olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmalarını ISO 2631-1 standardına uygun olarak incelemişlerdir. Doğrulama amacıyla, simülatör üzerinde ölçülen titreşim ivme değerlerini spektrum sınıflarını temsil eden hedeflerle karşılaştırmışlar ve son olarak, tipik süspansiyonlu bir oturağın titreşim geçirgenlik özellikleri sırasıyla 62 kg ve 85 kg'lık kütleyle sahip bir insan kullanarak ağırlıklı KOK ivme oranını temsil eden SEAT değeri üzerinde deneyler gerçekleştirmişlerdir. Testler üçer kez tekrarlanmış ve koltukların YTB araçlarındaki TVT maruziyetini azaltma yeteneğini değerlendirmek için ortalama SEAT değerleri belirlemişlerdir. Genel olarak, küçük YTB'lerin büyük YTB'lere kıyasla çok daha yüksek titreşim seviyelerine neden olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Johanning vd. (2006) 20 lokomotif operatörü için ISO 2631-1 (1997) değişkenlerine dayalı olarak öngörülen risklerin ISO 2631-5 (2004) değişkenlerinden daha yüksek olduğunu bildirmiştir. Bulgulara göre çeşitli lokomotif operatörlerinin frekans-ağırlıklı KOK ivme değerleri, ISO 2631-1'de (1997) belirtilen HGCZ sınırlarının üzerindeki titreşim seviyelerine maruz kaldıklarını göstermiştir. Bununla birlikte aynı veri ISO 2631-5'e (2004) göre değerlendirildiğinde daha az sayıda operatörün sağlık riski bulunduğu tespit edilmiştir.

Pinto ve Stachini (2006) forklift, tekerlekli yükleyiciler, çöp kamyonları ve otobüsler ile farklı çalışma koşullarında toplam 50 araç üzerinde yaptıkları TVT maruziyeti ölçümlerini mermer ocakları, mermer laboratuvarları, tersaneler, kâğıt fabrikaları, ulaşım araçları ve kamu hizmetleri alanlarında farklı saha koşullarında gerçekleştirmişlerdir. Operatörlerin çalışma yöntemlerindeki farklılıklardan (makinelerin özellikleri, yol zemin özelliklerindeki değişiklikler vb.) dolayı ilgili belirsizlik bileşenlerini sayısallaştırmak için 700'den fazla bireysel titreşim ölçümü analiz etmişlerdir. Çalışmada ölçüm belirsizliklerini hesaplamak için ISO tarafından önerilen yöntem (ISO, 1995) uygulanmıştır. Çalışma, TVT'ye günlük maruziyetleri sahada değerlendirirken belirsizlik kaynaklarının belirlemesini mümkün kılmıştır. Araştırmalarında; tüm saha koşullarında, makinelerin özelliklerinde ve/veya çalışma döngülerindeki farklılıkların en belirgin belirsizlik bileşenleri olduğunu ortaya koymuşlardır. Sahada TVT değerlendirmesinde genel göreceli belirsizlik p, %14 ile %32 aralığında iken doğru şekilde kalibre edilmiş bir sistemde dönüştürücü (transducer) ve ölçüm cihazının neden olduğu göreceli belirsizlik %4'ten düşük bulunmuştur.

Tiemessen vd. (2008) forklift, ormancılık makineleri, pençeler (forwarders), mobil vinçler, kamyonlar, traktörler, metro trenleri ve taksiler dahil olmak üzere diğer araçların sürücüleri için TVT'ne maruziyeti etkileyen birçok faktör tespit etmişlerdir. Bunların; sürücü tecrübesi, sürüş hızı, vücut kütlesi (body mass) ve duruşu (posture) gibi kişisel ve fiziksel faktörler ile yol durumu,

süspansiyon sistemleri, koltuk tipi, yüklenen malzeme, araç bakımı gibi diğer işyeri ve araç özellikleri olduğunu söylemişlerdir.

Cooperrider ve Gordon (2008) yaptıkları çalışmada ISO 2631-1 (1997) standardına göre VDV değerleri ile ISO 2631-5'e göre S_{ed} değerlerini karşılaştırmışlardır. Dört lokomotif operatörünün VDV değerleri HGCZ sınırları bakımından değerlendirildiğinde lokomotif, operatörler için yüksek sağlık riskine neden olurken tüm S_{ed} değerleri düşük sağlık etkileri olasılığı sınırının altında çıkmıştır. ISO 2631-1 (1997) ölçütlerinin ISO 2631-5 (2004) ölçütlerinden daha sıkı olduğu sonucuna varmışlardır.

Mirzaei ve Mohammadi (2008) 95 traktör sürücüsü üzerinde TVT maruziyeti çalışması yapmıştır. Traktörler yüklü ve boş olarak sınıflandırılıp, 10 km/sa hızda iki aşamalı ölçüm gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada üç eksende titreşim ölçümü yapılmış, ikinci aşamada ise kas-iskelet sistemi bozukluklarını belirlemek amacıyla anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Her iki bölümden elde edilen veriler SPSS™ paketi kullanılarak %5 güven aralığında analiz edilmiştir. Yüklü ve boş traktörler arasında titreşim ivmeleri açısından anlamlı bir fark bulunmuştur. Dolu traktörlerde VDV değeri $1,87 \text{ m/s}^{1,75}$ iken boş traktörlerin $3 \text{ m/s}^{1,75}$ 'e eriştiği gözlenmiştir.

Mansfield vd. (2009), tekerlekli yükleyiciler, paletli yükleyiciler, dozerler, teleskopik yükleyiciler olmak üzere 46 adet iş makinesinden; makine tipi, ölçüm süresi ve gerçekleştirilen görevleri kaydederek TVT ölçümü almışlardır. Frekans analizi sonucunda ölçümlerin büyük bölümü, frekans spektrumunda 1 Hz'in altındaki bölgede bulunmuştur. Z ekseni söz konusu olduğunda genel olarak titreşim enerjisinin %1'inden azı 1 Hz'in altında bulunmuştur. VDV için de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Tüm TVT ölçümleri için tam frekans aralığının kullanılmasını önermişlerdir.

Blood vd. (2010a) 12 otobüs operatörü ile şehir içinde farklı özelliklere sahip yol koşullarında 3 ayrı tip koltukta TVT maruziyetini belirlemek için ölçümler yapmışlardır. Köpük kaplı koltuk, silikon kaplı koltuk ve sadece koltuk tablasından oluşan üç farklı sürücü koltuğu üzerinde TVT maruziyetlerini karşılaştırmayı amaçlamışlardır. Koltukların a_w , VDV ve S_{ed} değerleri karşılaştırıldığında önemli bir fark gözlemezken sadece silikon kaplı sürücü koltuğunun dürtüsel ve şok ilintili TVT maruziyetini azalttığını gözlemlenmiştir.

Aye ve Heyns (2011) Güney Afrika'daki açık maden işletmelerinde kullanılan geniş bir iş makinesi aralığı üzerinde yaptıkları çalışmada TVT ölçümleri yapmışlardır. ISO 2631-1 standardında verilen yöntem takip edilerek, A(8) ve VDV parametreleri kullanılmış ve tüm vücut titreşim değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde ölçüm alınan araçların %95 kadarının maruziyet sınır değerlerinin altında titreşim düzeyleri ile ilişkili olduğu bulunmuştur. İş makinelerinin %50 kadarının maruziyet eylem değerlerini aşan titreşime neden olduğu, dolayısıyla titreşim ilintili risklerin değerlendirilmesi ve sürdürülen madencilik faaliyetlerinde bunlarla mücadele edilmesi sonucuna varılmıştır. Kamyonlar ve diğer maden makineleri üzerinde yaptıkları çalışmada değişik düzeylerde titreşim değerleri tespit etmişlerdir. Yollara düzenli

aralıklarla düzeltici bakım yapılması ve operatörlere, araçları daha verimli kullanma eğitiminin verilmesi gibi titreşim azaltıcı önlemler önermişlerdir.

Mani vd. (2011) bir çiftlik arazisindeki yörüngesi önceden işaretlenmiş bir pistte yaklaşık yarım saat boyunca dört tekerlekli arazi aracı (atv, quad bike) kullanan 34 tarım işçisi üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada; yaş, boy ve atv sürüş deneyimi gibi kişisel faktörleri araştırmışlardır. VDV ile ilgili faktörler (vücut kütlesi, boy, yaş ve sürüş tecrübesi) arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için bir titreşim yazılım programı kullanarak VDV değerlerini bir saatlik ölçüm değerlerine dönüştürmüşler, tek ve çok değişkenli doğrusal regresyon analizi yapmışlardır. Ortalama 1 saatlik VDV olan $13,2 \text{ m/s}^{1,75}$ 'lik değeri, maruziyet eylem değerini ($9,1 \text{ m/s}^{1,75}$) aşmıştır. Tek değişkenli doğrusal regresyon analizine göre, vücut kütlesi (kilo) ile VDV değerleri arasında anlamlı bir fark varken ($R^2 = 0,340$) ($p < 0,0003$); yaş, boy ve dört tekerlekli arazi aracı sürüş deneyimi ile VDV arasında anlamlı ilişkili bulunamamıştır.

Milosavljevic vd. (2011) Yeni Zelanda'da 130 tarım işçisi üzerinde yaptıkları TVT maruziyeti ölçümü çalışmasında ISO 2631-1 ve ISO 2631-5 standartlarını kullanarak analizler yapmışlar ve titreşim dozu değeri (VDV) ile mekanik darbe (S_{ed}) maruziyetleri ölçmüşlerdir. Baskın eksen olarak Z eksenini belirtirlerken; ortalama VDV değeri tüm ölçümlerde sınır değerleri aşmıştır.

Rakheja vd. (2011), tek tamburlu (single drum vibratory compactors) titreşimli silindirlerin titreşim özelliklerini ve operatörün titreşim maruziyetini incelemişlerdir. TVT maruziyetini belirlemek için iki test serisi hazırlamış ve ilk test serisini kontrollü koşullar altında, ikinci test serisini ise tipik çalışma koşulları altında gerçekleştirmişlerdir. Bu farklı koşulların amacının, baskın vibrasyon frekansları ve çalışma koşulları açısından araçların titreşim davranışlarını belirlemek olduğunu vurgulamışlardır. TVT maruziyetini belirlemek için 10 tonluk eski ve 13 tonluk yeni silindirler üzerinde ölçümler yapmışlardır. Bazı silindirler üzerinde titreşim ölçümü yaparken vibrasyon modunu devreye almışlardır. Ölçümler sonucunda bu tür araçların titreşim davranışının, çalışma moduna kesinlikle bağlı olduğunu ortaya koymuşlardır. TVT maruziyeti verisi ISO 2631-1 ve 2002/44/EC yönergeleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Yüksek yoğunluklu zeminler sıkıştırılırken tambur ve lastiklerin yüksek sertlikteki zeminle daha fazla etkileşimi ve yüksek vibratör genliği ayarı nedeniyle TVT maruziyetinin arttığını tespit etmişlerdir. İnsan vücudunun rahatsızlık ve olası sağlık tehlikeleri açısından daha hassas olduğu bilinen 1 Hz - 6 Hz frekans aralığında düşük frekanslı titreşimler meydana gelmiştir. Titreşim frekans analizi sonucunda 13 tonluk silindirlerin frekans aralığı, 10 tonluk silindirlere göre daha yüksek çıkmıştır. 10 tonluk silindirlerin koltuk titreşimine dayanan ortalama $A(8)$ değerleri, AB direktifinde önerilen $0,5 \text{ m/s}^2$ günlük maruziyet eylem değerini aşmıştır. 13 tonluk silindirlerin kabin zemininden alınan titreşim değerleri ortalama günlük maruziyet eylem değerinin belirgin biçimde altında iken koltuktan alınan titreşim değerleri ortalama $0,47 \text{ m/s}^2$ 'ye yaklaşmıştır. Bunun sonucu olarak yeni modellerin insan sağlığı açısından daha iyi olduğu yorumunda bulunmuşlardır. Verileri, titreşimin spektral sınıflarını tanımlamak ve düşük frekanslı titreşimin iletimini azaltmak için kabin ve tambur montajları ile süspansiyonlu koltuk tasarımını geliştirmek amacıyla kullanarak çalışmalarına devam etmeyi düşünmektedirler.

Blood vd. (2012) yükleyici operatörlerinin TVT maruziyetlerini normal kauçuk lastik, merdiven-tipi (ladder chains) koruma zinciri kaplı lastik ve sepet-tipi (basket chains) zincir kaplı lastik olmak üzere üç farklı lastik türü ile farklı zeminler üzerinde ölçümler olarak belirlemişlerdir. TVT verisi, küresel konumlama sistemi (GPS) verisi ile ilişkilendirilmiştir. Merdiven-tipi zincir kaplı lastik diğerine göre oldukça yüksek TVT maruziyetine yol açmakla birlikte, her iki tip te, zincirsiz kauçuk lastiğe kıyasla kayda değer oranda yüksek TVT maruziyetine yol açmıştır. Ayrıca TVT maruziyetinde işleve bağlı farklılıklar da meydana gelmiştir. Sürüş sırasında baskın maruziyet Z ekseninde olmuştur. Zemin tesviyesi sırasında tüm eksenlerde orantılı titreşim maruziyeti kaydedilirken, kepçe doldurma ve boşaltma sırasında en yüksek titreşim maruziyeti X ekseninde boyunca (öne-arkaya) meydana gelmiştir. GPS verisi görevler arasında ciddi hız farklarına işaret etmekle birlikte sepet ve merdiven-tipi zincir kaplı lastikler arasında farklılık göstermemiştir.

Langer vd. (2012) altı deneyimli terskepçe operatörü üzerindeki tüm vücut titreşimi etkilerini çalışmışlardır. Titreşimin operatörler üzerindeki etkisini ölçümler ile incelemek yerine her operatörü üç farklı konumda çalıştırarak, oluşan titreşim ve iş makinelerinin yakıt tüketim performansını ölçmüşlerdir. Daha sonra operatörler kısa bir eğitime alınarak ekonomik sürüş ve titreşimi önleme konusunda eğitilerek, ölçümler tekrarlanmıştır. Kısa eğitim sonucu TVT değerinde ortalama %22,5 azalma olduğu ve tamamlanan tüm iş görevlerinde %38'e kadar yakıt tasarrufu sağlandığı bildirilmiştir.

Milosavljevic vd. (2012) yaptıkları devam niteliğindeki çalışmada vücut kütle özellikleri ile normal arazi koşullarında araç ile ilgili mekanik faktörler arasındaki etkileşimi incelemişlerdir. Çalışma sonuçlarını yorumlarken SPSS analiz programını kullanmışlar ve bağımsız değişkenleri vücut kütlesi (kg) ve BMI türevi (kg/m^2) olarak kabul ederken, potansiyel karıştırıcı değişkenler (potential confounding variables) olarak ta; vücut yüksekliği (m), motor hacmi (cc), makinenin yaşı (yıl) ve araç hızını kabul etmişlerdir. Her bağımsız değişken ve VDVz ölçüm sonuçları arasındaki ilişkileri test etmek için iki değişkenli doğrusal regresyon kullanmışlardır. Sonuçta, çalışma koşulları altında vücut kütesinin TVT ile anlamlı bir ilişkiye sahip olduğunu görmüşlerdir.

Tamsuwan vd. (2013) otobüs operatörlerinin tüm vücut titreşimi maruziyeti sonucu oluşan bel ağrısının mesleki bir rahatsızlık olduğunu çalışmalarında kanıtlamışlardır. Şehirlerarası ve şehir içi farklı iki model otobüs ile yaptıkları çalışmada yeni yapılmış bir otoyol, eski bir otoyol, şehir içi bir sokak ve birkaç hız segmentinin olduğu bir yolda ISO 2631-1 (1997) ve ISO 2631-5 (2004) standartlarını kullanarak ölçümler almışlardır. Ölçüm sonuçlarını ISO 2631-1 ile AB A(8) ve VDV(8) eylem limit değerlerinde yorumlamışlardır.

Eger vd. (2006), Ontario-Kanada'daki madenlerde yaygın olarak kullanılan on beş farklı tip mobil maden makinesi üzerinde TVT maruziyeti belirleme çalışması yapmışlardır. ISO 2631-1 (1997) standardında tanımlanan izleklere uygun olarak gerçekleştirilen ölçümlerde birisi operatör koltuk tablasında, diğeri kabin zeminine sabitlenmiş halde olmak üzere iki adet üç eksenli ivmeölçer kullanmışlardır. Operatörlerin muhtemel sağlık risklerinin belirlenmesi amacıyla ölçülen titreşim maruziyet seviyeleri ISO 2631-1 standardı Ek B'de verilen 'Sağlık Kılavuzu Uyarı Bölgesi'

sınırlarıyla karşılaştırılmıştır. Dört aracın (greyder, 5,4 m³ YTB, asansör kasalı kamyon (scissor lift truck) ve lokomotif) neden olduğu TVT maruziyeti sekiz saatlik vardiya boyunca izin verilen sınırın altında çıkarken; altı araç (yeraltı kamyonu, buldozer, 2,7 m³ YTB, pasa yükleme aracı, personel taşıma traktörü ve ördekgagalı yükleyici) sınırın üstünde çıkmıştır.

Marul ve Karabulut (2012) tarım traktörlerinin koltukları üzerinde yün, sünger ve pamuk minderleri ile minder olmadan TVT maruziyeti ölçümü yapmışlar ve bu sönümleyicilerden hangisinin en iyi titreşim yalıtımı sağladığını belirlemeye çalışmışlardır.

Traktörler üzerine benzer bir çalışmayı da Cvetanovic ve Zlatkovic (2013) yapmıştır. Farklı motor gücü ve kütlesinde dört traktör üzerindeki ölçümler sonucunda sürücünün sağlığı açısından maruziyet eylem değerini (ELV) aşmamak için en fazla 42 dakika, maruziyet sınır değerini aşmamak için ise yalnızca 8 dakika traktör kullanılabileceğini hesaplamışlardır.

Hulshof vd. (2006) ISO 2631-1 standardına uygun olarak forklift operatörlerinin TVT maruziyeti ölçümlerini gerçekleştirmişler ve bulguları %95 güven aralığında ANOVA ile t-testi analizi ile değerlendirmişlerdir.

Sağlam (2011) 2008-2011 yılları arasında İSGÜM (Merkez ve Bölgeler) tarafından yapılan titreşim ölçümleri üzerine yaptığı çalışmasında forklift, yükleyici, kamyon, dozer, vinç gibi çeşitli iş makinelerinden farklı sektörlere ait 65 tane ölçüm sonuçlarını vermiştir. Sonuçlar sadece ölçüm sonuçları olarak tek bir değer için m/s² cinsinden verilmiştir.

Kittusamy ve Buchholz (2004), iş makinesi operatörlerinin çalışma sırasında tüm vücut titreşimi ve nötr olmayan vücut duruşlarına (posture) maruz kaldıklarını vurgulamışlardır.

van Niekerk vd. (2000) Güney Afrika'da bulunan 15 maden işletmesinde kullanılan 70 maden makinesinden 700'den fazla TVT ölçümü almışlar ve takibinde laboratuvar çalışması yapmışlardır. En yüksek TVT değerlerini gezici makineler üzerinde ölçmüşler ancak maruziyet değerlerinin insan vücudu üzerinde bir zarar oluşturabileceği konusunda kesin bir karara ulaşamamışlardır. İnsan vücudu aslında yaylar, kütleler ve amortisörlerle temsil edilebilen mekanik bir sistem olmadığı için belirli bir uyarım düzeyinde daha şiddetli hareket yaşayacağı bazı tınlaşım frekanslarının olduğunu, ayrıca vücudun, bazı diğer frekanslarda ciddi rahatsızlık ya da hasar görmeden daha büyük titreşim seviyeleri ile baş edebileceğini belirtmişler ve bunu hesaba katmak için belirli frekans ağırlıklandırma eğrileri geliştirmişlerdir. Bu ağırlıklandırmaların ISO standartlarında açıkça tanımlanmış olduğunu ve ölçülen ivme sinyallerinin, ağırlıklı KOK düzeyini elde etmek için önceden bu değerler kullanılarak filtrelenmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Burgess-Limerick (2012) maden işletmelerinde dozer kullanan operatörler ile yaptığı çalışmada ISO 2631-1 (1997) kapsamında TVT maruziyetini belirlemeye çalışmıştır. Bir açık kömür işletmesinde bulunan on adet dozerden yirmi altı ölçüm toplamışlardır. Bir ölçüm haricindeki diğer tüm ölçümlerde TVT maruziyeti kabul edilemez biçimde HGCZ zonu üstünde çıkmıştır.

Foster ve Burgess (2012), Avustralya'daki iş yerlerinde titreşime maruziyet ve titreşim kontrol önlemlerinin sağlanmasına (Safe Work Australia, 2010) ilişkin 4500 çalışan ile bilgisayar yardımlı telefon görüşmesi yoluyla "Ulusal Tehlike Maruziyeti İşçi Gözetimi (NHEWS)" konusunda yaptıkları çalışmada elde ettikleri bulgular Avustralya'daki titreşim maruziyetinden geniş ölçüde endişe edilmesine neden olmuştur. Genel bulgular sonucunda çalışanların %43'ü el-kol titreşimine, %38'i tüm vücut titreşimine ve %17'si EKT ve TVT'ne maruz kaldığını bildirmişlerdir. Bir maden işletmesinde kullanılan iş makinelerinin neden olduğu TVT ivmeleri ve dozlarının ilgili Avustralya standardı ve AB Direktifinde verilen maruziyet sınırları doğrultusunda değerlendirilmesi sonucunda birçok iş makinesinin bu sınır değerleri aştığı ifade edilmiştir. TVT ölçüm sonuçlarından çalışanların korunması için alınması gereken önlemleri; maden içinde kullanılan yolların mümkün olduğunca düz tutulmasını, araçların iyi muhafaza edilmesini, koltuk süspansiyon sisteminin düzgün şekilde ayarlanmasını ve sürüş sırasında sürücü/operatörlerin maruz kalacağı sarsıntı ve şokların etkisini azaltmak için araçları süratli kullanmamaları için eğitim vermeyi önermişlerdir.

Burgess-Limerick ve Lynas, (2015) Avustralya'da bulunan bir açık kömür işletmesinde kullanılan iş makineleri üzerinde 59 adet TVT maruziyeti ölçümü yapmışlardır. Ölçüm süresi 100 dk ile 460 dk arasında tutulmuştur. Dozer ve kamyon operatörleri, sırasıyla, 1,14 m/s² KOK ve 0,47 m/s² KOK ile ISO 2631-1 standardında tanımlanan Sağlık Kılavuzu Uyarı Bölgesi üzerinde titreşim seviyelerine maruz kalmışlardır. Titreşim dozu değerleri (VDV) dozerler için 26,4 m/s^{1,75}, kamyonlar için ise 8,2 m/s^{1,75} olmuştur.

Sezgin ve Birlik (2001) helikopter pilotları üzerinde yaptıkları anket çalışmasında, pilotların %51'inin alt bel bölgesinde ağrılar bulunduğunu ifade etmişlerdir. Pilotların %36'sında boyun ve omuzda sorunlar oluşmuş, %38,8'i koltuğun sertliğinden şikâyetçi olurken yalnızca %24'ünde kas-iskelet sistemi hakkında herhangi bir şikâyet oluşmamıştır. 12 gönüllüden uçuştan hemen önce ve hemen sonra alınan kan örnekleri üzerinde yapılan tıbbi analizlerde bazı hematolojik ve biyokimyasal parametrelerde önemli değişiklikler gözlemlenmiştir.

Chen vd. (2009) 6 motosiklet ve 6 scooter sürücüsü olmak üzere toplam 12 motosiklet ve 5 binek aracı sürücüsüyle, sırasıyla, kırsalda 5 km, taşrada 5 km ve kentsel rotada 10,6 km'den oluşan 20,6 km'lik güzergâh boyunca test çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Her motosiklet testi, ayrı olarak 55 km/sa ve 40 km/sa hız limitleri altında gerçekleştirilmiştir. Üç eksenli TVT maruziyeti için yastık tipi ivmeölçer ve taşınabilir veri analizörü kullanılmış ve tüm süreç videoya kaydedilmiştir. Toplanan veriler ISO 2631-1 ve ISO 2631-5 standartlarına uygun olarak değerlendirilmiş ve KOK, VDV ve S_{ed} değerleri elde edilmiştir. Binek araç sürücülerinin KOK ivmeleri 0,27 m/s² - 0,32 m/s², titreşim dozu (VDV) 6,3 m/s^{1,75} - 83 m/s^{1,75} ve statik basınç dozu (S_{ed}) 0,21 MPa – 0,26 MPa arasında iken motosiklet sürücülerinin %90'dan fazlası ISO 2631-1 (1997) tarafından önerilen sağlık kılavuzu dikkat bölgesi üst sınırını veya ortalama 23,5 m/s^{1,75} VDV ile maruziyet sınır değerini aşmıştır. Ortalama S_{ed} değerleri 1,17 MPa olup ISO 2631-5 standardında verilen olumsuz sağlık etkisi sınırını (0,8 MPa) aşmaktadır. Motosiklet sürücülerinin

%50'sinden fazlası VDV ve S_{ed} için bu sınır değerlerine 2 saatten daha kısa bir sürede ulaşmışlardır. Yapılan bu çalışmada bir motosiklet sürücüsünün TVT maruziyet seviyelerinin asfalt yolda bile binek araçlara kıyasla daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Motosiklet sürücülerinde TVT maruziyetinin sağlık üzerindeki etkisinin ISO 2631-1 ve ISO 2631-5 standartlarına referansla dikkatle ele alınmasına vurgu yapmışlardır.

Araştırmacılar TVT maruziyeti konusunda otobüs, tren ve forklift operatörleri ile traktör sürücülerini üzerinde çalışmalar yapmış ve ISO 2631-1, ISO 2631-5 ile Avrupa Birliği Fiziksel Ajanlar Direktifi (2002) kapsamında değerlendirmişlerdir. Değerlendirmeler sonucunda titreşim maruziyetinin operatörler üzerinde bel ve sırt ağrılarının neden olduğu yorumunda bulunmuşlardır (Nishiyama vd., 1998; Hoy vd., 2005; Johanning vd., 2006; Scarlett vd., 2007; Costa ve Arezes, 2009; Thamsuwan vd., 2013).

Waters vd. (2007) bel ağrısı ve çoklu şoklara maruziyet arasındaki ilişkiyi gözden geçirmiş ve ISO 2631-5 standardının kullanılmasının geçerli olmadığı sonucuna varmıştır. Yazarlara göre maruziyet değerlendirme yöntemleri ve omurga hasar mekanizmaları hakkında hala bilgi eksikliği vardır.

Shervin vd. (2004) kereste kesme ve soyma (timber harvester) makinesi operatörleri üzerinde yaptıkları TVT maruziyeti ölçümü çalışmasında aracın lastik hava basıncının titreşim üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Titreşim ölçümlerini 138 kPa (20 psi), 345 kPa (50 psi) ve 414 kPa (60 psi) lastik basıncı ayarlarında ve üç ortogonal (X, Y, Z) ekseninde almışlardır. Operatör koltuğu için maksimum KOK ivme değeri $0,281 \text{ m/s}^2$ ile Z ekseninde ölçülmüş ve baskın frekans 3,2 Hz olmuştur. En büyük lastik hava basıncında kaydedilen titreşim toplam değerleri ISO 2631-1 standardı uyarınca "oldukça rahatsız" olarak sınıflandırılmıştır. Lastik basıncındaki azalmanın TVT değerlerini önemli ölçüde düşürdüğünü bu nedenle tekerlekli kereste işleme makinelerinde kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Salmoni vd. (2008) endüstriyel ulaşım sektörü ortamındaki TVT maruziyetini üç vaka üzerinde çalışmışlar ve Z eksenini her zaman baskın eksen olarak gözlemlemişlerdir. TVT KOK ivme değerleri $0,10 \text{ m/s}^2$ - $1,08 \text{ m/s}^2$ aralığında bulunmuştur.

Foster ve van Leeuwen (2007) TVT üzerine kullanılan standartları karşılaştırmışlardır. Standartların karmaşıklığına ve belirsizliğine rağmen TVT maruziyetinin üretimden ödün vermeden yönetilebileceğini ve operatörlerin çalışma sırasındaki duruş pozisyonlarının iyileştirilmesi ile sırt ağrısı belirtilerini azaltabileceği görüşünü bildirmişlerdir.

Gunston vd. (2001) süspansiyonlu koltukların dinamik tepkilerini simüle eden iki yöntemi karşılaştırmıştır. Laboratuvarında geliştirilen iki süspansiyonlu koltuk modelinden elde edilen tahmini performans değerleri ile bir adet yatay tip mekanik süspansiyonlu inşaat makinesi koltuğu ve bir adet düşey tip mekanik süspansiyonlu forklift koltuğundan elde edilen gerçek performans değerleri karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, bu tip yol dışı makinelerin çalışma koşullarından elde edilen 2,1 Hz, 2,35 Hz ve 3,25 Hz'lik frekanslarda titreşim hareketi simüle edilmiş ve koltuklar 58

kg'lık sabit kütleler ile yüklenerek titreşim deneyine tabi tutulmuştur. Kurulan modellerde koltuk süspansiyon parametreleri; helezon yaylar, hidrolik amortisör, yatay tip mekanik süspansiyon tipinde kullanılan alt durdurma takozu, düşey tip mekanik süspansiyonlu koltuklarda kullanılan üst durdurma takozu, koltuk üzerindeki sabit kütle ile süspansiyon sisteminin hareket ettirdiği koltuk parçasının kütesinden oluşan hareket eden toplam kütle ve koltuk minderinin sertliği olarak belirlenmiştir. Parametrelerin k ve c katsayıları gerçek uygulama deneyleri ile belirlenmiş, iç ve dış sürtünme kuvvetleri teorik olarak hesaplanmış ve benzetim hareketi ile koltuk üzerinde oluşabilecek ivme değeri ve bu değerlerden hesaplanan titreşim doz değeri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Sonuçlar gerçek deneylerden elde edilen değerler ile karşılaştırılmış ve her ne kadar gerçek deneylerden elde edilen değerler tam olarak tahmin edilememişse de, bazı hâllerde, özellikle düşük frekanslı ve alçak genlikli titreşim ortamında, modellerden gerçeğe yakın değerler hesaplandığı belirtilerek, koltuk süspansiyon tasarımında modellemenin iyi neticeler verebileceği belirtmişlerdir.

Gonçalves ve Ambrósio (2003), sürücülerin sürüş tekniklerini iyileştirmek ve dolayısıyla titreşim maruziyetini en aza indirmek amacıyla tüm araç süspansiyon bileşenlerini ve yol ile lastik arasındaki etkileşimi içeren bir optimizasyon prosedürü geliştirmişlerdir. Koltuk seçiminin TVT maruziyetini azaltmada önemli rol oynadığını eklemiştir.

Forkliftlerde hava yastığı türünde bir koltuk süspansiyonunun TVT maruziyetlerini mekanik bir koltuk süspansiyonuna göre düşürdüğü belirlenmiştir (Blood vd., 2010b).

Seigler (2002), hava yastığı kullanılan ticari kamyon koltuklarının köpük tipi yastıklardan daha olumlu olduğunu göstermiştir.

Gunaselvam ve van Niekerk (2005) ISO 2631-1 (1997) standardındaki TVT parametreleri ile koltukların iletim işlevine dayanarak, maden makineleri için süspansiyon sistemi geliştirmişlerdir.

Sürüş sırasındaki yalnızca TVT değil, operatör koltuğunun ergonomikliği de bel ağrısı rahatsızlıklara sebep olabilmektedir. Okunribido vd. (2008), TVT'nin olumsuz etkilerini azaltmak için ergonomik bir koltuk tasarımı önermişlerdir.

Makhsous vd. (2005) TVT maruziyetini azaltmak amacıyla bel desteğini kullanmayı ve koltuk sırtlığını arkaya doğru 20° yatırmayı önermişlerdir.

Cation vd. (2008), ormancılık makinesi operatörlerinin rutin çalışma sırasında maruz kaldıkları TVT düzeyini belirlemek amacıyla ISO 2631-1 (1997) standardına uygun olarak, makineler yüklü ve boş iken ölçümler almış ve ivme değerlerini varyans analizi ile karşılaştırmışlardır. %95 güven aralığında ($p < 0,05$) KOK ivme değerleri arasında anlamlı farklılık olduğunu ortaya koymuşlardır.

Viswanathan vd. (2006) ağır iş makinesi operatörlerinin bel ağrısı şikâyetlerini iyileştirmek amacıyla koltuğa yerleştirilen ayarlanabilir bel desteği ile pasif lomber hareket sisteminin (CPLMS) etkinliğini saptamaya çalışmışlardır. Araştırma, seçilen bir çalışma grubu ile 646 saatlik günlük çalışma rutini içinde CPLMS kullanımını ve anket çalışmasından oluşmaktadır. Beden

bölümlerinin rahatsızlık anketi araştırmasının sonuçlarına göre bel ağrısı rahatsızlığı açısından ilk yedi gün boyunca sabah ve akşam arasında anlamlı bir fark bulunmamakta ancak müdahale grubunun sekizinci ve son gününde anlamlı bir farklılık oluşmaktadır. Kontrol grubunda bel ağrısı şikâyetini gösteren akşam skoru, sabah skorundan yüksek olup beş günün üçünde sabah ve akşam arasında önemli bir farklılık gözlemlendiği ifade edilmiştir. CPLMS tercih anketinde, operatörlerin %54'ü CPLMS'yi kullanırken çok rahat hissettiklerini, bel ağrısı şikâyetlerinin azaldığını belirtmişlerdir.

Stein ve Mucka (2011), lastik tekerlekli yükleyiciler için geliştirdikleri doğrusal olmayan ön-arka süspansiyon sistemi ile yükleme sırasında meydana gelen şokların ve çalışma sırasındaki yüksek titreşim düzeyinin azalttığını, bu tip süspansiyon sistemine sahip yükleyicilerle çalışmanın TVT maruziyetini azaltacağını söylemişlerdir.

Lings ve Leboeuf-Yde (2000) 1992-1999 yılları arasındaki TVT literatürünü incelemişler ve TVT'nin bel ağrısına katkıda bulunabileceği ancak maruziyetin kesin sebebi olmadığı sonucuna varmışlardır.

Lynas ve Burgess-Limerick (2016) iPod Touch cihazlarında kurulu bir iOS uygulamasını kullanarak yeraltı kömür ocaklarında kullanılan 2 YTB, 4 mekik aracı, 8 personel taşıma aracı ve 3 ekipman taşıma aracından toplamda 17 ölçüm almışlardır. Yeraltı maden ocaklarında elektrikli cihaz kullanımı sıkı kurallara bağlı olduğundan Neopren kauçuğu kaplı bir iPod Touch cihazı ile vardiya veya görev süresince operatör TVT maruziyeti ölçülmüştür. TVT ivmelerinin büyük kısmı ISO 2631-1 standardı Sağlık Rehberlik Uyarı Bölgesi sınırları üzerinde çıkmıştır.

Eger ve Godwin (2014) bir cep telefonuna kurulu titreşim uygulaması aracılığıyla YTB operatörlerinin TVT maruziyetini koltuk ve zeminde ölçmüştür. Yazar, operatörlerin ayaklarından vücuda iletilen titreşimden kaynaklanan maruziyeti belirlemeyi amaçlamış ve buna yönelik bir standart oluşturulmasını önermiştir.

Thompson vd. (2010) ellerde görülen beyaz parmak sendromu rahatsızlığının titreşime maruz kalan bazı kişilerde farklı bir şekilde ilerleyerek beyaz ayak sendromu olarak ortaya çıkabildiğini vurgulamışlardır.

Wolfgang vd. (2014) beşinci nesil iPod Touch cihazları ile piyasada bulunan TVT ölçüm cihazlarının ölçüm sonuçlarını karşılaştırdıkları çalışmada piyasada bulunan ivmeölçerlerin maliyeti ve karmaşıklığı nedeniyle kullanımının zor olduğunu vurgulamışlardır. Bir maden işletmesinde 58 eşzamanlı titreşim ölçümü yaparak iki farklı cihazdan ölçümler almışlar ve iPod Touch cihazlarıyla aldıkları ölçüm sonuçlarının Z ekseninde %95 güven aralığında $\pm 0,06$ m/s²'lik fark ile TVT ivmesini ölçmek için kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Burström vd. (2015) Finlandiya, Norveç ve İsveç'te bulunan 3 maden işletmesinde farklı marka, model ve kapasitedeki 95 iş makinesi üzerinde TVT ivme ölçümleri ile 453 madencinin katılımıyla anket çalışması yapmış ve sonuçları değerlendirmişlerdir. Farklı araçları kullanan operatörlerin

günlük ortalama titreşim maruziyetinin 1,9 sa – 6,7 sa, ortalama A(8) değerinin $0,2 \text{ m/s}^2$ - $1,0 \text{ m/s}^2$ ve buna karşılık gelen VDV(8) değerinin $7 \text{ m/s}^{1,75}$ - $17 \text{ m/s}^{1,75}$ arasında değiştiğini belirtmişlerdir. En yüksek TVT ivme değerleri $1,04 \text{ m/s}^2$ A(8) ve $14,8 \text{ m/s}^{1,75}$ VDV ile dozerlerde kaydedilmiştir. Lastik tekerlekli yükleyicilerde bu değerler sırasıyla, $0,66 \text{ m/s}^2$ ve $11,2 \text{ m/s}^{1,75}$ 'dir. Bazı sürücü gruplarının TVT maruziyeti sınırlara yakın ya da üzerinde bulunduğundan işverenlerin bu maruziyeti izin verilen değerlere düşürmek için derhal harekete geçmesi yönünde çalışma başlatmasını önermişlerdir.

Chaudhary vd. (2015) Doğu Hindistan'da dört farklı maden işletmesinde 28 değişik delici operatörü ile yaptıkları çalışmada operatörlerin ortalama yaş aralığı 42 ile 60 yaş arasında ve iş tecrübeleri 5-32 yıl arasında değişmektedir. ISO 2631-1 kapsamında koltuktan üç eksenle aldıkları ölçüm sonuçlarına göre; en yüksek RMS değerini Z ekseninden $1,61 \text{ m/s}^2$ olarak ölçerken yine en yüksek VDV değerini de Z ekseninden $20,51 \text{ m/s}^{1,75}$ ölçmüşlerdir. Bu değerlerin sonucunda delici operatörlerinin yüksek titreşim maruziyeti altında olduğunu belirtmişlerdir.

Literatürde yer alan çalışmalardan da görüleceği üzere makine kaynaklı titreşim insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Ülkemizde iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili kavramlar halen algılama ve benimseme düzeyinde olduğundan titreşimin etkisi üzerine çalışmalar sınırlı sayıdadır. Diğer yandan, Türkiye'de iş sağlığı ve güvenliği konusunun geçtiğimiz 20 yıldan bu yana önem kazandığı bugünlerde önemli fiziksel risk etmenlerinden olan titreşim üzerine ülkemizde madencilik alanında kapsamlı bir çalışma olmadığını ve istatistiksel verilere değinilmediğini söylemek dayanaktan yoksun bir iddia olmayacaktır. Tüm vücut titreşiminin madencilik endüstrisinde iş makinesi operatörlerini olumsuz etkilediği bilinmesine rağmen yeraltı ve yerüstü ocaklarında kullanılan iş makineleri ile ilgili bilimsel nitelikte ve kapsamlı bir çalışma yapılmamıştır.

Bu çalışmanın konusu maden işletmelerinde iş makinesi kaynaklı titreşimin operatör üzerindeki etkilerinin dökümünün çıkartılması ve makine-operatör verimliliği üzerindeki etkilerinin belirlenmesidir. Çalışma kapsamında, Türkiye'deki açık ve yeraltı maden işletmelerinde kullanılan iş makinelerinden kaynaklanan TVT maruziyetinin incelenmesi, zemin, işletme, kapasite ve operatör tecrübesi gibi koşulların maruziyet üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

3 MATERYAL ve METOT

3.1 Giriş

Tüm vücut titreşimine maruziyetin ölçümü ve değerlendirilmesinde en yaygın olarak kullanılan standart ISO 2631-1 (1997) olup TVT'nin insan sağlığı ve konforuyla ilişkilendirilmesi için rehberlik etmektedir. 2004 yılında yürürlüğe giren ISO 2631-5 ise çoklu şok içeren TVT maruziyetinin sağlık risklerini ölçmek için bir metot sağlamaktadır. Tez kapsamında ölçümler ve hesaplamalar yukarıdaki standartlara uygun biçimde yapılmış olup hesaplanan parametreler aşağıda verilmiştir.

3.2 Ölçülen ve Türetilen Büyüklükler

Tüm vücut titreşimi analizi için operatör koltuğu yüzeyi (seat) ve kabin zemini (floor) için ayrı ayrı olmak üzere aşağıdaki büyüklükler ölçülmüş ve türetilmiştir:

- Frekans ağırlıklı $a_{wx}(t)$, $a_{wy}(t)$ ve $a_{wz}(t)$ titreşim ivme sinyalleri (m/s^2). X (arkadan öne) ve Y (sağdan sola) yönlerinde W_d tüm vücut frekans ağırlıklandırma filtresi, Z (kalçadan kafaya) yönünde W_k tüm vücut frekans ağırlıklandırma filtresi kullanılmaktadır.
- Tepe titreşim ivmesi (PEAK): bir ölçüm sürecinde oluşan en yüksek anlık titreşim düzeyi, (m/s^2). Bir ölçüm kütüğündeki frekans ağırlıklı titreşim ivme sinyalleri kullanılarak türetilmektedir.
- Tepe-tepe titreşim ivmesi (P-P): bir ölçüm sürecinde kaydedilen en büyük pozitif ile en büyük negatif değer arasındaki genlik farkı, toplam genlik, (m/s^2). Bir ölçüm kütüğündeki frekans ağırlıklı titreşim ivme sinyalleri kullanılarak türetilmektedir.
- Titreşim dozu değeri (VDV): kesintili titreşim değerlendirilirken, 8 ya da 16 saatlik bir süre içinde alınan titreşim dozunun birikimli bir ölçüğü olan titreşim dozu değerinin kullanılması gereklidir, ($m/s^{1.75}$). Bir ölçüm kütüğündeki frekans ağırlıklı titreşim ivme sinyalleri kullanılarak türetilmektedir.
- Maksimum geçici titreşim değeri (MTVV): bir saniye aralıklarla kaydedilen bir ölçüm sürecinde meydana gelen geçici hareketler ile kısa ivmelenme doruklarını temsil eden en yüksek maksimum titreşim düzeyi, (m/s^2). Bir ölçüm kütüğündeki frekans ağırlıklı titreşim ivme sinyalleri kullanılarak türetilmektedir.

3.3 Hesaplanan büyüklükler

- KOK (RMS): Zaman içinde değişen bir büyüklüğün anlık genliklerinin karelerinin toplamının istenen bir zaman aralığına bölünerek bulunan ortalamasının karekökü, (m/s^2). Koltuk ve kabin zemini için ayrı olarak hesaplanmaktadır (Eşitlik 3.1).

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{b-a} \int_a^b [f(t)]^2 dt} \quad [3.1]$$

Burada:

a, b : Sinyalin başlama ve bitiş zamanları

f(t) : Sürekli sinyal fonksiyonu

- b) Tepe faktörü (CRF): bir ölçüm sürecinde kaydedilen titreşim dalgasındaki en büyük genlik değerinin o dalganın RMS değerine bölünmesi ile ulaşılan değeri. Koltuk ve kabin zemini için ayrı olarak hesaplanmaktadır(Eşitlik 3.2).

$$CRF = \frac{PEAK}{RMS} \quad [3.2]$$

- c) Koltuk etkinliği genlik geçirgenliği ($SEAT_{RMS-X}$) faktörü Eşitlik 3.3'de hesaplanmaktadır.

$$SEAT_{RMS-X} = \frac{RMS_{Seat-X}}{RMS_{Floor-X}} \quad [3.3]$$

- d) Koltuk etkinliği genlik geçirgenliği ($SEAT_{RMS-Y}$) faktörü Eşitlik 3.4'de hesaplanmaktadır.

$$SEAT_{RMS-Y} = \frac{RMS_{Seat-Y}}{RMS_{Floor-Y}} \quad [3.4]$$

- e) Koltuk etkinliği genlik geçirgenliği ($SEAT_{RMS-Z}$) faktörü Eşitlik 3.5'de hesaplanmaktadır.

$$SEAT_{RMS-Z} = \frac{RMS_{Seat-Z}}{RMS_{Floor-Z}} \quad [3.5]$$

- f) En yüksek titreşim ivmesi (m/s^2); operatör koltuğu yüzeyinde ($RMS_{WB-Seat}$) ve kabin zemininde ($RMS_{WB-Floor}$) ağırlıklandırılmış en büyük titreşim ivmesi değerleri. X ve Y eksenleri için $k = 1,4$ ve Z eksenini için $k = 1,0$ çarpanı kullanılmaktadır (Eşitlik 3.6).

$$RMS_{WB-Seat} = \max\{k \cdot RMS_{Seat-X}, k \cdot RMS_{Seat-Y}, RMS_{Seat-Z}\} \quad [3.6]$$

$$RMS_{WB-Floor} = \max\{k \cdot RMS_{Floor-X}, k \cdot RMS_{Floor-Y}, RMS_{Floor-Z}\}$$

- g) Operatör koltuğu yüzeyinde (Seat) ve kabin zemininde (Floor) ağırlıklandırılmış en büyük titreşim ivmesi değeri yönleri Eşitlik 3.7'de belirlenmektedir.

$$X_{Seat} \rightarrow Ch1; Y_{Seat} \rightarrow Ch2; Z_{Seat} \rightarrow Ch3 \quad [3.7]$$

$$X_{Floor} \rightarrow Ch4; Y_{Floor} \rightarrow Ch5; Z_{Floor} \rightarrow Ch6$$

- h) En yüksek titreşim ivmesi vektörü (m/s²); operatör koltuğu yüzeyinde (VECTOR₁₋₃) ve kabin zemininde (VECTOR₄₋₆) ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi vektör değerleri (Eşitlik 3.8).

$$VECTOR_{1-3} = \sqrt{k^2 \cdot RMS_{Seat-X}^2 + k^2 \cdot RMS_{Seat-Y}^2 + RMS_{Seat-Z}^2} \quad [3.8]$$

$$VECTOR_{4-6} = \sqrt{k^2 \cdot RMS_{Floor-X}^2 + k^2 \cdot RMS_{Floor-Y}^2 + RMS_{Floor-Z}^2}$$

- i) Eksenler üzerinde toplam günlük maruziyet A(8) (m/s²) Eşitlik 3.9'da hesaplanmaktadır.

$$A(8)_{Seat-X} = k \cdot RMS_{Seat-X} \quad [3.9]$$

$$A(8)_{Floor-X} = k \cdot RMS_{Floor-X}$$

$$A(8)_{Seat-Y} = k \cdot RMS_{Seat-Y}$$

$$A(8)_{Floor-Y} = k \cdot RMS_{Floor-Y}$$

$$A(8)_{Seat-Z} = RMS_{Seat-Z}$$

$$A(8)_{Floor-Z} = RMS_{Floor-Z}$$

- j) Eksenler üzerinde kısmi günlük maruziyet A(8) (m/s²); ağır iş makinesi operatörlerinin vardiya boyunca aynı işi yaptığı kabul edildiğinden toplam günlük maruziyet ile aynı formül üzerinden hesaplanmaktadır (Eşitlik 3.10).

- k) Toplam günlük maruziyet (m/s²);

$$A(8)_{Seat} = \max\{k \cdot RMS_{Seat-X}, k \cdot RMS_{Seat-Y}, RMS_{Seat-Z}\} \sqrt{\frac{T_E}{T_0}} \quad [3.10]$$

$$A(8)_{Floor} = \max\{k \cdot RMS_{Floor-X}, k \cdot RMS_{Floor-Y}, RMS_{Floor-Z}\} \sqrt{\frac{T_E}{T_0}}$$

Burada:

T_E : titreşime maruz kalınan süre

T₀ : Referans süresi (8 sa = 28 800 s)

- l) Kestirilen titreşim dozu değeri (eVDV) (m/s^{1.75}): Kişi tarafından alınan titreşimin birikimli ölçüsü olup frekans ağırlıklı RMS değeri kullanılarak hesaplanmaktadır. RMS değeri, titreşim maruziyetinin belirlenmesi istenen tüm süre boyunca ya da çoğunlukla, daha kısa temsili bir süre boyunca ölçülmektedir. Tepe faktörünün yaklaşık olarak 6'dan büyük olduğu, şok bölgeleri içeren ya da sinyal genliğinin değiştiği titreşim kayıtları için titreşim dozu değerinin doğrudan tüm ivme-zaman kütüğünden tespit edilmesi önerilmektedir(Eşitlik 3.11).

$$eVDV_{Seat-X} = k \cdot RMS_{Seat-X} \cdot \sqrt[4]{T_0} \quad [3.11]$$

$$eVDV_{Floor-X} = k \cdot RMS_{Floor-X} \cdot \sqrt[4]{T_0}$$

$$eVDV_{Seat-Y} = k \cdot RMS_{Seat-Y} \cdot \sqrt[4]{T_0}$$

$$eVDV_{Floor-Y} = k \cdot RMS_{Floor-Y} \cdot \sqrt[4]{T_0}$$

$$eVDV_{Seat-Z} = k \cdot RMS_{Seat-Z} \cdot \sqrt[4]{T_0}$$

$$eVDV_{Floor-Z} = k \cdot RMS_{Floor-Z} \cdot \sqrt[4]{T_0}$$

Burada:

k : CRF < ~6 olduğu durumlarda 1,4 olarak alınmaktadır.

m) Maruziyet eylem değerine erişim süresi ($EAV_{TT(RMS)}$) (ss:dd:nn); 8 saatlik referans maruziyet süresi dikkate alındığında 0,5 m/s²'lik maruziyet eylem değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresi Eşitlik 3.12'de hesaplanmaktadır.

$$EAV_{TT(RMS)-Seat} = T_0 \cdot \left(\frac{EAV}{A(8)_{Seat}} \right)^2 \quad [3.12]$$

$$EAV_{TT(RMS)-Floor} = T_0 \cdot \left(\frac{EAV}{A(8)_{Floor}} \right)^2$$

n) Maruziyet sınır değerine erişim süresi fonksiyonu (RMS); 8 saatlik referans maruziyet süresi dikkate alındığında 1,15 m/s²'lik maruziyet sınır değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresi ($ELV_{TT(RMS)}$) (ss:dd:nn) Eşitlik 3.13'de hesaplanmaktadır.

$$ELV_{TT(RMS)-Seat} = T_0 \cdot \left(\frac{ELV}{A(8)_{Seat}} \right)^2 \quad [3.13]$$

$$ELV_{TT(RMS)-Floor} = T_0 \cdot \left(\frac{ELV}{A(8)_{Floor}} \right)^2$$

o) VDV (m/s^{1,75}): Rehn (2004), bir titreşim zaman formunun bir veya daha fazla sayıda yüksek genlikli ivme içerdiğinde bu doruk noktalarının yüksek bir tepe faktörüne neden olacağını ve bu nedenle RMS değerinin o dalgayı sağlıklı biçimde temsil edemeyeceğini ifade etmiştir. VDV, ivmenin dördüncü gücünü temel almakta ve bu şekilde RMS ile karşılaştırıldığında şoklara daha duyarlı ve temsil yeteneği daha güçlü olmaktadır. ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca da CRF değerleri dokuzun üstündeyse, sağlık risklerini belirlerken VDV'nin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. VDV, koltuk ve kabin zemini için ayrı olarak hesaplanmaktadır (Eşitlik 3.14).

$$VDV = \sqrt[4]{\int_{t=0}^{t=T} a_w^4(t) dt} \quad [3.14]$$

Burada:

a_w : Frekans ağırlıklı anlık titreşim değeri (m/s²)

T : Ölçüm süresi (s)

- p) En yüksek titreşim dozu ($m/s^{1,75}$); operatör koltuğu yüzeyinde ($VDV_{WB-Seat}$) ve kabin zemininde ($VDV_{WB-Floor}$) ağırlıklandırılmış en büyük titreşim dozu değerleri. X ve Y eksenleri için $k = 1,4$ ve Z eksenini için $k = 1,0$ çarpanı kullanılmaktadır (Eşitlik 3.15).

$$VDV_{WB-Seat} = \max\{k \cdot VDV_{Seat-X}, k \cdot VDV_{Seat-Y}, VDV_{Seat-Z}\} \quad [3.15]$$

$$VDV_{WB-Floor} = \max\{k \cdot VDV_{Floor-X}, k \cdot VDV_{Floor-Y}, VDV_{Floor-Z}\}$$

- q) Operatör koltuğu yüzeyinde (Seat) ve kabin zemininde (Floor) ağırlıklandırılmış en büyük titreşim dozu değeri yönleri Eşitlik 3.16'dan belirlenmektedir.

$$X_{Seat} \rightarrow Ch1; Y_{Seat} \rightarrow Ch2; Z_{Seat} \rightarrow Ch3 \quad [3.16]$$

$$X_{Floor} \rightarrow Ch4; Y_{Floor} \rightarrow Ch5; Z_{Floor} \rightarrow Ch6$$

- r) Eksenler üzerinde toplam günlük maruziyet VDV_{Daily} (m/s^2) Eşitlik 3.17'de hesaplanmaktadır.

$$VDV_{Daily-Seat-X} = k \cdot VDV_{Seat-X} \cdot \sqrt[4]{\frac{T_E}{T}} \quad [3.17]$$

$$VDV_{Daily-Floor-X} = k \cdot VDV_{Floor-X} \cdot \sqrt[4]{\frac{T_E}{T}}$$

$$VDV_{Daily-Seat-Y} = k \cdot VDV_{Seat-Y} \cdot \sqrt[4]{\frac{T_E}{T}}$$

$$VDV_{Daily-Floor-Y} = k \cdot VDV_{Floor-Y} \cdot \sqrt[4]{\frac{T_E}{T}}$$

$$VDV_{Daily-Seat-Z} = VDV_{Seat-Z} \cdot \sqrt[4]{\frac{T_E}{T}}$$

$$VDV_{Daily-Floor-Z} = VDV_{Floor-Z} \cdot \sqrt[4]{\frac{T_E}{T}}$$

Burada:

T_E : Titreşime maruz kalınan süre (s)

T : Ölçüm süresi (s)

- s) Eksenler üzerinde kısmi günlük maruziyet $VDV_{Partial}$ ($m/s^{1,75}$); ağır iş makinesi operatörlerinin vardiya boyunca aynı işi yaptığı kabul edildiğinden toplam günlük maruziyet ile aynı formül üzerinden hesaplanmaktadır.

- t) En yüksek titreşim dozu (VDV_{WB}) ($m/s^{1,75}$); operatör koltuğu yüzeyindeki ağırlıklandırılmış en büyük titreşim dozu değeri X ve Y eksenleri için $k = 1,4$ ve Z eksenini için $k = 1,0$ çarpanı kullanılmaktadır (Eşitlik 3.18).

$$VDV_{Vector-Seat} = \sqrt[4]{(VDV_{Daily-Seat-X}^4 + VDV_{Daily-Seat-Y}^4 + VDV_{Daily-Seat-Z}^4)} \quad [3.18]$$

$$VDV_{Vector-Floor} = \sqrt[4]{(VDV_{Daily-Floor-X}^4 + VDV_{Daily-Floor-Y}^4 + VDV_{Daily-Floor-Z}^4)}$$

u) Koltuk etkinliği genlik geçirgenliği ($SEAT_{VDV-X}$) faktörü Eşitlik 3.19'da hesaplanmaktadır.

$$SEAT_{VDV-X} = \frac{VDV_{Seat-X}}{VDV_{Floor-X}} \quad [3.19]$$

v) Koltuk etkinliği genlik geçirgenliği ($SEAT_{VDV-Y}$) faktörü Eşitlik 3.20'de hesaplanmaktadır.

$$SEAT_{VDV-Y} = \frac{VDV_{Seat-Y}}{VDV_{Floor-Y}} \quad [3.20]$$

w) Koltuk etkinliği genlik geçirgenliği ($SEAT_{VDV-Z}$) faktörü Eşitlik 3.21'de hesaplanmaktadır.

$$SEAT_{VDV-Z} = \frac{VDV_{Seat-Z}}{VDV_{Floor-Z}} \quad [3.21]$$

x) Maruziyet eylem değerine erişim süresi ($EAV_{TT(VDV)}$) (ss:dd:nn); 9,1 m/s^{1,75}'lik maruziyet eylem değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresi Eşitlik 3.22 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$EAV_{TT(VDV)-Seat} = T \cdot \left(\frac{EAV}{VDV_{WB-Seat}} \right)^4 \quad [3.22]$$

$$EAV_{TT(VDV)-Floor} = T \cdot \left(\frac{EAV}{VDV_{WB-Floor}} \right)^4$$

y) Maruziyet sınır değerine erişim süresi ($ELV_{TT(VDV)}$) (ss:dd:nn); 21,0 m/s^{1,75}'lik maruziyet sınır değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresi (Eşitlik 3.23);

$$ELV_{TT(VDV)-Seat} = T \cdot \left(\frac{ELV}{VDV_{WB-Seat}} \right)^4 \quad [3.23]$$

$$ELV_{TT(VDV)-Floor} = T \cdot \left(\frac{ELV}{VDV_{WB-Floor}} \right)^4$$

ISO 2631-1 (1997) standardı sağlıkla ilgili etkileri belirlerken sağlık kılavuzu uyarı bölgesinde bulunan limitlerle karşılaştırmak için iki seçenek sunmaktadır. Temel değerlendirme yöntemi, eksen en yüksek frekans ağırlıklı ivme değerlerini (KOK) kullanmaktadır. Bununla birlikte, herhangi bir tepe faktörü değeri dokuzdan büyükse, ISO 2631-1 standardı, sağlık risklerinin belirlenmesinde en yüksek VDV değerine sahip olan eksenin kullanılmasını önermektedir. 8 saatlik bir maruziyet süresi dikkate alındığında, HGCZ'nin frekans ağırlıklı KOK değerleri için üst ve alt sınırları sırasıyla 0,9 m/s² ve 0,45 m/s²'dir. 8 saatlik VDV için eşdeğer HGCZ sınırları 17 m/s^{1,75} ve 8,5 m/s^{1,75}'dir.

Çoklu şokların bel omurgasına olumsuz sağlık etkilerinin değerlendirilmesi için ISO 2631-5 standardından yararlanılmaktadır. Titreşim sinyalindeki tepelerin sayısı ve bunların genliklerinin büyüklüğü, bel omurgası üzerinde X, Y ve Z eksenindeki ivme dozunu kestirmede kullanılmaktadır. Değerlendirilen veri, statik basınç dozu (S_{ed}) ve buna bağlı günlük risk faktörünün (R) hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Omurga tepki ivme dozunun hesaplanması için sırasıyla omurga tepkisinin hesaplanması, titreşim dalgasındaki tepe noktalarının adet ve büyüklüklerinin belirlenmesi ve Palmgren-Miner yorulma teorisi ile ilişkili bir doz modelinin uygulanması gerekmektedir (ISO, 2004).

Koltuk oturak yüzeyinde X, Y ve Z yönlerinde ölçülen ivmelerin (a_{sx} , a_{sy} , a_{sz}) bel omurgasındaki aynı yönlerde tepki ivmelerini (a_{ix} , a_{iy} , a_{iz}) tahmin etmek için kestirim modelleri kullanılmaktadır. Buna göre omurga tepkisi X ve Y yönlerinde yaklaşık olarak doğrusal olup tek serbestlik dereceli (SDOF) toplu parametre modeli ile temsil edilebilmektedir. Diğer yandan Z yönündeki omurga tepkisi doğrusal olmayan ve yinelenen bir yapay zekâ modeli ile belirlenmektedir.

k yönündeki ivme dozu (D_k , m/s^2) Eşitlik 3.24 ile hesaplanmaktadır. Sinyal içerisinde bulunan daha düşük genlikli tepelerin aşağıdaki 6. kuvvet formülüne katkısı en yüksek genlikli tepeye göre çok daha az olacağından bunlar göz ardı edilebilmektedir.

$$D_k = [\sum_i A_{ik}^6]^{\frac{1}{6}} \quad [3.24]$$

Burada:

A_{ik} : tepki ivmesi $a_{ik}(t)$ 'nin i. tepe noktası değeri (m/s^2). 'Tepe', tepki ivmesinin ardışık iki sıfır geçişi arasındaki en büyük mutlak değeri olarak tanımlanmıştır. X ve Y yönleri için pozitif ve negatif eksenlerdeki tepeler sayılırken Z yönü için omurgayı sıkıştıran hareketler öncelikle önemsendiğinden, yalnızca pozitif tepe değerleri dikkate alınmaktadır.

k : X, Y ya da Z yönü

Günlük toplam maruziyetin tek ölçüm periyodu ile temsil edilebileceği durumlarda titreşimin sağlığa olumsuz etkilerini belirlemek için aşağıdaki eşitlik ile günlük ortalama doz (D_{kd} , m/s^2) hesaplanmaktadır (Eşitlik 3.25).

$$D_{kd} = D_k \cdot \left[\frac{t_d}{t_m} \right]^{\frac{1}{6}} \quad [3.25]$$

Burada:

t_d : günlük maruziyet süresi (s)

t_m : ölçüm süresi (s)

Günlük titreşim maruziyetinin farklı büyüklükler ile temsil edilen iki ya da daha fazla sayıda periyottan oluştuğu durumlarda günlük ivme dozu Eşitlik 3.26 ile belirlenmektedir.

$$D_{kd} = \left[\sum_{j=1}^n D_{kj}^6 \cdot \frac{t_{dj}}{t_{mj}} \right]^{\frac{1}{6}} \quad [3.26]$$

Burada:

t_{dj} : j koşuluna günlük maruziyet süresi (s)

t_{mj} : D_{kj} durumunun ölçüm süresi (s)

Titreşim ivmesi dozu ile neden olduğu olumsuz sağlık etkileri arasındaki ilişki ISO (2004) tarafından verilmiştir. Deneysel veriye dayalı biyomekanik bir model kullanılarak omurgadaki doruk ivme tepkisi ile şoklar nedeniyle oluşan basınç gerilmesinin bir kısmı arasında doğrusal bir ilişki bulunduğu gösterilmiştir. Eşdeğer statik baskı gerilmesi (S_e , MPa) Eşitlik 3.27 ile hesaplanmaktadır.

$$S_e = \left[\sum_{k=X,Y,Z} (m_k \cdot D_k)^6 \right]^{\frac{1}{6}} \quad [3.27]$$

Burada:

D_k : k yönündeki ivme dozu (m/s^2)

m_X : 0,015 MPa/(m/s^2)

m_Y : 0,035 MPa/(m/s^2)

m_Z : 0,032 MPa/(m/s^2)

Günlük eşdeğer statik basınç dozu (S_{ed}) ise D_k değeri, ortalama günlük maruziyet süresi D_{kd} değerine normalize edilerek Eşitlik 3.28 ile elde edilmektedir.

$$S_{ed} = \left[\sum_{k=X,Y,Z} (m_k \cdot D_{kd})^6 \right]^{\frac{1}{6}} \quad [3.28]$$

İnsan tepkisi ivme dozu ile ilişkili olumsuz sağlık etkilerinin belirlenmesinde kullanılan risk faktörü (R), maruziyet süresi uzadıkça ilerleyen yaşı ve azalan dayanımı dikkate alarak aşağıdaki içten-tekrarlı eşitlik ile hesaplanmaktadır (Eşitlik 3.29). Risk faktörünü hesaplamak için kişinin titreşime ilk maruziyet yaşı ile günlük, yıllık ve ömür boyu maruziyet süreleri gerektiğinden, kişilerin sağlık riski kendine özgü olup bireysel olarak tespit edilmektedir.

$$R = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{S_{ed} \cdot N^{\frac{1}{6}}}{S_{ul} - c} \right)^6 \right]^{\frac{1}{6}} \quad [3.29]$$

Burada:

N : yıllık titreşime maruz kalınan gün adedi

- i : yıl sayacı
n : başlangıçtan itibaren titreşime maruz kalınan yıl adedi
c : yerçekimi kuvveti nedeniyle oluşan statik gerilmeyi temsil eden sabit (operatör/sürücü duruşunu temsil etmek için normalde 0,25 MPa değeri kullanılabilir)
 S_{ui} : (b + i) yaşındaki bir kişinin bel omurgasının en yüksek dayanımı (MPa). S_{ui} değerinin normal olarak yaş ile azalan omur kemik yoğunluğu ile değişmektedir. Laboratuvar ortamında yapılan çalışmalardan S_{ui} ile (b + i) arasında aşağıdaki ilişki tespit edilmiştir (ISO, 2004)(Eşitlik 3.30).

$$S_{ui} = 6,75 - 0,066(b + i) \quad [3.30]$$

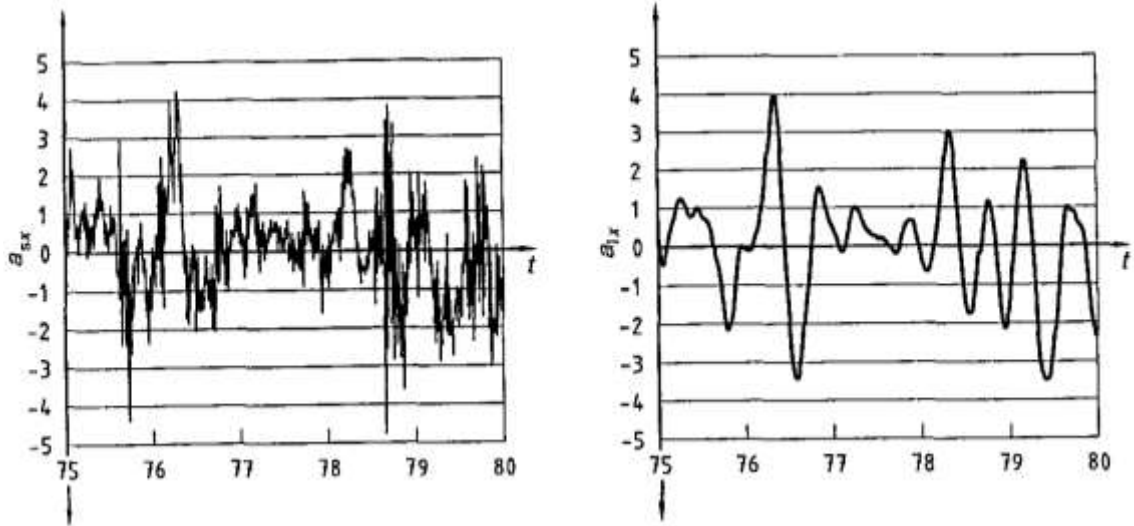
- b : titreşime maruziyetin başladığı yıl

ISO 2631-5'e (2004) göre yıl bazında belirli bir maruziyet süresi için 0,8'in altındaki günlük risk faktörleri (R) sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığının düşük olduğunu gösterirken, 1,2'den büyük değerler yüksek etki olasılığına işaret etmektedir. Diğer yandan, ömür boyu maruziyet için 0,5 MPa'dan küçük günlük eşdeğer statik basınç dozu değeri (S_{ed}), titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi için düşük olasılığa işaret etmekte, 0,8 MPa'dan büyük bir doz ise olumsuz sağlık etkileri olasılığının yüksek olduğunu göstermektedir. Bu standarda göre günlük eşdeğer statik basınç dozu (S_{ed}) 0,5 MPa olan ve titreşim maruziyeti 20 yaşında başlayan bir kişinin risk faktörü (R) 45 yıl sonra, kişi 65 yaşında iken 0,8 olacaktır. $S_{ed} = 0,8$ MPa olduğunda ise aynı kişinin 65 yaşındaki risk faktörü 1,2 olacaktır. ISO 2631-5 standardı uyarınca yapılan bu hesaplamalarda yıllık titreşim maruziyeti (N) 240 gün alınmaktadır. Farklı yıllık maruziyet sürelerindeki uygulamalara uygun S_{ed} limitleri, 0,5 MPa ve 0,8 MPa değerlerinin $\left(\frac{240}{N}\right)^{\frac{1}{6}}$ ile çarpılması ile elde edilmektedir. Bu tez kapsamında a_{sx} sinyalleri ham titreşim verileri kullanılarak hesaplanmış olup statik basınç değeri ve R faktörü bu değerler kullanılarak belirlenmiştir.

ISO 2631-5 standardı uyarınca tüm vücut titreşiminin olumsuz sağlık etkilerinin belirlenmesine yönelik bir örnekte, bir arazi aracının sürücü koltuğundan 2,5 dakika boyunca alınan frekans ağırlıklı titreşim verisi kullanılmıştır. Bu veriye bağlı olarak bel omurgasının tepkisi hesaplanmıştır. Şekil 3.1'de kaydın 75. ile 80. saniyeleri arasında X yönünde kaydedilen girdi ivmesi (a_{sx}) ile omurga tepki ivmesi (a_{ix}) gösterilmektedir.

İvme dozunun (D_k) hesaplanması için 2,5 dakikalık kayıt içerisindeki X ve Y eksenlerinde pozitif ve negatif dorukların mutlak ivme değerleri ile Z eksenindeki pozitif ivme dorukları belirlenmiş, bunların altıncı kuvvetlerinin toplamının altıncı kökü alınmıştır. Sonuçta;

- $D_{X, 2,5 \text{ dak}}$: 8,6 m/s²
 $D_{Y, 2,5 \text{ dak}}$: 13,6 m/s²
 $D_{Z, 2,5 \text{ dak}}$: 7,2 m/s² olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.1 Girdi (a_{sx}) ve tepki (a_{ix}) ivmeleri (ISO 2631-5, 2004)

İvme kayıt kütüğünün operatörün maruz kaldığı koşulları temsil ettiği ve günlük maruziyetin ortalama olarak 30 dakika sürdüğü kabul edildiğinde günlük ortalama dozlar Eşitlik 3.25 dikkate alınarak aşağıda verilmektedir.

$$D_{Xd} = 8,6 \cdot \left(\frac{30}{2,5}\right)^{\frac{1}{6}} = 13,0 \text{ m/s}^2$$

$$D_{Yd} = 13,6 \cdot \left(\frac{30}{2,5}\right)^{\frac{1}{6}} = 20,6 \text{ m/s}^2$$

$$D_{Zd} = 7,2 \cdot \left(\frac{30}{2,5}\right)^{\frac{1}{6}} = 10,9 \text{ m/s}^2$$

Buradan, Eşitlik 3.28 kullanılarak günlük eşdeğer statik basınç dozu aşağıdaki formül ile hesaplanır. 0,72 MPa, hayati boyunca bu koşullara maruz kalan bir kişi için orta düzeyde ($0,5 \text{ MPa} < S_{ed} < 0,8 \text{ MPa}$) olumsuz sağlık etkisine işaret etmektedir.

$$S_{ed} = [(0,015 \cdot 13,0)^6 + (0,035 \cdot 20,6)^6 + (0,032 \cdot 10,9)^6]^{\frac{1}{6}} = 0,72 \text{ MPa}$$

3.4 Tüm Vücut Titreşimi Ölçümü

3.4.1 Ölçüm düzeni

ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca tüm vücut titreşimi, vücuda iletiildiği nokta veya alana mümkün olduğu kadar yakın yerden tayin edilmelidir (Şekil 3.2). Operatör koltuğunun sünger gibi yumuşak bir üst kaplama ile desteklendiği durumlarda ivmeölçer genellikle poliüretan bir muhafaza içerisinde tutularak operatörün iskiyak kemiklerinin temas edebileceği biçimde yerleştirilmektedir. Böylece yumuşak koltuk yüzeyi boyunca homojen basınç dağılımı

sağlanabilmektedir. Diğer yandan, titreşim yüzeyinin sert olduğu durumlarda ivmeölçer rijit biçimde bağlanmakta ve gövde ile yüzey arasındaki temas alanına mümkün olduğu kadar yakın bölgeye yerleştirilmektedir. Ancak titreşim vücuda iletildiği noktada ölçülemiyorsa kişi ve ivmeölçer arasına konulacak ara yapıların iletim karakteristiklerinin belirlenmesinin gerekebileceği ifade edilmiştir.



Şekil 3.2 Operatör koltuk yüzeyinde ve zeminde, koltuk dikmesi yanındaki ivmeölçerler ile X, Y ve Z eksenleri üzerinden yapılan TVT ölçümü (Mcphee, 2009'dan değiştirilerek)

Bu tez çalışmasında her ekipmanı kullanan sürücü ya da operatörün maruz kaldığı TVT ivmeleri operatör koltuğu yüzeyinde ve zeminde, oturak ayak dikmesi yakınlarında uygun bir noktada ölçülmüştür. Ölçümler, TS EN 1032 + A1 "Mekanik titreşim - titreşim emisyon değerinin belirlenmesi amacıyla hareketli makinaların deneye tâbi tutulması" ve bu standartta atfedilen ISO 2631-1 (1997) standardına uygun şekilde karşılıklı dik eksenlerde (X – ileri ve geri, Y – her iki yana, Z – yukarı ve aşağı), koltuk yüzeyinde üç (X_{seat} , Y_{seat} , Z_{seat}) ve kabin zemininde de üç (X_{floor} , Y_{floor} , Z_{floor}) kanal olmak üzere toplam altı kanaldan yapılmıştır. Koltuk yüzeyinde yapılan TVT ölçümleri yeterli olmakla birlikte kabin zemininden yapılan örnekleme ile operatör koltuğunun titreşim sönümlenme kapasitesi değerlendirilebilmektedir.

3.4.2 Analizör ve ivmeölçerler

İvmeölçerlerden alınan verilerin işlenmesi ve kaydedilmesi için altı kanallı bir analizör (Şekil 3.3) kullanılmıştır. Cihaz ISO 8041:2005, ISO 2631-1, ISO 2631-2, ISO 2631-5 ve ISO 5349 standartlarında öngörülen gereklilikleri karşılamaktadır. Tüm vücut titreşimi için W_d , W_k , W_m , W_b

(ISO 2631-1 gereği) ve el-kol titreşimi için Wh (ISO 5349 gereği) filtrelerini kanallar bazında ayarlamak mümkündür. 0,01 m/s² KOK ile 50 m/s² PEAK arasındaki TVT ivme değerleri kaydedilebilmektedir. Analizör Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü envanterine Haziran 2014'de girmiştir.



şekil 3.3 Titreşim analizörü (SvanteK, 2017)

Operatör TVT maruziyetini belirlemek için üç eksenli (X, Y ve Z) bir koltuk tipi disk ivmelrden (şekil 3.4) faydalanılmıştır. İvmelr hassasiyeti 15,915 Hz'de 50 mV/m/s²'dir. 0,01 m/s² ile 50 m/s² arası ivmeleri ölçebilmekte ve 0,1 Hz ile 125 Hz arasındaki frekans değerlerini de ayıklayabilmektedir. İvmelr Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü envanterine Haziran 2014 tarihinde girmiş ve fabrika kalibrasyonu ile iki yıl boyunca ölçüm yapılabilindiğinden 24 Haziran 2016 tarihinde yeniden kalibre edilmiştir. Böylece tüm TVT maruziyeti lmleri ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca kalibreli ivmelr ile yapılmıştır.



Şekil 3.4 Koltuk tipi disk ivmeölçer (Svantek, 2017)

Zemin tipi ivmeölçer (Şekil 3.5), koltuk etkinliği genlik geçirgenliği (SEAT) oranını belirlemek için ISO 2631-1 (1997) standardına uygun şekilde ölçüm almak amacıyla operatör kabini zemininde, koltuk ayağının zemine birleştiği yere çok yakın ve uygun olan bir noktaya yerleştirilerek X, Y ve Z eksenlerinde ölçüm alınmaktadır. Oldukça hassas olan ivmeölçere operatörün farkında olmadan verebileceği darbe kaynaklı hasarı engellemek için çelik bir kabin yapılmış ve zemine güçlü mıknatıslar ile tutturularak kullanılmıştır. İvmeölçer hassasiyeti 15.915 Hz'de 5,81 mV/m/s²'dir. En yüksek 160 m/s² PEAK ivmeyi ölçebilmektedir. 0 Hz ile 500 Hz arasındaki frekans değerlerini de ayıklayabilmektedir. İvmeölçer Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü envanterine Ağustos 2014 tarihinde girmiş ve fabrika kalibrasyonu ile iki yıl boyunca ölçüm yapılabildiğinden 24 Haziran 2016 tarihinde yeniden kalibre edilmiştir. Böylece tüm TVT maruziyeti ölçümleri ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca kalibreli ivmeölçer ile yapılmıştır.



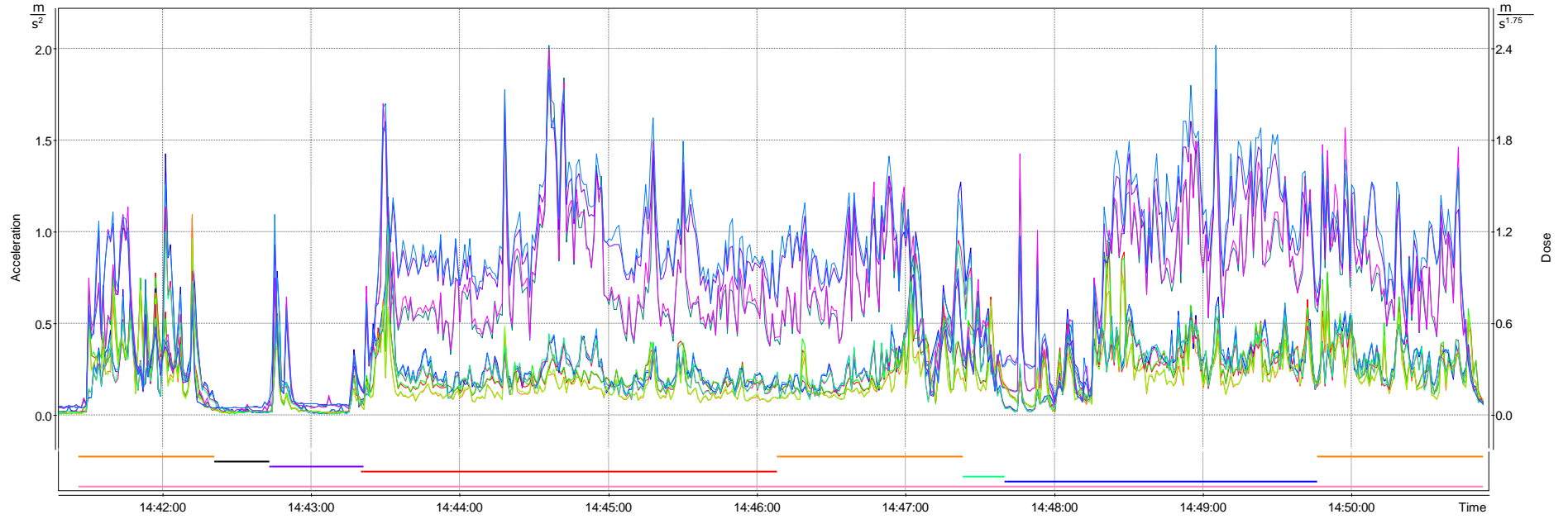
Şekil 3.5 Zemin tipi ivmeölçer (Svantek, 2017)

3.4.3 Verinin İşlenmesi

Titreşim ölçümü kayıtları çalışmada yararlanılan TVT analiz paketinin bütünleşik çevre izleme modülü (Svantek, 2017) kullanılarak iş makinesinin çevrimini oluşturan evrelere ayrılmış ve her evre için tüm parametreler hesaplanmıştır. Kamyonların çevrim evrelerinin işaretlendiği tipik bir titreşim-zaman kütüğü Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Logger results, pixels per sample = 2



Info	Start	Stop	Duration	aw	VDV	aw	VDV	aw	VDV	aw	VDV	aw	VDV	aw	VDV
Main cursor	26.07.2016 14:50:53	-	-	0.079 m/s ²	0.094 m/s ^{1.75}	0.070 m/s ²	0.085 m/s ^{1.75}	0.062 m/s ²	0.077 m/s ^{1.75}	0.081 m/s ²	0.101 m/s ^{1.75}	0.060 m/s ²	0.072 m/s ^{1.75}	0.060 m/s ²	0.078 m/s ^{1.75}
Whole data	26.07.2016 14:41:18	26.07.2016 14:50:53	00:09:35.000	0.283 m/s ²	2.294 m/s ^{1.75}	0.335 m/s ²	2.667 m/s ^{1.75}	0.701 m/s ²	5.284 m/s ^{1.75}	0.234 m/s ²	1.950 m/s ^{1.75}	0.295 m/s ²	2.304 m/s ^{1.75}	0.829 m/s ²	6.081 m/s ^{1.75}
SPOT	26.07.2016 14:41:26	26.07.2016 14:50:53	00:03:17.000	0.325 m/s ²	1.910 m/s ^{1.75}	0.402 m/s ²	2.385 m/s ^{1.75}	0.675 m/s ²	3.793 m/s ^{1.75}	0.279 m/s ²	1.679 m/s ^{1.75}	0.348 m/s ²	1.991 m/s ^{1.75}	0.766 m/s ²	4.154 m/s ^{1.75}
WAIT	26.07.2016 14:42:21	26.07.2016 14:42:43	00:00:22.000	0.020 m/s ²	0.064 m/s ^{1.75}	0.030 m/s ²	0.095 m/s ^{1.75}	0.033 m/s ²	0.117 m/s ^{1.75}	0.020 m/s ²	0.059 m/s ^{1.75}	0.026 m/s ²	0.079 m/s ^{1.75}	0.047 m/s ²	0.153 m/s ^{1.75}
LOAD	26.07.2016 14:42:43	26.07.2016 14:43:21	00:00:38.000	0.122 m/s ²	0.668 m/s ^{1.75}	0.189 m/s ²	0.982 m/s ^{1.75}	0.201 m/s ²	1.052 m/s ^{1.75}	0.098 m/s ²	0.531 m/s ^{1.75}	0.140 m/s ²	0.718 m/s ^{1.75}	0.219 m/s ²	1.379 m/s ^{1.75}
HAUL	26.07.2016 14:43:20	26.07.2016 14:46:08	00:02:48.000	0.223 m/s ²	1.308 m/s ^{1.75}	0.280 m/s ²	1.656 m/s ^{1.75}	0.773 m/s ²	4.198 m/s ^{1.75}	0.166 m/s ²	1.035 m/s ^{1.75}	0.252 m/s ²	1.542 m/s ^{1.75}	0.952 m/s ²	4.775 m/s ^{1.75}
DUMP	26.07.2016 14:47:23	26.07.2016 14:47:40	00:00:17.000	0.338 m/s ²	0.934 m/s ^{1.75}	0.476 m/s ²	1.379 m/s ^{1.75}	0.368 m/s ²	1.114 m/s ^{1.75}	0.290 m/s ²	0.825 m/s ^{1.75}	0.424 m/s ²	1.216 m/s ^{1.75}	0.333 m/s ²	0.944 m/s ^{1.75}
RETURN	26.07.2016 14:47:40	26.07.2016 14:49:46	00:02:06.000	0.337 m/s ²	1.799 m/s ^{1.75}	0.335 m/s ²	1.576 m/s ^{1.75}	0.839 m/s ²	4.023 m/s ^{1.75}	0.276 m/s ²	1.484 m/s ^{1.75}	0.307 m/s ²	1.444 m/s ^{1.75}	0.990 m/s ²	4.831 m/s ^{1.75}
RECORD	26.07.2016 14:41:26	26.07.2016 14:50:53	00:09:27.000	0.285 m/s ²	2.294 m/s ^{1.75}	0.337 m/s ²	2.667 m/s ^{1.75}	0.706 m/s ²	5.284 m/s ^{1.75}	0.236 m/s ²	1.950 m/s ^{1.75}	0.297 m/s ²	2.304 m/s ^{1.75}	0.835 m/s ²	6.081 m/s ^{1.75}

Şekil 3.6 Bir kamyonun (No_211) TVT ivme (a_w) ve dozu (VDV) zaman kütüğü

3.5 Çalışma Uzayı

Bu çalışma kapsamında, ülkemizdeki açık ve yeraltı maden işletmelerinde iş makinelerini kullanan sürücü ve operatörlerin tüm vücut titreşimi maruziyeti değerlendirilmiş ve maruziyet üzerinde etkin olduğu öngörülen faktörlerin etkisi incelenmiştir. Aşağıdaki bölümlerde operatörlerin TVT maruziyetlerinin belirlenmesi için izlenen yöntem, kullanılan donanım, ölçülen ve hesaplanan TVT parametreleri ile açık işletmelerde ölçüm yapılan ekipmana ait bilgiler bulunmaktadır.

Bu çalışmada, ülkemizde faaliyet gösteren çok sayıda açık ve bir adet yeraltı maden işletmesi ile yol inşaat çalışmasında kullanılan farklı tip, marka ve modelde toplam 262 adet iş makinesinden alınan TVT maruziyeti ölçümleri analiz edilmiştir. Ölçümler, TS EN 1032 + A1 "Mekanik titreşim - titreşim emisyon değerinin belirlenmesi amacıyla hareketli makinaların deneye tâbi tutulması" ve bu standartta atfedilen ISO 2631-1 (1997) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Her iki standartta da titreşime maruziyet düzeyinin değerlendirilmesi için sekiz saatlik bir referans döneme (A(8)) normalize edilen günlük maruziyet değerinin hesaplanmasına dayalı olarak, frekans ağırlıklı titreşim ivmelerinin karelerinin toplamının karekökü (KOK) tanımlanmış olsa da TVT maruziyeti değerlendirmesine yönelik diğer parametreler de hesaplanmıştır.

Bu çalışmada titreşim ölçümü yapılan iş makineleri sınıflandırılmış ve Çizelge 3.1'de sunulmuştur. Buna göre kamyon, hidrolik terskepçe ekskavatör, dozer, yükleyici, greyder, elektrikli ekskavatör, titreşimli silindir, delici, hidrolik kırıcı, çekmekepçe ve DKE'den ölçüm alınmıştır.

TVT maruziyeti araştırması yapılan açık ve yeraltı maden işletmelerinin isimlerinin, firmaların herhangi biçimde etkilenmelerini önlemek amacıyla, çalışma izni başvurusunda deklare edilmeyeceği taahhüt altına alınmıştır. Bu nedenle tüm maden işyerleri, çıkartılan ve/veya işlenen cevher türü temel alınarak kodlanmıştır. İşyerleri arasında kömür, agrega, mermer, alçı, demir, altın, kalsit, kil, kireçtaşı işletmeleri, yol inşaat şantiyeleri, cevher hazırlama tesisi, beton santrali ve hurda demir tesisi bulunmaktadır. İş makinelerinin işletmelere dağılımı Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Çalışmada ölçüm alınan iş makineleri

İş makinesi	Temsili resim	Adet
Kamyon (damperli ve alttan boşaltmalı) Açık maden işletmelerinde cevher ve pasa taşıma işlemlerinde kullanılmaktadır		105
Hidrolik terskepçe ekskavatör Açık maden işletmelerinde cevher/pasa kazı ve yükleme işlemlerinde kullanılmaktadır		35
Dozer (paletli ve lastik tekerlekli) Açık maden işletmelerinde zemin tesviye ve kazı/destek işlemlerinde kullanılmaktadır		31
Yükleyici Açık maden işletmelerinde yükleme ve kazı/destek işlemlerinde kullanılmaktadır		28
Greyder Açık maden işletmelerinde zemin tesviye işlemlerinde kullanılmaktadır		16
Elektrikli ekskavatör Açık maden işletmelerinde cevher/pasa kazı ve yükleme işlemlerinde kullanılmaktadır		13
Titreşimli silindir Açık maden işletmelerinde zemin sıkıştırma işlemlerinde kullanılmaktadır		11
Delici Açık maden işletmelerinde patlatma deliği delme işlemlerinde kullanılmaktadır		10
Hidrolik kırıcı Açık maden işletmelerinde patar boyut küçültme işlemlerinde kullanılmaktadır		7
Çekmekepçe Açık maden işletmelerinde cevher/pasa kazı, yükleme ve transfer işlemlerinde kullanılmaktadır.		3
Döner kepçeli ekskavatör Açık maden işletmelerinde cevher/pasa kazı, yükleme ve transfer işlemlerinde kullanılmaktadır.		3

Çizelge 3.2 İş makinelerinin işletmelere dağılımı

İşletme	A ^a	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	Σ	ΣΣ
1.	11	5	5	2	2	4		2		1		32	
2.			2								3	5	
① ^b 3.	21	1	5	1	3	5		1		1		38	138
4.	31		6	1	1	3	1	1				44	
5.	9	1	6		1	1				1		19	
②	1.	7	8	3	3	3	2	3	2			31	31
③	1.	2	2	2	1	1	1					9	13
2.	2			1				1				4	
④	1.		1		1							2	
2.	1	1		1								3	11
3.	1	2		2					1			6	
⑤	1.	3	2		2			1				8	11
2.	1	1							1			3	
⑥	1.		1					1				2	2
⑦	1.	3			2	1						6	6
⑧	1.	2	1		1							4	
2.	1			1								2	8
3.				1								1	
4.				1								1	
⑨	1.	3	1		1				2			7	7
⑩	1.	1			1							2	2
⑪	1.	3	3		2	1	1					10	
2.			1		1	2	1		1			6	
3.							2					2	
4.	1	2	1									4	27
5.			1		1		1					3	
6.							1					1	
7.							1					1	
⑫	1.				1							1	1
⑬	1.	2	2		1							5	5
Σ		105	35	31	28	16	13	11	10	7	3	262	262

a

Ⓐ	Kamyon	Ⓔ	Hidrolik kırıcı
Ⓑ	Hidrolik terskepçe ekskavatör	Ⓕ	Çekmekepçe
Ⓒ	Dozer	Ⓖ	Döner kepçeli ekskavatör
Ⓓ	Lastik tekerlekli yükleyici	Ⓗ	Delici
Ⓔ	Greyder		
Ⓕ	Elektrikli ekskavatör		

b

①	Kömür işletmesi	⑤	Alçı ocağı	⑨	Kireçtaşı ocağı	⑬	Hurda demir tesisi
②	Altın işletmesi	⑥	Kalsit ocağı	⑩	Cevher hazırlama tesisi		
③	Demir işletmesi	⑦	Kil ocağı	⑪	Yol inşaat çalışması		
④	Mermer işletmesi	⑧	Agrega ocağı	⑫	Beton santrali		

4 KAMYONLARIN TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ ve DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1 Genel

Bu çalışma kapsamında farklı kapasite ve modelde toplam 105 adet kamyonun TVT maruziyeti ölçümleri alınmış ve analiz edilmiştir. Kamyon iş döngüsünün aşağıdaki evrelerden oluştuğu kabul edilerek, birkaç istisna dışında ölçümlerin kamyonun bir tam turunu kapsamaya dikkat edilmiş ve kamyonların iş döngüsünü temsil edecek süre boyunca kayıt alınmıştır.

- a) Tüm kayıt (Whole data); Kamyonların tipik iş döngüsündeki tüm evreleri kapsayacak biçimde, araç hareketi öncesi ve döngü bitişi sonrası durağan haller de dahil olmak üzere alınan tüm kaydın brüt TVT maruziyetini göstermektedir. Sürücünün TVT maruziyeti hesaplarında kullanılmamaktadır.
- b) Net kayıt (RECORD); Kamyonların tipik iş döngüsündeki tüm evreleri kapsamakta ve bu süredeki TVT maruziyetini göstermektedir. Hareketin başında sürücünün koltuğa yerleşme ve hareketin sonunda koltuktan kalkma çabaları sırasında koltuk üzerindeki disk tipi ivmeölçer ile kabin zeminindeki ivmeölçere şok etkilerinden kaynaklanabilen çok yüksek titreşim ivmeleri ayıklanarak, analizlerden çıkartılmaktadır. Sürücünün genel TVT maruziyetini temsil etmekte ve hesaplamalarda kullanılmaktadır.
- c) Yanaşma manevrası (SPOT); Kamyon, boş dönüş sonrası yükleyiciye ve taşıma sonrası harmanda döküm noktasına yanaşmak için hızını azaltarak, taşıma ve dönüş evrelerinden ayırt edilebilecek biçimde hareket ettiğinde ayrı bir evre olarak alınmakta ve bu sırada maruz kalınan titreşim kaydedilmektedir.
- d) Yüklenme (LOAD); Kamyon, durağan halde iken yükleyici tarafından yüklenirken maruz kalınan titreşimi temsil etmek için kaydedilmektedir.
- e) Taşıma (HAUL); Kamyon yüklü halde taşıma yaparken maruz kalınan titreşimi temsil etmek için kaydedilmektedir.
- f) Boşaltma (DUMP); Kamyonun kasasını kaldırarak ya da alt kapaklarını açarak boşaltması ve kasasını indirmesi ya da kapaklarını kapatması sırasında maruz kalınan titreşimi temsil etmek için kaydedilmektedir.
- g) Boş dönüş (RETURN); Kamyon boş halde geri dönerken maruz kalınan titreşimi temsil etmek için kaydedilmektedir.
- h) Bekleme (WAIT); Kamyon herhangi bir evre içerisinde iken durmak ve motor devinimi askıda iken beklemek durumunda kaldığında, ayrı bir evre olarak alınmakta ve bu sırada maruz kalınan titreşim kaydedilmektedir.

Kamyonların 33 adedi 30 t'luk "hafriyat kamyonu", 48 adedi 77 t, 2 adedi 91 t, 3 adedi 100 t ve 19 adedi 170 t anma taşıma kapasitesine sahip maden kamyonudur (Çizelge 4.1). Ölçüm alınan 72 birimlik "maden kamyonu" ile 33 birimlik "hafriyat kamyonu" damperli tipte olup, 100 t kapasiteli 3 adet kamyon "dorseli" olarak adlandırılan alttan boşaltmalı kamyonlardır.

Çizelge 4.1 Kamyonların temel bilgileri

İşletme	Kamyon	Hizmete giriş	Malzeme sınıfı	Kapasite sınıfı	Kapasite (t)	Brüt Kütle (t)
Alçı ocağı	No_7	2014	Bloklu	30000	24500	33500
Alçı ocağı	No_8	2014	Bloklu	30000	23417	33000
Alçı ocağı	No_9	2011	Bloklu	30000	24500	33500
Yol inşaatı	No_16	2014	Bloklu_toprak	30000	21200	32000
Yol inşaatı	No_18	2013	Toprak	30000	30500	-
Yol inşaatı	No_21	1994	Toprak	30000	24500	33500
Alçı ocağı	No_27	2006	Bloklu	30000	30500	41000
Taş ocağı	No_29	2012	Bloklu	30000	30500	41000
Taş ocağı	No_30	2011	Bloklu	30000	24500	33500
Hurda demir tesisi	No_39	2007	Demir_curuf	30000	22950	32000
Hurda demir tesisi	No_40	2006	Demir_curuf	30000	25000	32000
Mermer ocağı	No_43	1992	Bloklu	30000	28950	34800
Mermer ocağı	No_49	2012	Bloklu	30000	24500	33500
Taş ocağı	No_53	1996	Agrega	30000	20740	28600
Yol inşaatı	No_97	2013	Toprak	30000	24500	33500
Kil ocağı	No_100	2011	Bloklu_toprak	30000	22596	32000
Kil ocağı	No_102	2006	Toprak	30000	25210	33500
Kil ocağı	No_104	2003	Toprak	30000	22950	32000
Kömür İşletmesi	No_107	1999	Ayrılmış_kayaç	170000	176901	317515
Kömür İşletmesi	No_108	1988	Ayrılmış_kayaç	77000	78000	129555
Kömür İşletmesi	No_110	2000	Ayrılmış_kayaç	170000	176901	317515
Kömür İşletmesi	No_113	1988	Kömür	77000	78000	129555
Kömür İşletmesi	No_118&119	1999	Kömür	170000	176901	317515
Kömür İşletmesi	No_120	1988	Kömür	100000	100000	-
Kömür İşletmesi	No_121	1988	Kömür	100000	100000	-
Demir İşletmesi	No_139	2014	Toprak	30000	22527	32000
Demir İşletmesi	No_140	2011	Toprak	30000	25000	-
Cevher Hazırlama Tesisi	No_148	2011	Demir_curuf	30000	24500	33500
Altın İşletmesi	No_150	2012	Az ayrılmış_kayaç	30000	24500	33500
Altın İşletmesi	No_153	2015	Toprak	30000	24500	33500
Altın İşletmesi	No_167	2015	Az ayrılmış_kayaç	30000	24500	33500
Altın İşletmesi	No_170	2015	Ayrılmış_kayaç	30000	24500	33500
Altın İşletmesi	No_174	2015	Toprak	30000	24500	33500
Altın İşletmesi	No_176	2010	Ayrılmış_kayaç	30000	24500	33500
Altın İşletmesi	No_179	2007	Ayrılmış_kayaç	30000	24500	33500
Demir İşletmesi	No_198	2010	Bloklu_cevher	30000	20000	-
Demir İşletmesi	No_199	2010	Bloklu_cevher	30000	20000	-
Kömür İşletmesi	No_202	2015	Ayrılmış_kayaç	91000	91000	-
Kömür İşletmesi	No_203	2015	Ayrılmış_kayaç	91000	91000	-
Kömür İşletmesi	No_204	1988	Kömür	100000	100000	-
Kömür İşletmesi	No_205	2000	Ayrılmış_kayaç	170000	176901	317515
Kömür İşletmesi	No_208	1985	Bloklu_toprak	77000	77000	132121
Kömür İşletmesi	No_209	1985	Bloklu_toprak	77000	77000	132121
Kömür İşletmesi	No_210	1985	Bloklu_toprak	77000	77000	132121
Kömür İşletmesi	No_211	1985	Bloklu_toprak	77000	77000	132121
Kömür İşletmesi	No_212	1985	Bloklu_toprak	77000	77000	132121
Kömür İşletmesi	No_213	1985	Bloklu_toprak	77000	77000	132121
Kömür İşletmesi	No_215	1998	Bloklu_toprak	170000	172500	281141
Kömür İşletmesi	No_217	1998	Bloklu_toprak	170000	172500	281141
Kömür İşletmesi	No_218	1998	Bloklu_toprak	170000	172500	281141
Kömür İşletmesi	No_220	1998	Bloklu_toprak	170000	172500	281141
Kömür İşletmesi	No_221	1998	Bloklu_toprak	170000	172500	281141
Kömür İşletmesi	No_225	1985	Bloklu_toprak	77000	77000	132121
Kömür İşletmesi	No_226	1985	Bloklu_toprak	77000	77000	132121
Kömür İşletmesi	No_227	1985	Bloklu_toprak	77000	77000	132121
Kömür İşletmesi	No_233	1998	Bloklu_toprak	170000	172500	281141
Kömür İşletmesi	No_237	1985	Bloklu_toprak	77000	77000	132121
Kömür İşletmesi	No_238	1985	Bloklu_toprak	77000	77000	132121
Kömür İşletmesi	No_239	1985	Bloklu_toprak	77000	77000	132121
Kömür İşletmesi	No_241	1985	Bloklu_toprak	77000	77000	132121
Kömür İşletmesi	No_242	1985	Bloklu_toprak	77000	77000	132121
Kömür İşletmesi	No_243	1985	Bloklu_toprak	77000	77000	132121
Kömür İşletmesi	No_246	1985	Toprak	77000	78000	129555

Çizelge 4.1 Kamyonların temel bilgileri (devam ediyor)

İşletme	Kamyon	Hizmete giriş	Malzeme sınıfı	Kapasite sınıfı	Kapasite (t)	Brüt Kütle (t)
Kömür İşletmesi	No_247	1985	Toprak	77000	78000	129555
Kömür İşletmesi	No_248	1985	Toprak	77000	78000	129555
Kömür İşletmesi	No_249	1985	Toprak	77000	78000	129555
Kömür İşletmesi	No_251	1998	Toprak	170000	170812	294840
Kömür İşletmesi	No_252	1998	Toprak	170000	170812	294840
Kömür İşletmesi	No_253	1998	Toprak	170000	170812	294840
Kömür İşletmesi	No_254	1998	Toprak	170000	170812	294840
Kömür İşletmesi	No_257	1998	Bloklu_toprak	170000	170812	294840
Kömür İşletmesi	No_258	1985	Toprak	77000	78000	129555
Kömür İşletmesi	No_259	1985	Toprak	77000	78000	129555
Kömür İşletmesi	No_260	1985	Toprak	77000	78000	129555
Kömür İşletmesi	No_261	1985	Toprak	77000	78000	129555
Kömür İşletmesi	No_264	1985	Toprak	77000	78000	129555
Kömür İşletmesi	No_265	1985	Toprak	77000	78000	129555
Kömür İşletmesi	No_266	1998	Bloklu_toprak	170000	170812	294840
Kömür İşletmesi	No_267	1998	Bloklu_toprak	170000	170812	294840
Kömür İşletmesi	No_268	1998	Bloklu_toprak	170000	170812	294840
Kömür İşletmesi	No_269	1998	Bloklu_toprak	170000	170812	294840
Kömür İşletmesi	No_270	1985	Toprak	77000	78000	129555
Kömür İşletmesi	No_271	1985	Toprak	77000	78000	129555
Kömür İşletmesi	No_272	1985	Toprak	77000	78000	129555
Kömür İşletmesi	No_273	1985	Toprak	77000	78000	129555
Kömür İşletmesi	No_274	1985	Toprak	77000	78000	129555
Kömür İşletmesi	No_275	1985	Toprak	77000	78000	129555
Kömür İşletmesi	No_276	1985	Bloklu_toprak	77000	78000	129555
Kömür İşletmesi	No_277	1985	Bloklu_toprak	77000	78000	129555
Kömür İşletmesi	No_278	1985	Bloklu_toprak	77000	78000	129555
Kömür İşletmesi	No_280	1985	Toprak	77000	78000	129555
Kömür İşletmesi	No_281	1985	Toprak	77000	78000	129555
Kömür İşletmesi	No_283	1985	Su	77000	78000	129555
Kömür İşletmesi	No_288	1985	Ayrışmış_kayaç	77000	77000	132600
Kömür İşletmesi	No_289	1985	Ayrışmış_kayaç	77000	77000	132600
Kömür İşletmesi	No_290	1985	Ayrışmış_kayaç	77000	77000	132600
Kömür İşletmesi	No_291	1985	Ayrışmış_kayaç	77000	77000	132600
Kömür İşletmesi	No_294	1985	Ayrışmış_kayaç	77000	77000	132600
Kömür İşletmesi	No_295	1985	Ayrışmış_kayaç	77000	77000	132600
Kömür İşletmesi	No_297	1985	Toprak	77000	77000	132600
Kömür İşletmesi	No_298	1980	Toprak	77000	77000	132600
Kömür İşletmesi	No_301	1985	Ayrışmış_kayaç	77000	77000	132600
Kireçtaşı ocağı	No_309	2016	Bloklu_toprak	30000	30500	41000
Kireçtaşı ocağı	No_310	2015	Bloklu_toprak	30000	30500	41000
Kireçtaşı ocağı	No_311	2016	Bloklu_toprak	30000	22527	32000

Kamyonların TVT maruziyeti ölçümleri, üç adedi koltuktan ($Seat_x$, $Seat_y$, $Seat_z$), üç adedi de kabin zemininden ($Floor_x$, $Floor_y$, $Floor_z$) olmak üzere toplam altı kanaldan, aracın bir tam döngüsünü kapsayacak biçimde gerçekleştirilmiştir. Titreşim analizörü ile frekans ağırlıklı ivme (a_w), titreşim dozu (VDV), maksimum geçici titreşim değeri (MTVV), tepe titreşim ivmesi (PEAK) ve tepe-tepe titreşim ivmesi (P-P) ölçülerek, değerlendirilmiştir. Kayıt süreleri 4 dakika 46 saniye ile 52 dakika 37 saniye arasında değişmiştir. ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca TVT maruziyeti değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılan parametrelerin değerleri, koltuk ve zemin için hesaplanmıştır.

4.2 Net Kayıt (RECORD) Evresi

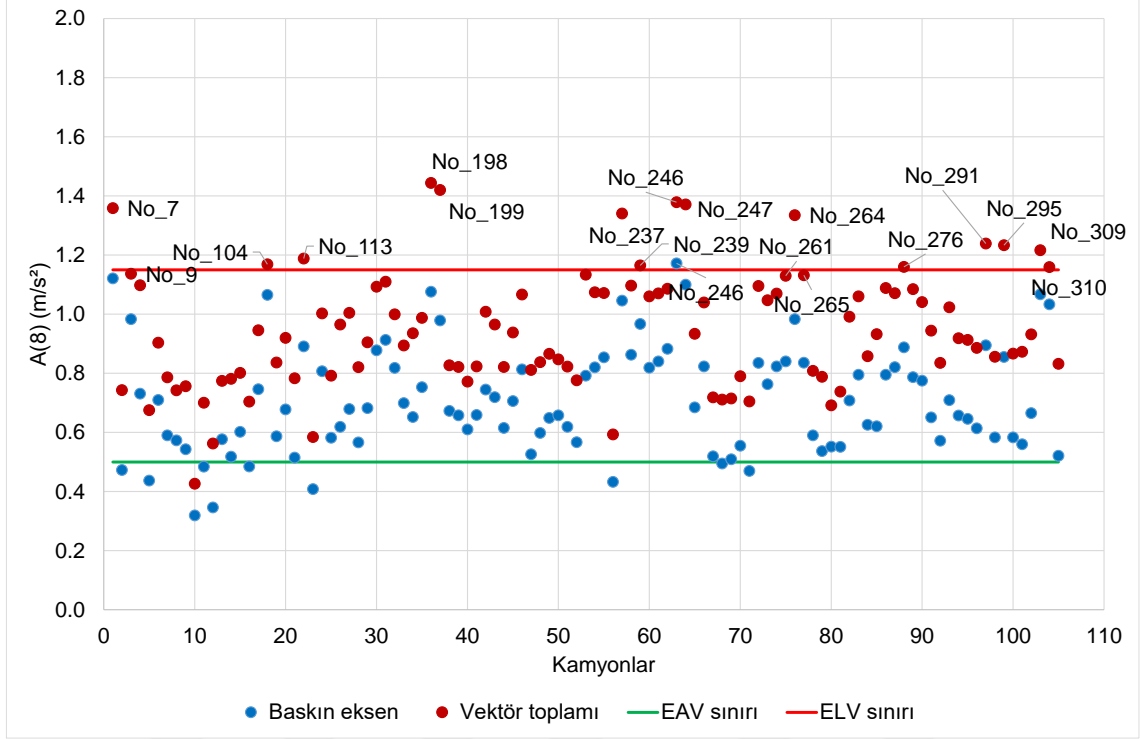
4.2.1 Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme

Kamyonların sürücü koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri EKDE (baskın eksen) üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $A(8)_{\text{Seat}}$, ortalama ve standart sapması $(0,707 \pm 0,179)$ m/s^2 olacak biçimde $0,319 \text{ m/s}^2$ ile $1,172 \text{ m/s}^2$ arasında değişmiştir. Diğer yandan kamyonların sürücü koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde Vector_{1-3} , ortalama ve standart sapması $(0,949 \pm 0,198)$ m/s^2 olacak biçimde $0,427 \text{ m/s}^2$ ile $1,444 \text{ m/s}^2$ arasında değişmiştir.

En yüksek titreşim kaydedilen baskın eksen 9 kamyonda Y eksenini (Ch2), 96 kamyonda ise Z eksenini (Ch3) olmuştur. Bu sonuç önceki araştırmalar tarafından da teyit edilmiş ve Z ekseninde ölçülen titreşim değerlerinin diğer eksenlere göre yüksek çıktığı sonucuna ulaşılmıştır (Özkaya vd., 1997; Cann vd., 2005; Newell vd., 2006; Eger vd., 2011; Chaudhary vd., 2015). Cann vd. (2005), yaptıkları çalışmada X ekseninde $0,79 \text{ m/s}^2 - 0,83 \text{ m/s}^2$, Y ekseninde $0,81 \text{ m/s}^2 - 0,97 \text{ m/s}^2$ ve Z ekseninde $1,08 \text{ m/s}^2 - 1,36 \text{ m/s}^2$ arasında TVT ivmesi ölçmüşlerdir. Diğer bir çalışma da buradaki sonuçları desteklemektedir. Mandal ve Srivastava (2010) toplam 18 kamyonda en yüksek titreşim değerini Z ekseninde kaydetmişlerdir. Ölçülen değerler $0,64 \text{ m/s}^2$ ile $1,82 \text{ m/s}^2$ arasında değişmiş olup ortalaması $1,10 \text{ m/s}^2$ 'dir. Eger vd. (2011) baskın Z ekseninde $0,89 \text{ m/s}^2 - 1,18 \text{ m/s}^2$ değerleri arasında titreşim değerleri okumuşlardır. Benzer sonuçlar Burström vd.'nin (2015) farklı model ve kapasitedeki 95 iş makinesi üzerindeki çalışmasından gelmiştir. Günlük ortalama titreşim maruziyetinin 1,9 sa – 6,7 sa olduğu durumda ortalama $A(8)$ değeri $0,2 \text{ m/s}^2 - 1,0 \text{ m/s}^2$ arasında tespit edilmiştir. Chaudhary vd. (2015) en yüksek titreşim değerini Z ekseninden $1,61 \text{ m/s}^2$ olarak ölçmüştür. Tüm kamyonların EU 2002/44/EC direktifi uyarınca baskın eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre $A(8)_{\text{Seat}}$ değerlerinin EAV ve ELV sınırları ile karşılaştırılması Şekil 4.1'de sunulmuştur. ELV sınırını aşan kamyonların belirtildiği durumda kötü yol koşullarında çalışan kamyonların titreşim değerleri yüksek çıkmaktadır.

Çizelge 4.2'de görüleceği üzere kamyonların EU 2002/44/EC direktifi uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, baskın eksen ölçütü dikkate alındığında araçların oldukça büyük bölümünün EAV sınırları (dikkat bölgesi) içinde olduğu görülmektedir. Bu durumda kamyonların 10 adedi maruziyet eylem değeri altında ($A(8)_{\text{Seat}} < 0,5 \text{ m/s}^2$), 94 adedi maruziyet sınır değeri altında ($A(8)_{\text{Seat}} \leq 1,15 \text{ m/s}^2$) ve 1 adedi maruziyet sınır değeri üzerinde ($A(8)_{\text{Seat}} > 1,15 \text{ m/s}^2$) eşdeğer titreşim ivmesi üretmiştir. Ancak vektör toplamı ölçütü dikkate alındığında hemen tüm kamyonlar EAV sınırının üzerinde yer almakta ve EAV altı bölgeden EAV üstü bölgeye geçişler meydana gelmekte olup bu durumda, 15 kamyon ELV sınırını aşmaktadır. Daha koruyucu bir yaklaşıma sahip olan ISO 2631-1 (1997) standardına göre baskın eksen ölçütü göz önüne alındığında yine, kamyonların büyük bölümü EAV bölgesi içinde kalırken vektör toplamına göre kamyonların büyük bölümü ELV sınırı üzerinde yer almaktadır. ISO 2631-1 (1997) standardında verilen daha da koruyucu HGCZ bölgeleri ölçütüne göre, baskın eksen dikkate alındığında kamyonların büyük bölümü HGCZ bölgesi içinde kalırken vektör toplamı dikkate alındığında daha fazla sayıda kamyon HGCZ bölgesi üzerine çıkmaktadır. Türkiye, 2002/44/EC sayılı Avrupa

Parlamentosu ve Konseyi Direktifinde verilen sınırları benimsediğinden, TVT ölçümü yapılan kamyonların hemen tümünün EAV altı ve EAV içi bölgede olduğu görülmektedir.



Şekil 4.1 Kamyonların A(8) değerleri

Çizelge 4.2 Kamyon sürücülerinin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi

Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		Bölge	ISO2631-1 HGCZ Bölgesi	
	EKDE	VT	EKDE	VT		EKDE	VT
EAV altında	10	1	5	1	HGCZ altında	3	1
EAV içinde	94	89	87	45	HGCZ içinde	84	40
ELV üstünde	1	15	13	59	HGCZ üstünde	18	64

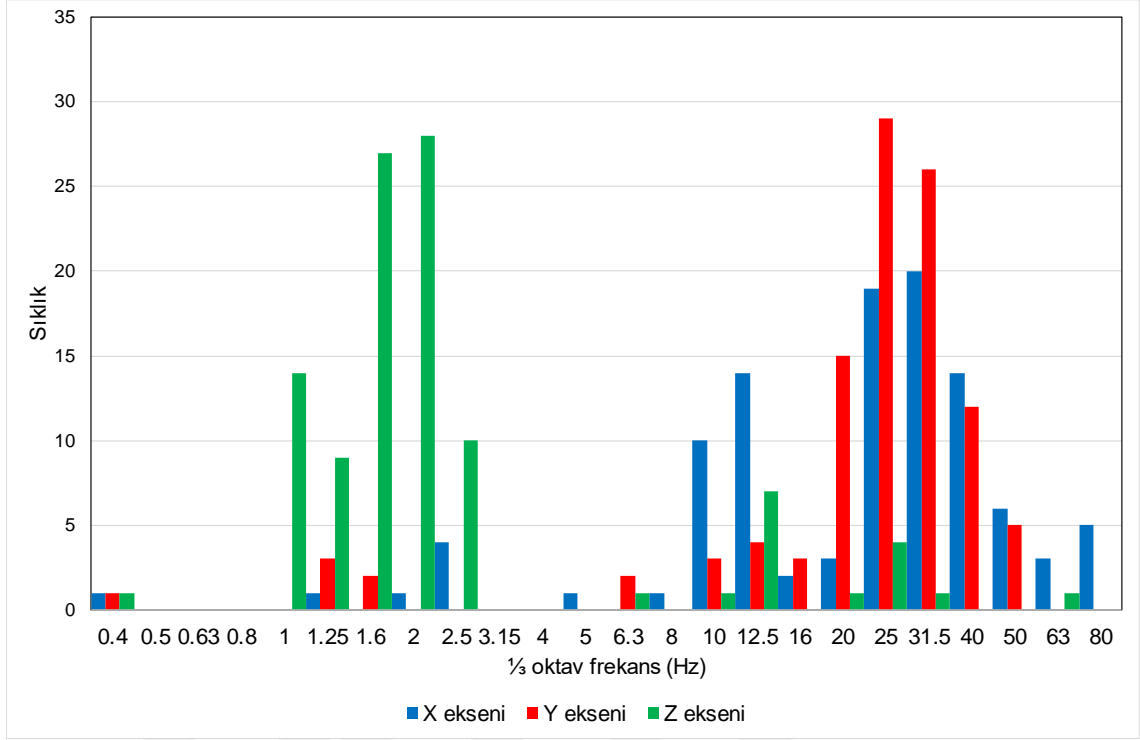
Kamyonların maruziyet eylem değerine erişim süresi ($EAV_{TT(RMS)}$), ISO 2631-1 (1997) standardına göre baskın eksen üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması (04:53:00 ± 02:50:52) sa olacak biçimde 01:27:22 sa ile 19:37:45 sa arasında değişmiştir. Diğer yandan kamyonların maruziyet sınır değerine erişim süresi ($ELV_{TT(RMS)}$), baskın eksen üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması (25:50:00 ± 15:03:52) sa olacak biçimde 07:42:09 sa ile 103:50:20 sa arasında değişmiştir. Bu durumda toplam 105 kamyonun 95 adedi 8 saatlik vardiya süresi bitmeden sürücüyü maruziyet eylem değerine ulaştıracak kadar titreşime maruz bırakırken 10 adedi bu eşiğin altında kalmaktadır. Diğer yandan kamyonların yalnızca 1 adedi vardiya bitmeden sürücüyü maruziyet sınır değerine eriştirirken, 104 adedi bu eşiğin altındadır.

Doruk faktörü, sürücülerin maruz kaldığı ani yüklem ve şokları göstermekte olup ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca doruk faktörünün 9'dan büyük olduğu durumlarda maruziyet değerlendirilmesi titreşim ivmesi ile titreşim dozu değerleri birlikte dikkate alınarak yapılmalıdır. Net kayıt evresinde operatör koltuğunda X, Y ve baskın Z ekseninde sırasıyla 51, 36 ve 70 kamyonun doruk faktörü 9'dan büyük çıkmıştır. Bu durumda özellikle Z ekseninde yapılacak değerlendirmede TVT dozunun kullanılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Ancak Mandal vd.'nin (2006) 9 kamyon üzerinde yaptıkları çalışmada tüm kamyonların doruk faktörü 4,4 - 8,2 arasında değişecek şekilde 9'dan düşük çıkmıştır.

Doruk faktörü	Seatx	Seay	Seaz
En küçük	6,359	5,263	5,982
En büyük	24,975	29,223	46,167
Ortalama	9,779	8,792	12,155
Standart sapma	3,364	2,806	6,019
≥9	51	36	70
<9	54	69	35

Kamyon sürücülerinin koltukta maruz kaldığı TVT ivmesine ait frekans spektrumu $\frac{1}{3}$ oktav bant dağılımı ile değerlendirildiğinde 0,4 Hz ile 80 Hz arasındaki merkez bant frekanslarına göre her ikisi de yatay düzlemdeki ortogonal eksenler boyunca oluşan titreşimin X ekseninde 10 Hz – 40 Hz aralığına, Y ekseninde 20 Hz – 40 Hz aralığına yoğunlaştığı görülmektedir. Diğer yandan, Z eksenini incelendiğinde baskın frekans 1 Hz – 2,5 Hz aralığındadır. Her üç eksendeki TVT ivmelerine ait baskın frekans dağılımı Şekil 4.2'de verilmiştir. Z eksenindeki baskın frekans değerlerini destekler nitelikteki sonuçlar Shervin vd. (2004) ile Smets vd. (2010) tarafından üretilirken Mansfield vd. (2009) farklı değerler sunmuşlardır. Yine, Smets vd.'nin (2010) yaptığı çalışma bulguları X ve Y eksenleri için bu çalışmanın sonuçlarını desteklemekte olup X ve Y eksenleri için baskın frekanslar 1 Hz - 1,25 Hz aralığında iken Z ekseninde baskın frekans 2 Hz - 4 Hz aralığında çıkmıştır. Village ve Morrison'da (1989) baskın frekansların X ve Y eksenlerinde 1,6 Hz - 2 Hz, Z yönünde 3,15 Hz aralığında olduğunu ifade etmiştir. Mansfield vd. (2009), Z eksenini söz konusu olduğunda genel olarak titreşim enerjisinin %1'inden azını 1 Hz'in altında bulmuşlardır. Shervin vd. (2004) en yüksek titreşim değerini Z ekseninde ölçmüş ve baskın frekans olarak 3,2 Hz bulmuşlardır.

Sürücü koltuğunun titreşim sönümlenme özelliğini gösteren koltuk etkinliği genlik geçirgenliği (SEAT) faktörü X eksenini için 0,494 ile 1,702 arasında, Y eksenini için 0,732 ile 1,600 arasında ve Z eksenini için 0,589 ile 1,286 arasında değişmiştir. Görüleceği üzere her üç ekseninde de zeminde oluşan titreşim kamyonların bir kısmında koltukta sönümlenirken, bir kısmında şiddetlenmiştir. Buna göre titreşim; X ekseninde 21 kamyonunda sönümlenirken 84 kamyonunda şiddetlenmiş, benzer biçimde Y ekseninde de 12 kamyonunda sönümlenirken 93 kamyonunda şiddetlenmiştir. Ancak Z ekseninde zeminde oluşan titreşim 75 kamyonunda koltukta sönümlenirken, 30 kamyonunda şiddetlenmiştir. Sürücü koltuğu Z ekseninde titreşim sönümlenirken, X ve Y eksenlerinde şiddetlendirmektedir.



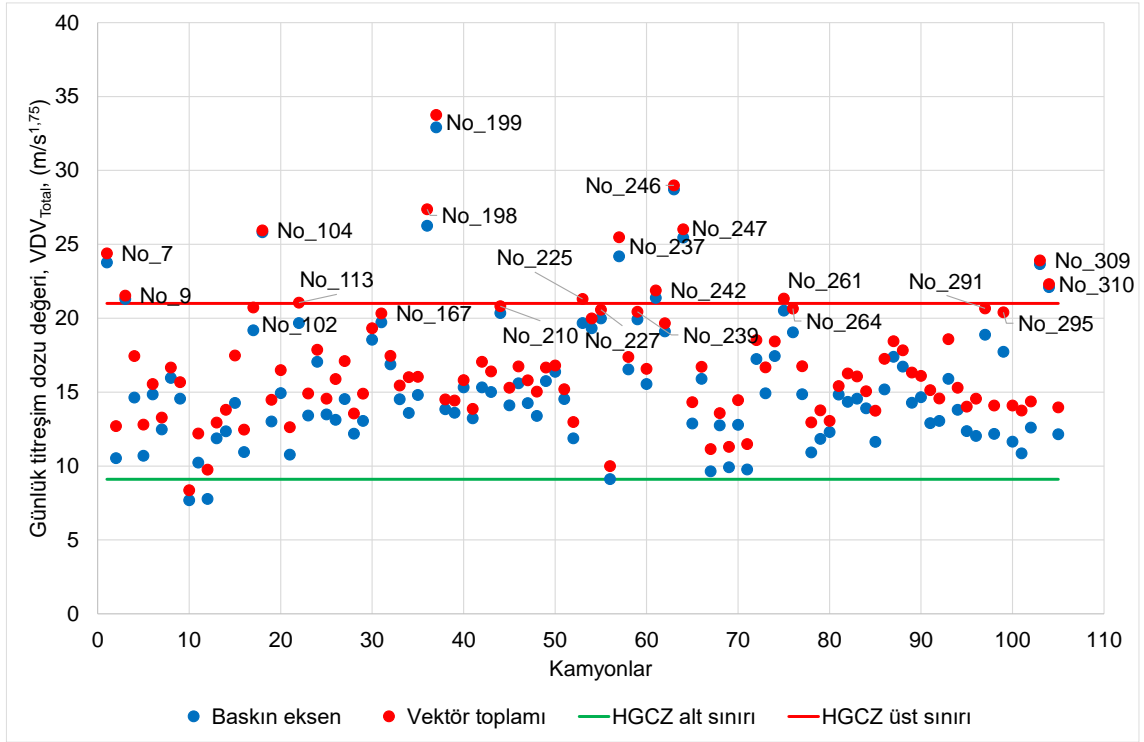
Şekil 4.2 Kamyonların A(8) değerlerinin 1/3 oktav baskın frekansları

4.2.2 Titreşim dozu üzerinden değerlendirme

Kamyonların sürücü koltuğunda ölçülen TVT dozu değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde VDV_{Total} , ortalama ve standart sapması $(15,479 \pm 4,414) m/s^{1.75}$ olacak biçimde $7,684 m/s^{1.75}$ ile $32,914 m/s^{1.75}$ arasında değişmiştir. TVT dozu değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $Vector_{1-3}$, ortalama ve standart sapması $(16,820 \pm 4,130) m/s^{1.75}$ olacak biçimde $8,366 m/s^{1.75}$ ile $33,754 m/s^{1.75}$ arasında değişmiştir. Vanerkar vd. (2008) bir açık demir işletmesindeki 60 adet damperli kamyonun ortalama TVT dozunu $10,81 \pm 3,44 m/s^{1.75}$, açık boksit madeni için ortalama $9,27 \pm 3,98 m/s^{1.75}$ olarak vermişlerdir. Mandal ve Srivastava (2010) 18 adet kamyon üzerinde yaptıkları çalışmada VDV dozunu en düşük $2,94 m/s^{1.75}$, en yüksek $12,20 m/s^{1.75}$ olarak ölçmüşlerdir. Bu 18 kamyonun VDV_{Total} değerleri $(6,05 - 25,13) m/s^{1.75}$ arasında değişmektedir. Mandal vd.'nin (2004) 9 kamyonun aldıkları ölçümlere göre VDV değerleri $(7,71 - 13,0) m/s^{1.75}$ arasında değişmiştir. Burström vd. (2015) ise çalışmalarında, VDV(8) değerinin $7 m/s^{1.75} - 17 m/s^{1.75}$ arasında değiştiğini belirtmişlerdir.

Baskın eksen 1 kamyonunda X eksen (Ch1), 5 kamyonunda Y eksen (Ch2), 99 kamyonunda ise Z eksen (Ch3) olmuştur. Tüm kamyonların baskın eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre VDV_{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması Şekil 4.3'de sunulmuştur. ELV sınırını yine kötü yol koşullarında çalışan kamyonların geçtiği görülmektedir. Titreşim ivmesi ve dozu için şekiller karşılaştırıldığında aynı kamyonlarda çalışan sürücülerin titreşim maruziyetinden en çok etkilendiği görülmektedir. Çizelge 4.3'de görüleceği üzere kamyonların BS 6841 (1987), ISO

2631-1 (1997) standartları ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, baskın eksen ölçütü dikkate alındığında araçların büyük bölümünün ELV sınırı altında, EAV bölgesi içinde olduğu görülmektedir. Vektör toplamı açısından değerlendirme yapıldığında, ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) ölçütlerine göre EAV ile ELV bölgeleri arasında önemli geçişler bulunmamaktadır. Bu da, eksenlerden birisindeki TVT dozunun, diğerlerinden önemli oranda yüksek olduğuna işaret etmektedir. Diğer yandan BS 6841 (1987) standardı uyarınca değerlendirme yapıldığında, tehlike sınırı olan $15 \text{ m/s}^{1.75}$ altındaki ve üzerindeki bölgelerdeki kamyon adetlerinin yer değiştirdiği görülmektedir. Kamyonların VDV dozu ortalaması $15 \text{ m/s}^{1.75}$ civarında olduğundan bu sonuç beklenmedik değildir.



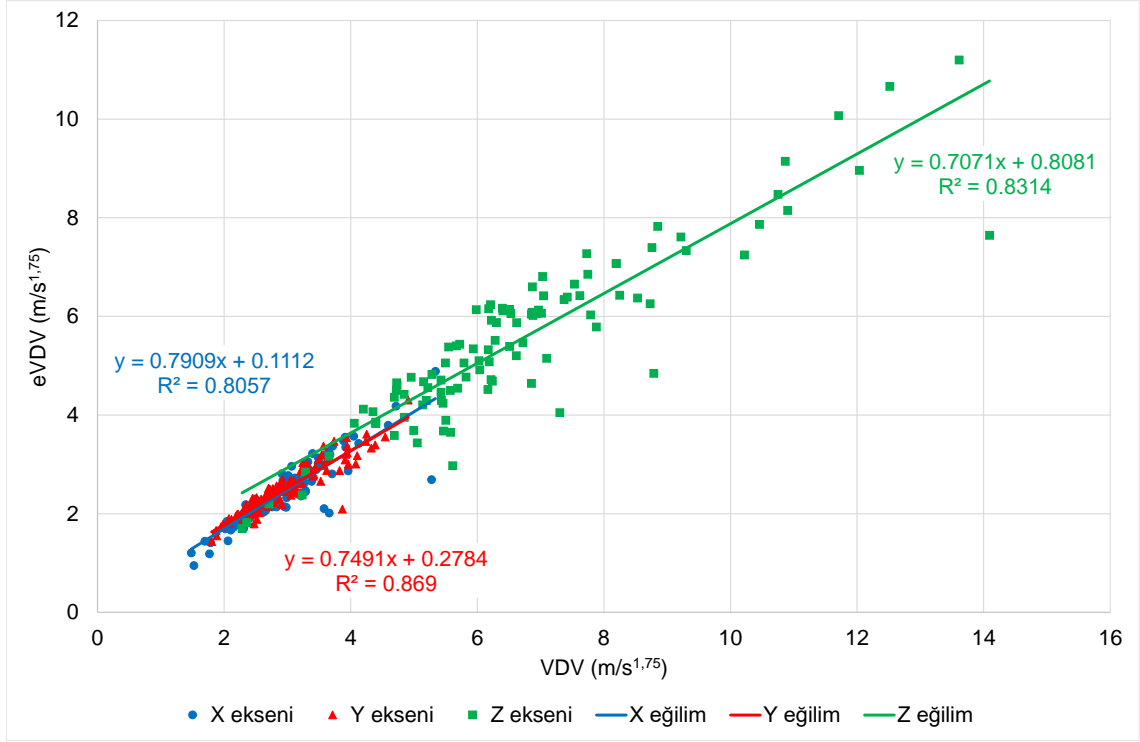
Şekil 4.3 Kamyonların VDV_{Total} değerleri

Çizelge 4.3 Kamyon sürücülerinin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi

Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)	
	EKDE	VT	EKDE	VT	EKDE	VT
EAV altında	2	1	2	1	62	38
EAV içinde	92	90	74	66	-	-
ELV üstünde	11	14	29	38	43	67

Bu çalışma kapsamında tüm kamyonlar için titreşim dozu değerleri (VDV) ölçülmüş ve kestirilen titreşim dozu değeri de (eVDV, $\text{m/s}^{1.75}$) BS 6841 (1987) standardı uyarınca hesaplanmıştır. Standartta eVDV kestirimi için verilen formülün şoklar, tekrarlı şoklar ve geçici titreşimler için uygun olmadığı ve doruk faktörünün (PEAK/RMS) ≤ 6 olduğu durumlarda doğru sonuç vereceği

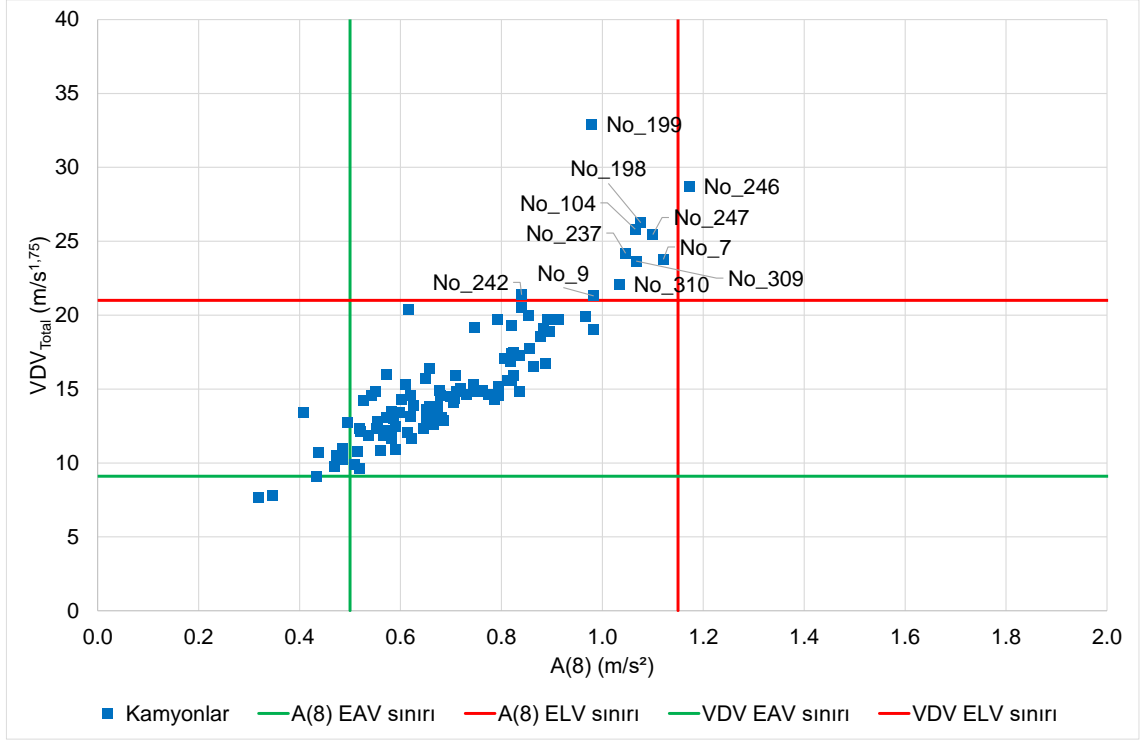
ifade edilmektedir. Çalışmada örneklenen 105 adet kamyonun X ekseninde tümünde, Y ekseninde 101 ve Z ekseninde 104 adedinde doruk faktörü 6'dan büyük çıkmıştır. Bu durum kamyon operasyonlarında şokların büyük etkisinin bulunduğunu göstermektedir. Yine de, VDV ile RMS üzerinden kestirilen eVDV arasındaki ilişkiyi göstermek amacıyla eVDV değerleri hesaplanmıştır. Sonuçta oluşan tabloda, her üç eksen için VDV – eVDV ilişkisi Şekil 4.4'de verilmiştir. Her üç veri grubu için doğrusal regresyon analizi yapılmış olup, belirlilik katsayıları %80,57 ile %86,90 arasında değişmekte ve güçlü bir ilişkiye işaret etmektedir.



Şekil 4.4 Kamyonların VDV – eVDV ilişkisi

Kamyonların maruziyet eylem değerine erişim süresi ($EAV_{TT(VDV)}$), baskın eksen üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması (01:52:01 ± 02:22:29) sa olacak biçimde 00:02:48 sa ile 15:44:15 sa arasında değişmiştir. Diğer yandan kamyonların maruziyet sınır değerine erişim süresi ($ELV_{TT(VDV)}$), baskın eksen üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması (52:56:38 ± 67:20:54) sa olacak biçimde 01:19:32 sa ile 446:19:14 sa arasında değişmiştir. Bu durumda toplam 105 kamyonun 103 adedi 8 saatlik vardiya süresi bitmeden sürücüyü maruziyet eylem değerine ulaştıracak kadar titreşime maruz bırakırken yalnızca 2 kamyon sürücüyü EAV eşliğinin altında titreşim dozu iletmektedir. Ancak ELV değerlendirildiğinde yalnızca 11 kamyon sürücüsünü vardiya bitmeden maruziyet sınır değerine ulaştırırken 94 kamyon bu sınırın altında kalmaktadır.

Kamyon sürücülerinin ISO 2631-1 (1997) (A(8)) ile (VDV_{total}) ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 4.5'de sunulmuştur. A(8) ELV sınırını aşan 1 kamyon, VDV_{total} üst sınırını aşan 11 kamyon ve her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan yalnızca 1 adet kamyon bulunmaktadır.



Şekil 4.5 Kamyon sürücülerinin A(8) – VDV_{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki

4.2.3 Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme

Bölüm 3'de belirtildiği gibi çoklu şokların bel omurgasına olumsuz sağlık etkilerinin değerlendirilmesi için ISO 2631-5 (2004) standardından yararlanılmaktadır. Titreşim sinyalindeki tepelerin sayısı ve bunların genliklerinin büyüklüğü, bel omurgası üzerinde X, Y ve Z eksenindeki ivme dozunu kestirmede kullanılmakta olup değerlendirilen veri, statik basınç dozu (S_{ed}) ve buna bağlı günlük risk faktörünün (R) hesaplanmasında kullanılmaktadır. ISO 2631-5'e (2004) göre yıl bazında belirli sayıda çalışma gününden oluşan maruziyet süresi için 0,8'in altındaki günlük risk faktörleri (R) sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığının düşük olduğunu gösterirken, 1,2'den büyük değerler yüksek etki olasılığına işaret etmektedir. Diğer yandan, ömür boyu maruziyet için 0,5 MPa'dan küçük günlük eşdeğer statik basınç dozu değeri (S_{ed}), titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi için düşük olasılığa işaret etmekte, 0,8 MPa'dan büyük bir doz ise olumsuz sağlık etkileri olasılığının yüksek olduğunu göstermektedir.

Kamyonların sürücü koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri kullanılarak hesaplanan S_{ed} değerleri ortalama ve standart sapması ($0,466 \pm 0,240$) MPa olacak biçimde 0,141 MPa ile 1,749

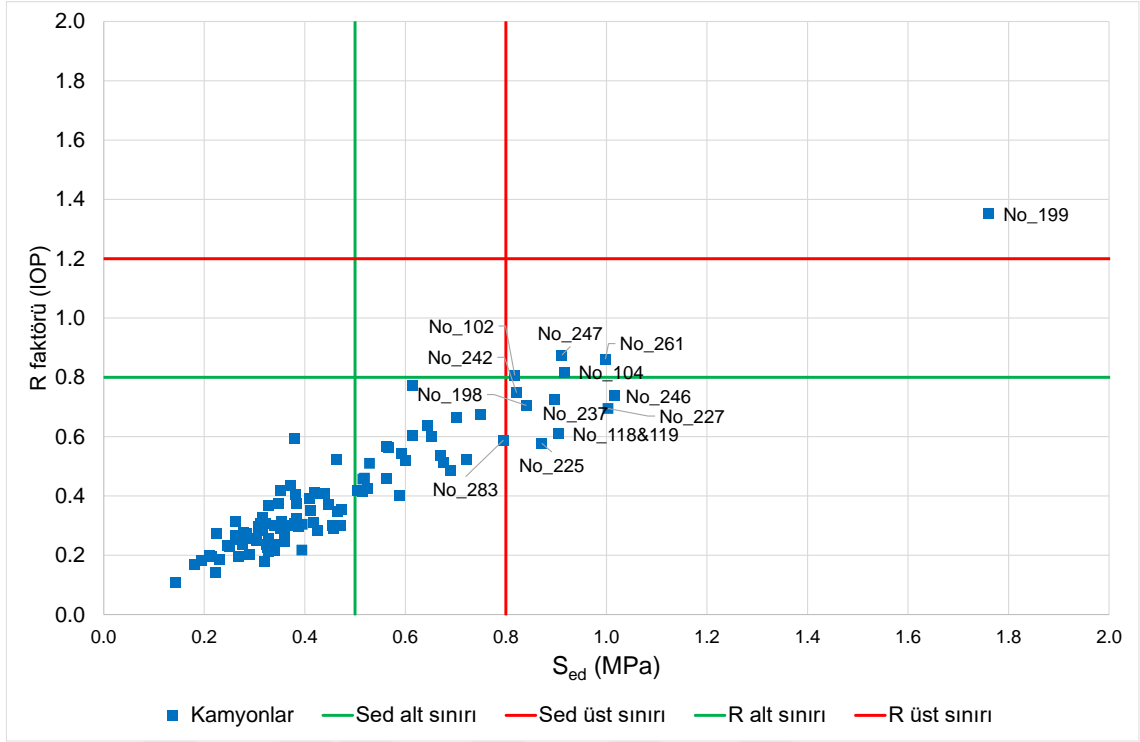
MPa arasında değişmiştir. Diğer yandan kamyon sürücülerinin R(IOP) faktörleri, ortalama ve standart sapması ($0,401 \pm 0,201$) olacak biçimde 0,109 ile 1,351 arasında, R(TOP) faktörleri ortalama ve standart sapması ($0,583 \pm 0,300$) olacak biçimde 0,177 ile 2,187 arasında değişmiştir.

Tüm kamyon sürücülerini eşdeğer statik basınç dozu değeri (S_{ed}) ölçütüne göre değerlendirildiğinde; 70 sürücü 0,5 MPa'dan düşük basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı düşük, 23 sürücü 0,5 MPa – 0,8 MPa arası basınca maruz kaldığından titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı orta ve 12 sürücü 0,8 MPa'dan yüksek basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı büyüktür.

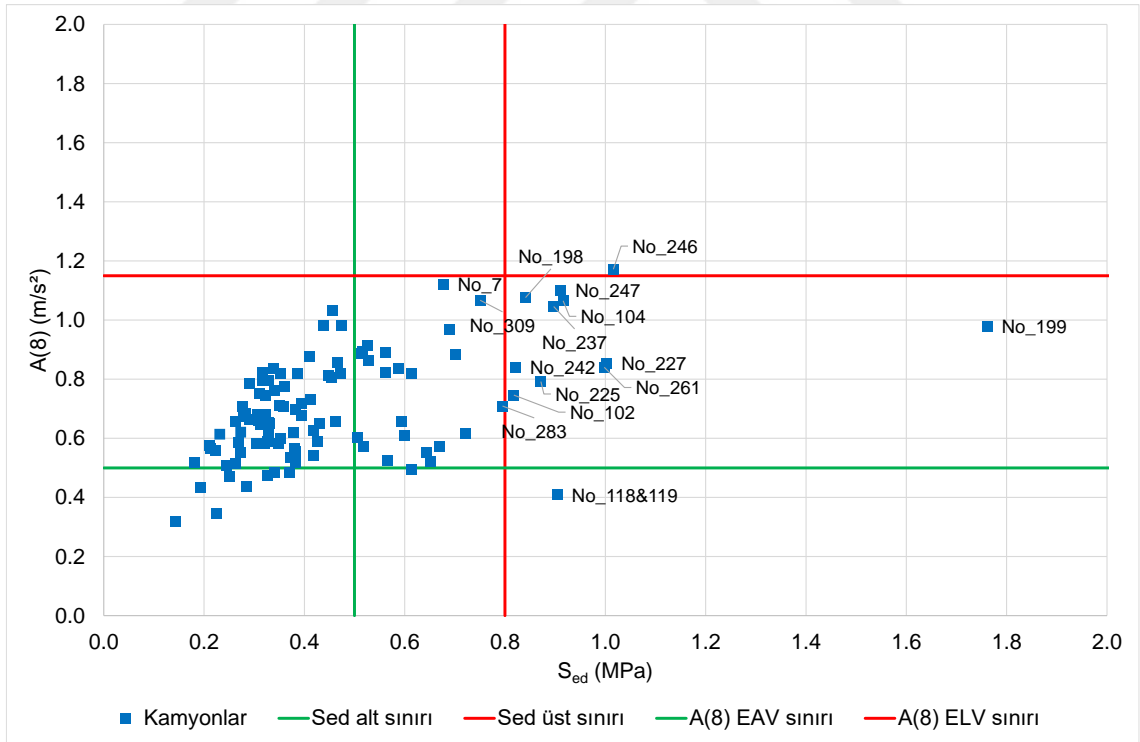
Kamyon sürücülerini günlük risk faktörü ölçütüne göre değerlendirildiğinde; 100 sürücünün R faktörü 0,8'den düşük olup sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığı düşük, 4 sürücünün R faktörü 0,8 – 1,2 arası olduğundan sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığı orta ve 1 sürücünün R faktörü 1,2'den büyük olduğundan sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığı büyüktür. Kamyon sürücülerinin her iki ölçüte göre risk sınırları ile karşılaştırılması Şekil 4.6'da sunulmuştur. Görüleceği üzere her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan yalnızca 1 adet kamyon bulunmaktadır.

Kamyon sürücülerinin ISO 2631-1 (1997) (A(8)) ile ISO 2631-5 (2004) (S_{ed}) ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 4.7'de sunulmuştur. A(8) ELV sınırını aşan 1 kamyon, S_{ed} üst sınırını aşan 12 kamyon ve her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan yalnızca 1 adet kamyon bulunmaktadır.

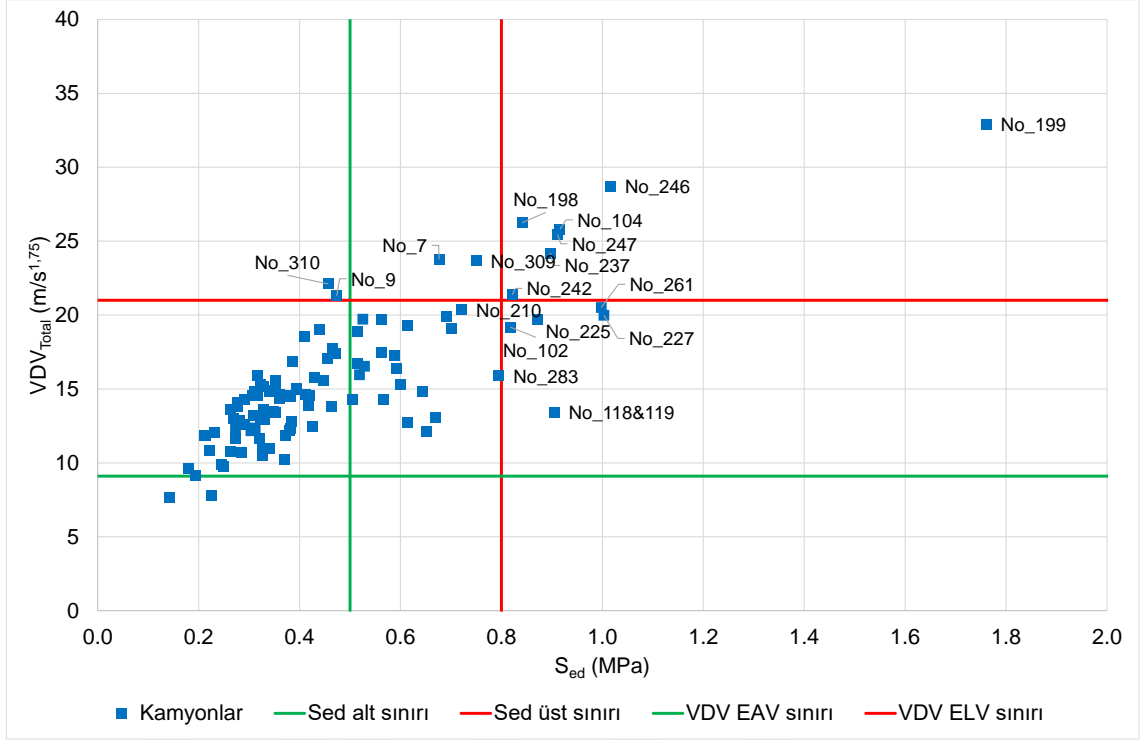
Kamyon sürücülerinin ISO 2631-1 (1997) (VDV_{Total}) ile ISO 2631-5 (2004) (S_{ed}) ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 4.8'de sunulmuştur. VDV_{Total} sınırını aşan 11 kamyon, S_{ed} üst sınırını aşan 12 kamyon ve her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan 7 adet kamyon bulunmaktadır. Şekillerde de görüleceği gibi aynı kamyonlar üst sınırları geçmiştir. Sınır değerleri geçen kamyonlar genellikle kötü yol koşullarında çalışan ve düşük tonajlı kamyonlar olduğu gözlenmektedir.



Şekil 4.6 Kamyon sürücülerinin S_{ed} – R faktörü ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki



Şekil 4.7 Kamyon sürücülerinin S_{ed} – A(8) ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki



Şekil 4.8 Kamyon sürücülerinin S_{ed} – VDV_{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki

4.3 Evrelerin Değerlendirilmesi

4.3.1 Titreşim ivmesi üzerinden tüm evrelerin değerlendirilmesi

Kamyonların sürücü koltuğunda ölçülen TVT ivmesi ile ilintili parametreler, döngüyü oluşturan yanaşma (89 kamyon), bekleme (50 kamyon), yüklenme (99 kamyon), taşıma (104 kamyon), boşaltma (99 kamyon) ve boş dönüş (102 kamyon) evreleri için net kayıt evresinde verilen kıstaslar doğrultusunda ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Tüm evrelerin $A(8)_{Seat}$, $Vector_{1-3}$, $EAV_{TT(RMS)}$ ve $ELV_{TT(RMS)}$ değerleri Çizelge 4.4'de verilmiştir. Kamyon sürücülerinin en yüksek TVT maruziyeti boş dönüş evresinde oluşmakta, bu evreyi taşıma ve yanaşma takip etmektedir. En hafif maruziyet bekleme evresinde kaydedilmiştir. Tüm kamyonların evreler bazında en kötü durum eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre $A(8)_{Seat}$ değerlerinin EAV ve ELV sınırları ile karşılaştırılması Şekil 4.9a-f'de sunulmuştur. Çalışma koşulları her işletmede farklı olduğundan her döngüde farklı sayıda kamyon bulunmaktadır.

Kamyon sürücülerinin EU 2002/44/EC direktifi ve ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca döngü evrelerinde TVT maruziyeti sonucu olumsuz sağlık riski sınıfları, en kötü durum eksen ve vektör toplamı ölçütleri üzerinden Çizelge 4.5'de verilmiştir. Bekleme evresi kaydedilen tüm kamyonlar, EAV sınırı altında titreşim üretmişlerdir. Yüklenme evresi de kamyonun diğer bir pasif evresi olduğundan sürücüye iletilen titreşim yalnızca yükleyici kepçesini kasaya boşalttığı zaman yükselmekte, evrenin kalan kısımları titreşim bakımından sükûnet içinde bulunmaktadır. Benzer görünüm boşaltma evresi için de geçerlidir. Ancak vektör toplamı daha büyük TVT ivmesi ürettiğinden, daha fazla sayıda kamyon EAV bölgesi içine geçmektedir. En kötü durum ölçütü

dikkate alındığında yanaşma, taşıma ve boş dönüş evreleri, EAV bölgesi içinde kalan TVT ivmesi ile karakterize olmaktadır. Ancak daha koruyucu sınıra sahip HGCZ bölgesi yaklaşımı ve yüksek ivme değerine eriştiren vektör toplamı ölçütleri, kamyonların yarısından büyük bölümünü ELV ve HGCZ sınırlarının üzerine taşımaktadır.

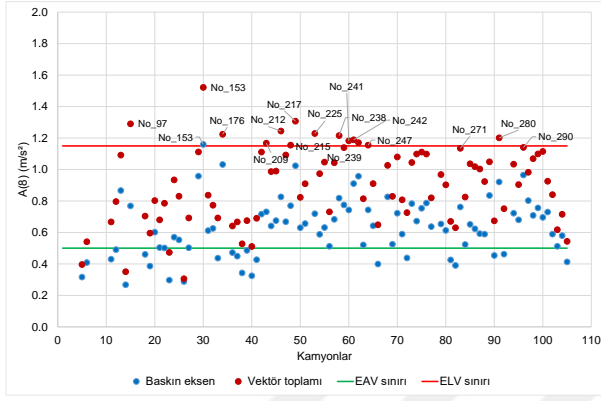
Evreler en kötü durum eksenini bakımından incelendiğinde bu eksen, yüksek TVT ivmesi kaydedilen evrelerde Z eksenini (Ch3) olmuştur. Çizelge 4.6'da tüm evreler için en yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum eksenini verilmektedir. Görüleceği üzere yüksek titreşime maruz kalınan boş dönüş ve taşıma evrelerinde EKDE, Z olmuştur. Boşaltma evresi de benzer davranış sergilemiş ve Z eksenini boyunca kaydedilen TVT ivmesi, diğer eksenlerden yüksek olmuştur. Taşıma yollarından daha yüksek yuvarlanma direncine sahip görece bozuk zemin üzerinde tumbada ya da yükleyiciye yaklaşma manevrasının yapıldığı aynada yanaşma evresindeki EKDE, yanal hareketi gösteren Y olmuştur. Düşük sürattaki kamyonların Z eksenini boyunca sürücüyeye ilettiği düşey yönlü TVT, bozuk zeminden ötürü çalkalanma hareketinin daha baskın olduğu yatay yönlü Y ekseninden düşük olmuştur. Benzer durum yüklenme evresi için de geçerlidir, durağan haldeki kamyonu döken malzemenin neden olduğu ve sürücü kabinine iletilen TVT, frenleri aktif olan kamyonu ileri-geri (X) değil, yanal ve düşey (Z) doğrultuda sarsmıştır. Diğer yandan, bekleme evresinde kamyon tamamen durağan ve motoru, düşük devirde askıda çalışırken sürücünün maruz kaldığı EKDE, Z olmuştur.

Çizelge 4.4 Kamyon döngü evrelerinde titreşim ivmesi parametreleri

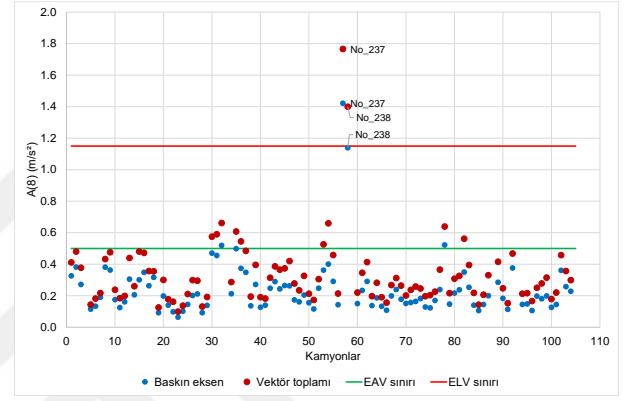
Evre	A(8) (m/s ²)				Vektör ₁₋₃ (m/s ²)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Yanaşma	0,628	0,184	0,267	1,159	0,904	0,241	0,306	1,521
Yüklenme	0,243	0,182	0,064	1,421	0,335	0,224	0,099	1,766
Taşıma	0,762	0,171	0,430	1,404	0,988	0,180	0,593	1,609
Boşaltma	0,423	0,153	0,171	1,226	0,588	0,198	0,273	1,469
Dönüş	0,862	0,251	0,398	1,552	1,147	0,271	0,546	1,914
Bekleme	0,116	0,079	0,008	0,344	0,154	0,103	0,012	0,392
	EAV _{TT(RMS)} (sa)				ELV _{TT(RMS)} (sa)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Yanaşma	06:48:41	05:01:42	01:29:20	>24	>24	>24	07:52:34	>24
Yüklenme	>24	>24	00:59:26	>24	>24	>24	05:14:23	>24
Taşıma	03:57:31	01:43:43	01:00:53	10:49:36	20:56:28	09:08:40	05:22:02	>24
Boşaltma	15:34:44	11:30:25	01:19:47	>24	>24	>24	07:02:04	>24
Dönüş	03:31:43	02:20:49	00:49:49	12:39:05	18:39:59	12:24:58	04:23:33	>24
Bekleme	>24	>24	16:51:42	>24	>24	>24	>24	>24

Doruk faktörü değerleri eksenler ve evreler bazında Çizelge 4.7'de verilmektedir. Yanaşma, taşıma, boşaltma ve boş dönüş evrelerinde tüm eksenlerde doruk faktörleri kritik eşik olan 9'dan küçük çıkmıştır. Böylece bu evrelerin, titreşim ivmesi genliğinden bağımsız olarak, sürücünün şoklara daha az maruz kaldığı sabit ve dengeli bölümlerden oluştuğu sonucuna varılmıştır. Bekleme evresi doruk faktörü bakımından kararsız yapıdadır. Toplam 50 kamyonun kayıt alınan bu evrede, sürücü koltuğunda X, Y ve en kötü durum Z ekseninde sırasıyla 24, 15 ve 24

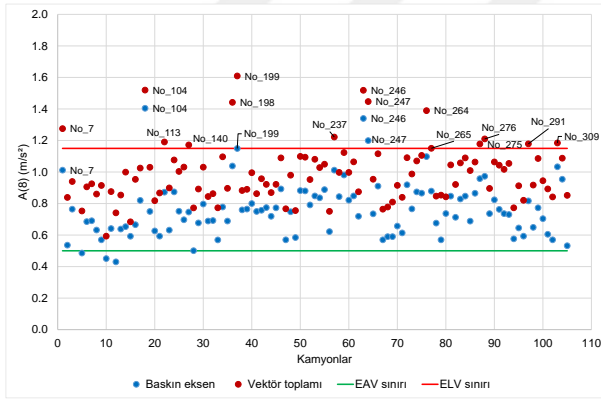
kamyonun doruk faktörü 9'dan büyük çıkmıştır. Aracın sabit, dolayısıyla titreşim maruziyetinin çok düşük olduğu bu evrede küçük sarsıntılar bile TVT ivmesi bakımından yüksek genliklere dönüştüğünden, doruk faktörü kolayca 9 üzerine çıkabilmektedir. Yükleme evresinde sürücü koltuğunda X, Y (EKDE) ve Z ekseninde sırasıyla 62, 32 ve 70 kamyonun doruk faktörü 9'dan büyük çıkmıştır. X ve Z eksenlerindeki şoklar, en yüksek titreşim ivmesi değerlerinin kaydedildiği Y'den daha fazladır. Bu durum; sürücü koltuğunun Y eksenini boyunca kararlı biçimde yüksek ivmeye maruz kalırken, X ve Y eksenlerinde yüklenme ile oluşan şoklardan sonra durağan hale daha çabuk döndüğünü göstermektedir.



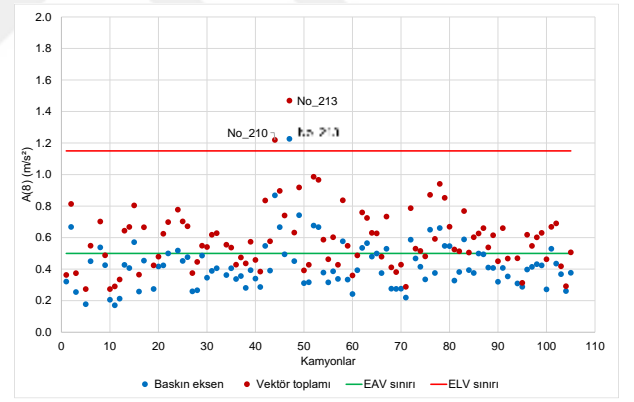
a) Yanaşma evresi



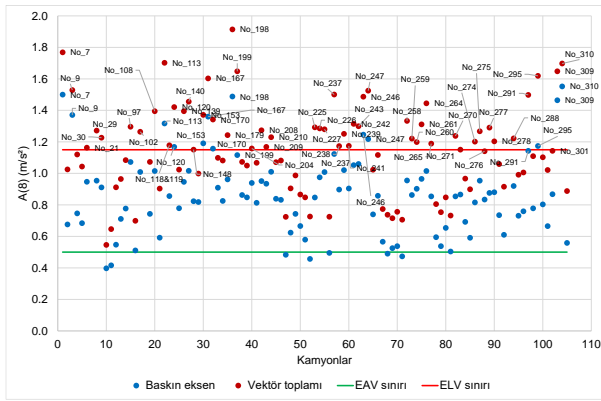
b) Yüklenme evresi



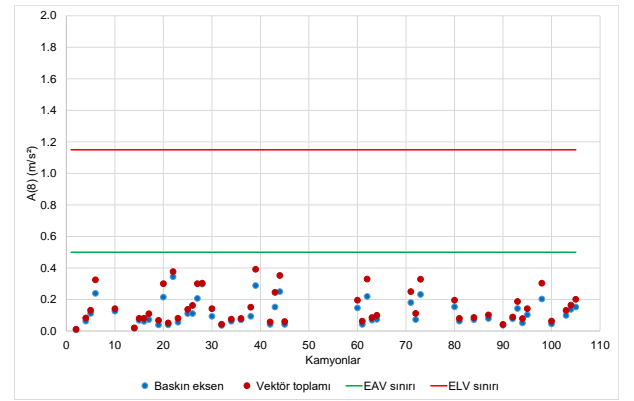
c) Taşıma evresi



d) Boşaltma evresi



e) Boş dönüş evresi



f) Bekleme evresi

Şekil 4.9 Kamyon döngü evrelerinde A(8) değerleri

Çizelge 4.5 Kamyon döngü evrelerinde sürücülerin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi

Evre	Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		Bölge	ISO2631-1 (1997) HGCZ bölgesi	
		EKDE	VT	EKDE	VT		EKDE	VT
Yanaşma	EAV altında	23	4	17	3	HGCZ altında	14	3
	EAV içinde	65	71	64	37	HGCZ içinde	66	37
	ELV üstünde	1	14	8	49	HGCZ üstünde	9	49
Yüklenme	EAV altında	95	88	92	80	HGCZ altında	92	79
	EAV içinde	3	9	5	17	HGCZ içinde	5	18
	ELV üstünde	1	2	2	2	HGCZ üstünde	2	2
Taşıma	EAV altında	3	0	1	0	HGCZ altında	1	0
	EAV içinde	98	89	88	38	HGCZ içinde	80	27
	ELV üstünde	3	15	15	66	HGCZ üstünde	23	77
Boşaltma	EAV altında	76	36	64	24	HGCZ altında	63	22
	EAV içinde	22	61	34	69	HGCZ içinde	34	69
	ELV üstünde	1	2	1	6	HGCZ üstünde	2	8
Boş dönüş	EAV altında	7	0	2	0	HGCZ altında	2	0
	EAV içinde	82	50	58	19	HGCZ içinde	54	17
	ELV üstünde	13	52	42	83	HGCZ üstünde	46	85
Bekleme	EAV altında	50	50	50	50	HGCZ altında	50	50
	EAV içinde	0	0	0	0	HGCZ içinde	0	0
	ELV üstünde	0	0	0	0	HGCZ üstünde	0	0

Çizelge 4.6 Kamyon döngü evrelerinde A(8) değerine göre en kötü durum eksenleri

Evre	Kamyon adedi		
	X (Ch1)	Y (Ch2)	Z (Ch3)
Yanaşma	19	48	22
Yüklenme	15	55	29
Taşıma	1	8	95
Boşaltma	24	21	54
Boş dönüş	-	6	96
Bekleme	9	15	26

Çizelge 4.7 Kamyon döngü evrelerinde titreşim ivmesi doruk faktörleri

Doruk faktörü	Yanaşma			Yüklenme			Taşıma		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	2,721	1,202	2,147	3,407	3,862	4,400	3,332	2,979	4,285
En büyük	15,881	9,101	14,560	33,026	18,791	31,716	20,924	16,016	19,129
Ortalama	5,749	4,818	6,941	10,683	8,475	12,984	7,210	6,841	8,450
Standart sapma	2,037	1,484	2,725	4,197	2,949	5,937	1,982	1,820	3,297
≥9	4	2	19	62	32	70	11	9	34
<9	85	87	70	37	67	29	93	95	70
Doruk faktörü	Boşaltma			Boş dönüş			Bekleme		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	3,014	2,779	3,569	4,058	3,416	4,236	2,152	2,250	2,487
En büyük	23,373	19,302	34,568	19,270	11,654	28,012	39,500	42,333	62,950
Ortalama	6,588	5,617	8,291	6,842	6,222	8,195	10,291	9,322	13,649
Standart sapma	2,662	2,028	3,889	1,757	1,567	3,654	7,612	6,929	12,908
≥9	10	3	31	4	8	26	24	15	24
<9	89	96	68	98	94	76	26	35	26

Sürücü koltuğunun titreşim sönmüleme özelliğini gösteren koltuk etkinliği genlik geçirgenliği (SEAT) faktörü evreler bazındaki değerleri Çizelge 4.8'de verilmiştir. Görüleceği üzere her üç

eksende de zeminde oluşan titreşim kamyonların bir kısmında koltukta sönümlenirken, bir kısmında şiddetlenmiştir. Zemindeki titreşim, tüm evrelerde X ve Y eksenlerinde koltukta şiddetlenme eğilimi gösterirken, sönümlenme ve şiddetlendirme sayıları birbirine yakın olan yanaşma ve boşaltma evreleri haricinde Z ekseninde sönümlenmektedir. Tüm kamyonlarda sürücü koltuğunun Y eksenindeki sönümlenme kapasitesi neredeyse bulunmayıp, kayıt alınan kamyonların kayda değer bölümünde titreşim, koltukta şiddetlenmiştir. X ekseninde de benzer davranış göstermekle birlikte sönümlenme/şiddetlendirme oranı, Y ekseninden daha düşüktür.

Çizelge 4.8 Kamyon döngü evrelerinde titreşim ivmesi SEAT faktörleri

SEAT faktörü	Yanaşma			Yüklenme			Taşıma		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	0,527	0,494	0,654	0,187	0,504	0,250	0,394	0,661	0,565
En büyük	3,903	4,064	1,426	2,550	2,273	1,883	2,438	1,503	1,281
<1	25	9	40	24	9	51	15	21	79
≥1	64	80	49	75	90	48	89	83	25
SEAT faktörü	Boşaltma			Boş dönüş			Bekleme		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	0,533	0,814	0,404	0,406	0,719	0,583	0,450	0,833	0,138
En büyük	1,621	1,905	1,885	1,564	1,795	1,446	7,636	22,364	3,880
<1	45	10	49	37	10	70	20	5	27
≥1	54	89	50	65	92	32	30	45	23

4.3.2 Titreşim dozu üzerinden tüm evrelerin değerlendirilmesi

Kamyonların sürücü koltuğunda ölçülen TVT dozu değerleri baskın eksen (EKDE) üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde VDV_{Total} , maruziyet eylem değerine erişim süresi ($EAV_{TT(VDV)}$) ve maruziyet sınır değerine erişim süresi ($ELV_{TT(VDV)}$) değerleri tüm evreler için hesaplanmış ve Çizelge 4.9'da verilmiştir. Sürücülerin koltukta maruz kaldığı en yüksek titreşim dozu boş dönüş evresinde olurken bunu taşıma, yanaşma ve boşaltma evreleri izlemektedir. En düşük titreşim dozu maruziyeti yüklenme ve bekleme evrelerinde meydana gelmektedir. Tüm kamyonların evreler bazında EKDE ve VT ölçütlerine göre VDV_{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması Şekil 4.10a-f'de sunulmuştur.

Kamyonların titreşim dozu değerleri BS 6841 (1987), ISO 2631-1 (1997) standartları ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) uyarınca EAV ve ELV sınırları açısından Çizelge 4.10'da incelenmiştir. EKDE ölçütü dikkate alındığında yüksek titreşim dozu kaydedilen boş dönüş, taşıma, yanaşma ve boşaltma evrelerinde araçların büyük bölümünün EAV bölgesi içinde; yüklenme ve boşaltma evrelerinde ise EAV sınırı altında olduğu görülmektedir. VT açısından değerlendirme yapıldığında, ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) ölçütlerine göre EAV ile ELV bölgeleri arasında önemli geçişler bulunmamaktadır. Bu da, eksenlerden birisinde kaydedilen TVT dozunun, diğer iki eksenden önemli oranda büyük olduğuna işaret etmektedir. Diğer yandan BS 6841 (1987) standardı uyarınca değerlendirme yapıldığında tehlike sınırı olan $15 \text{ m/s}^{1,75}$ altındaki ve üzerindeki bölgelerdeki kamyon adetlerinin yer değiştirdiği görülmektedir. Boş dönüş ve taşıma evreleri dışındaki diğer evrelerde kamyonların

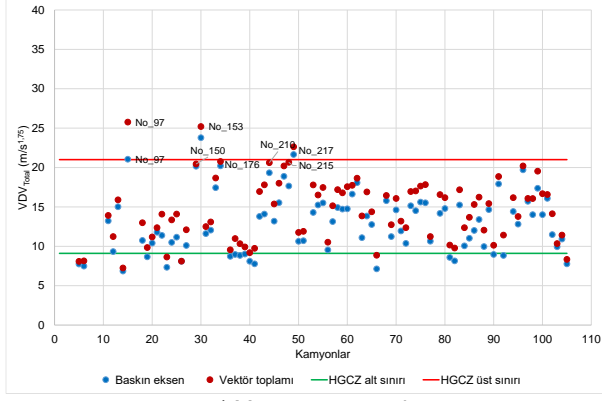
büyük çoğunluğu 8 saatlik vardiya süresi bitmeden sürücüyü maruziyet eylem değerine ulaştırarak kadar titreşime maruz bırakıp, az sayıda sürücüyü ELV sınırına ulaştırırken bu iki evrede önemli sayıda sürücünün TVT dozu maruziyeti vardiya bitmeden maruziyet sınır değerine erişmektedir.

Çizelge 4.9 Kamyon döngü evrelerinde titreşim dozu parametreleri

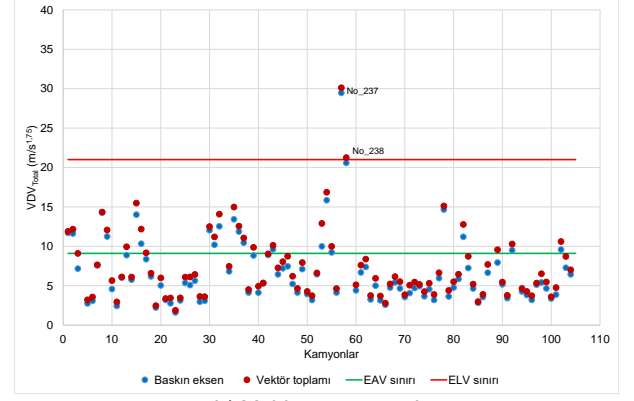
Evre	VDV _{Total} (m/s ^{1,75})				Vektör ₁₋₃ (m/s ^{1,75})			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Yanaşma	12,949	3,766	6,865	23,781	14,596	3,963	7,248	>24
Yüklenme	6,721	4,194	1,616	>24	7,438	4,344	1,883	>24
Taşıma	15,241	4,423	7,816	>24	16,287	4,199	10,141	>24
Boşaltma	10,450	3,728	3,988	>24	11,359	3,678	5,087	>24
Dönüş	17,252	5,742	7,897	>24	18,645	5,504	8,651	>24
Bekleme	3,389	3,005	0,490	15,596	3,605	3,105	0,544	15,840
	EAV _{TT(VDV)} (sa)				ELV _{TT(VDV)} (sa)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Yanaşma	04:22:38	05:09:17	00:10:17	>24	>24	>24	04:51:52	>24
Yüklenme	>24	>24	00:04:22	>24	>24	>24	02:03:50	>24
Taşıma	01:49:14	01:53:19	00:02:00	14:42:05	>24	>24	00:56:56	>24
Boşaltma	14:15:02	>24	00:06:38	>24	>24	>24	03:07:57	>24
Dönüş	01:39:11	02:16:30	00:02:06	14:06:14	>24	>24	00:59:30	>24
Bekleme	>24	>24	00:55:38	>24	>24	>24	26:11:34	>24

Çizelge 4.10 Kamyon döngü evrelerinde sürücülerin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski

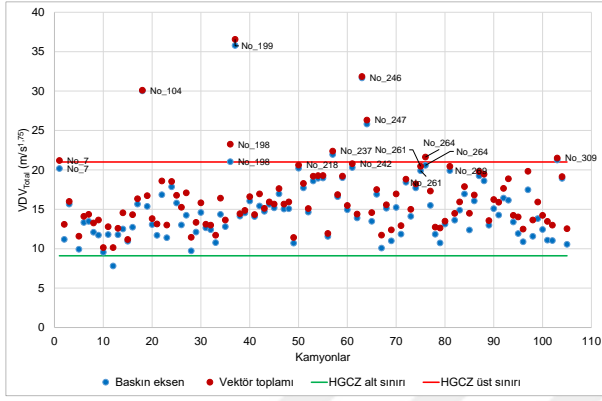
Evre	Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)	
		EKDE	VT	EKDE	VT	EKDE	VT
Yanaşma	EAV altında	18	7	10	5	64	45
	EAV içinde	68	79	66	60	-	-
	ELV üstünde	3	3	13	24	25	44
Yüklenme	EAV altında	77	72	74	68	96	94
	EAV içinde	21	25	23	29	-	-
	ELV üstünde	2	2	2	2	3	5
Taşıma	EAV altında	1	0	1	0	57	47
	EAV içinde	96	95	78	71	-	-
	ELV üstünde	7	9	25	33	47	57
Boşaltma	EAV altında	28	29	31	24	89	85
	EAV içinde	58	67	65	71	-	-
	ELV üstünde	3	3	3	4	10	14
Boş dönüş	EAV altında	2	1	1	0	41	27
	EAV içinde	75	70	59	45	-	-
	ELV üstünde	25	31	42	57	61	75
Bekleme	EAV altında	48	47	46	45	49	45
	EAV içinde	2	3	4	5	-	-
	ELV üstünde	-	-	-	-	1	5



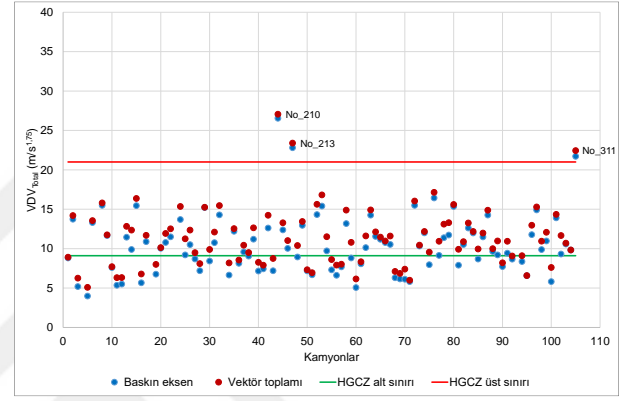
a) Yanaşma evresi



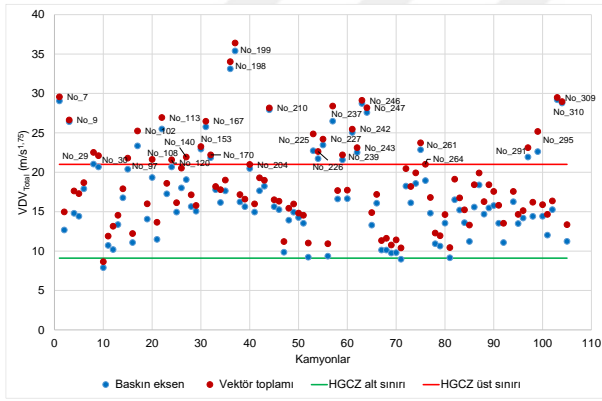
b) Yükleme evresi



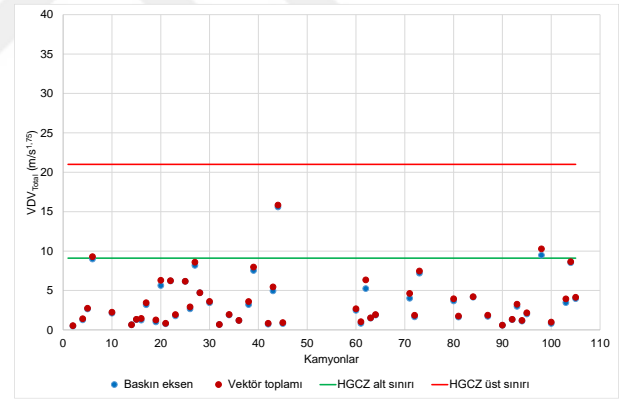
c) Taşıma evresi



d) Boşaltma evresi



e) Boş dönüş evresi



f) Bekleme evresi

Şekil 4.10 Kamyon döngü evrelerinde VDV_{Total} değerleri

Evreler en yüksek titreşim dozu kaydedilen en kötü durum eksenı bakımından değerlendirildiğinde, sürücülerin yüksek TVT dozuna maruz kaldığı boş dönüş, taşıma ve boşaltma gibi evrelerde EKDE, Z (Ch3) olmuştur. Daha düşük TVT dozuna maruz kalınan yanaşma ve yükleme evrelerinde ise EKDE Y (Ch2) olmuştur (Çizelge 4.11).

Kamyon sürücülerinin maruz kaldığı TVT dozunun kestirilen karşılığı $eVDV$, ($m/s^{1.75}$) BS 6841 (1987) standardı uyarınca hesaplanmıştır. Standartta $eVDV$ kestirimi için verilen formülün şoklar, tekrarlı şoklar ve geçici titreşimler için uygun olmadığı ve doruk faktörünün (PEAK/RMS) ≤ 6 olduğu durumlarda doğru sonuç vereceği ifade edilmekle birlikte, tüm evreler için $VDV - eVDV$

ilişkisi eksenler bazında Şekil 4.11a-f'de verilmiştir. Doruk faktörlerinin Çizelge 4.12'de verildiği her üç veri gurubu için doğrusal regresyon analizi yapılmış olup, belirlilik katsayıları (R^2) %71 ile %96 arasında değişmekte ve doruk faktörünün 6'dan büyük olduğu evreler için de VDV – eVDV ilişkisi arasında güçlü bir ilişki işaret etmektedir.

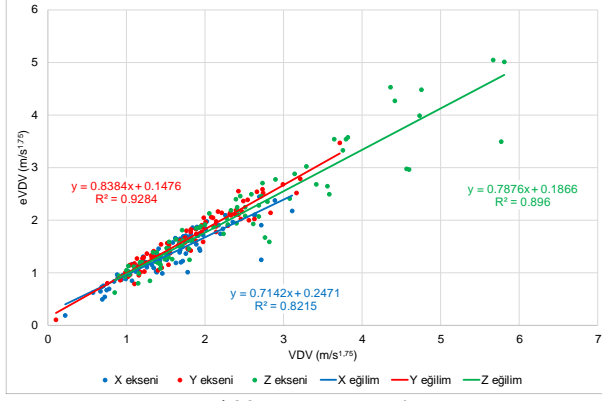
Çizelge 4.11 Kamyon döngü evrelerinde VDV_{Total} değerine göre en kötü durum eksenleri

Evre	Kamyon adedi		
	X (Ch1)	Y (Ch2)	Z (Ch3)
Yanaşma	20	41	28
Yüklenme	21	51	27
Taşıma	-	8	96
Boşaltma	27	17	55
Boş dönüş	1	7	94
Bekleme	9	17	24

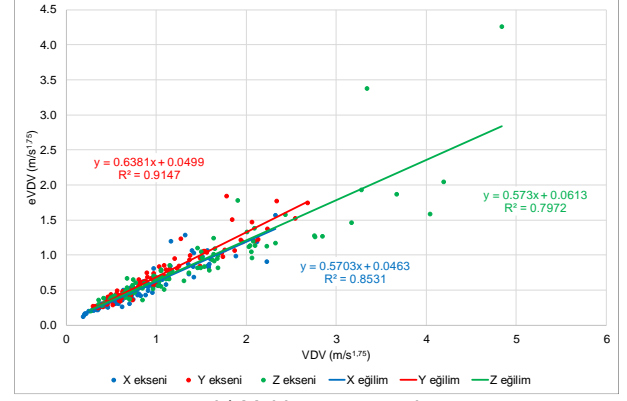
Çizelge 4.12 Kamyon döngü evrelerinde titreşim dozu doruk faktörleri

Doruk faktörü	Yanaşma			Yüklenme			Taşıma		
	VDV _x	VDV _y	VDV _z	VDV _x	VDV _y	VDV _z	VDV _x	VDV _y	VDV _z
≥6	36	15	44	93	85	96	77	70	77
<6	53	74	45	6	14	3	27	34	27
R ²	0,82	0,93	0,90	0,85	0,91	0,80	0,96	0,90	0,90
Doruk faktörü	Boşaltma			Boş dönüş			Bekleme		
	VDV _x	VDV _y	VDV _z	VDV _x	VDV _y	VDV _z	VDV _x	VDV _y	VDV _z
≥6	50	32	75	75	51	75	33	36	36
<6	49	67	24	27	51	27	17	14	14
R ²	0,78	0,92	0,71	0,89	0,94	0,90	0,84	0,84	0,77

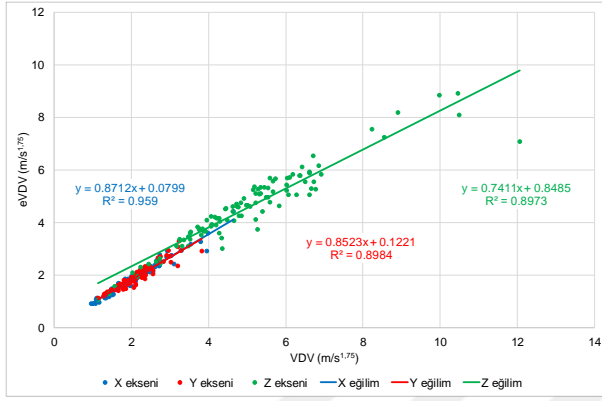
Kamyon sürücülerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile VDV_{Total} ölçütlerine evrelere göre birlikte karşılaştırılması Şekil 4.12a-f'de sunulmuştur. Yanaşma evresinde A(8) ELV sınırını aşan 1 kamyon, VDV_{total} üst sınırını aşan 3 kamyon ve her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan yalnızca 1 adet kamyon bulunmaktadır. Bekleme evresinde ölçüm alınan kamyonların hepsi A(8) EAV alt sınırının, VDV_{total} üst sınırının altında kalırken; VDV_{total} alt sınırını sadece 5 kamyon aşmıştır. Yüklenme manevrasında A(8) ELV sınırını aşan 1 kamyon, VDV_{total} üst sınırını aşan 1 kamyon ve her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan yalnızca 1 adet kamyon bulunmaktadır. Taşıma da A(8) ELV sınırını aşan 3 kamyon, VDV_{total} üst sınırını aşan 7 kamyon ve her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan yalnızca 4 adet kamyon bulunmaktadır. Boşaltma da A(8) ELV sınırını aşan 1 kamyon, VDV_{total} üst sınırını aşan 3 kamyon ve her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan yalnızca 1 adet kamyon bulunmaktadır. Boş dönüş manevrasında ise A(8) ELV sınırını aşan 13 kamyon, VDV_{total} üst sınırını aşan 25 kamyon ve her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan yalnızca 11 adet kamyon bulunmaktadır.



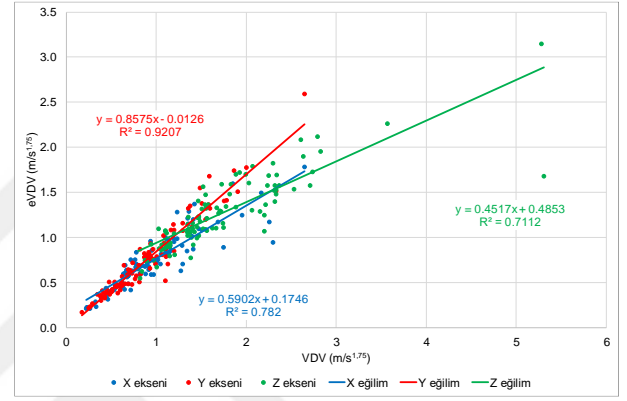
a) Yanaşma evresi



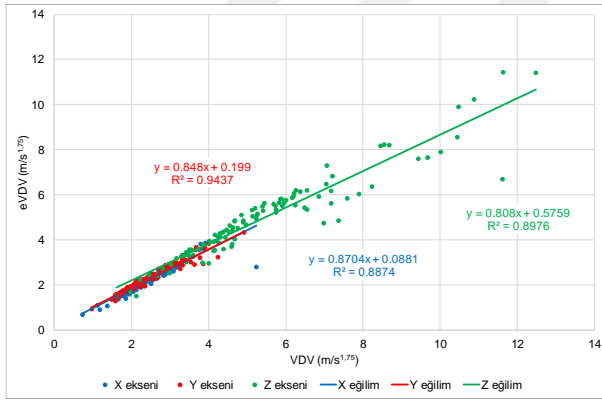
b) Yüklenme evresi



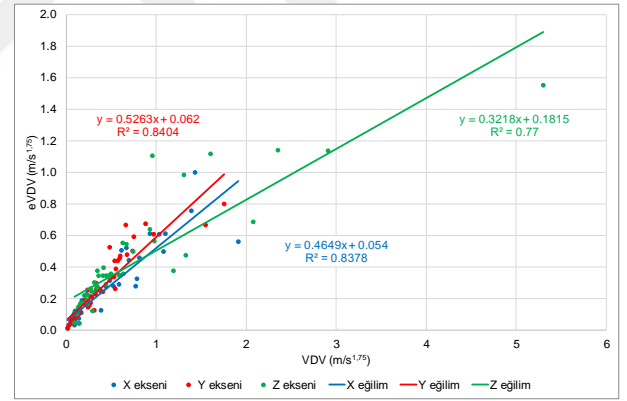
c) Taşıma evresi



d) Boşaltma evresi

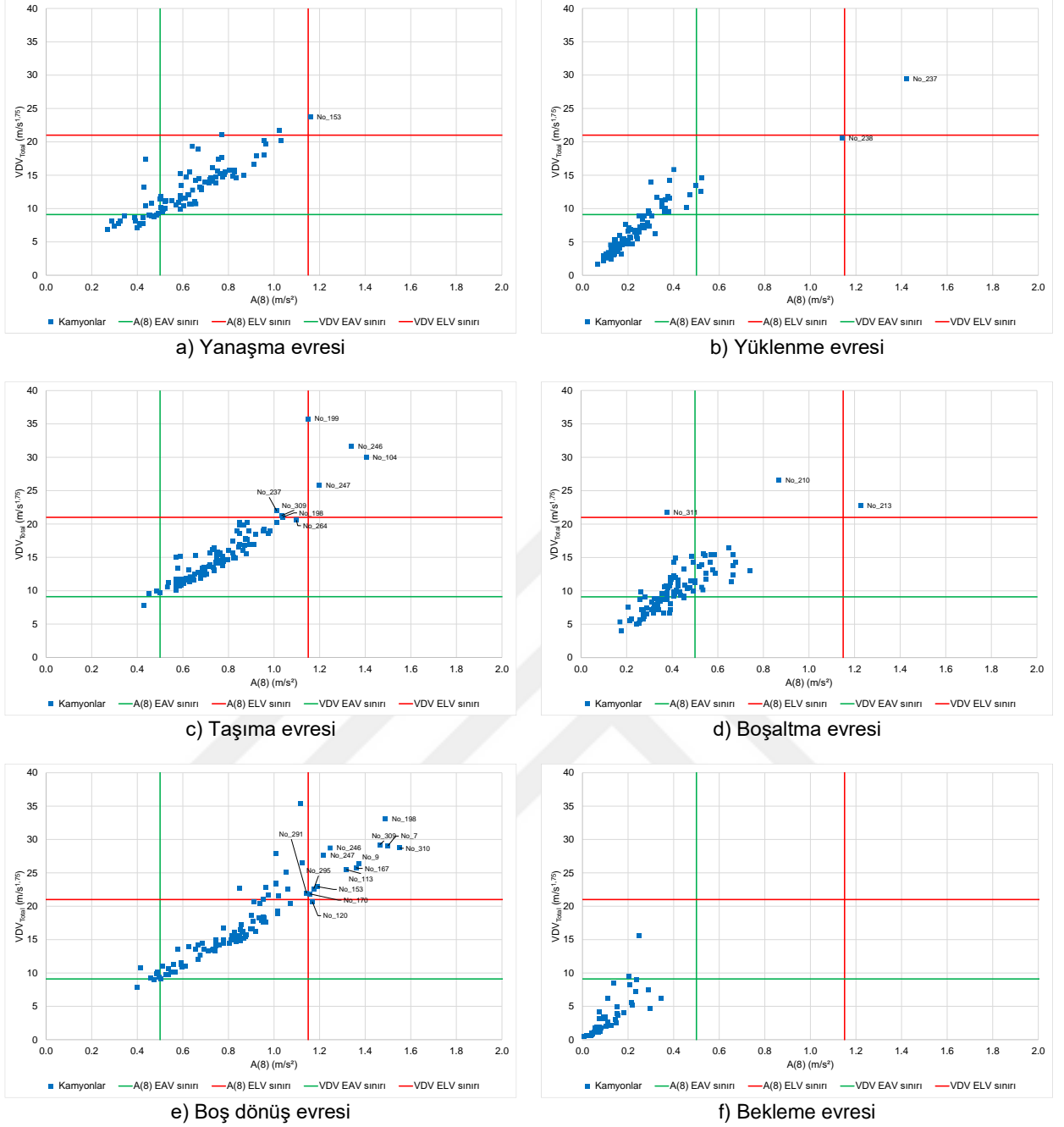


e) Boş dönüş evresi



f) Bekleme evresi

Şekil 4.11 Kamyon döngü evrelerinde VDV – eVDV ilişkisi



Şekil 4.12 Kamyon döngü evrelerinde sürücülerin $A(8)$ – VDV_{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki

4.3.3 Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden tüm evrelerin değerlendirilmesi

Kamyonların evreler bazında sürücü koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri kullanılarak hesaplanan S_{ed} değerlerinin ortalama ve standart sapması ile sürücülerin $R(IOP)$ ve $R(TOP)$ faktörlerinin ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.13’de verilmektedir. En büyük S_{ed} değeri boş dönüş ve taşıma evresinde hesaplanmıştır.

Tüm kamyon sürücülerinin eşdeğer statik basınç dozu değeri (S_{ed}) ve R faktörü ölçütlerine göre olumsuz sağlık riski değerlendirmesi Çizelge 4.14’de sunulmaktadır. Boş dönüş evresinde 14

sürücü 0,8 MPa'dan yüksek basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı büyüktür. Diğer evrelerde sürücülerin hemen tümü 0,5 MPa'dan düşük basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı düşüktür. Ancak taşıma ve boş dönüş evrelerinde 25 ve 17 sürücü 0,5 MPa – 0,8 MPa arası basınca maruz kaldığından titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı orta düzeydedir. Diğer yandan sürücüler, risk faktörü (R) ölçütüne göre değerlendirildiğinde boş dönüş manevrası hariç diğer tüm manevralarda 1,2'den yüksek baskıya maruz kalan sürücü bulunmamaktadır. Tüm manevralarda sürücülerin büyük bir çoğunluğu 0,8'den düşük baskıya maruz kalmaktadır.

Çizelge 4.13 Kamyon döngü evrelerinde sürücülerin S_{ed} ve R faktörleri

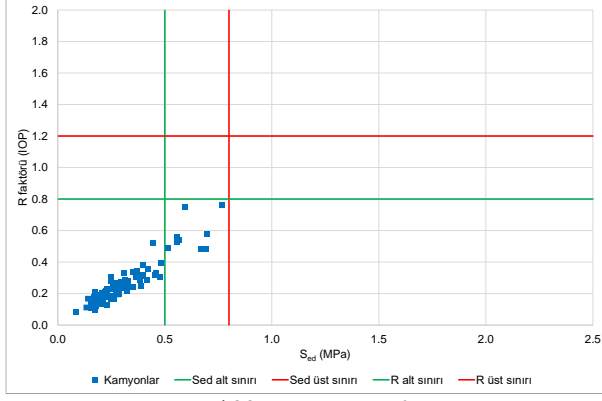
Evre	S_{ed} (MPa)				R(IOP) faktör				R(TOP) faktör			
	Ort.	Std. sapma	En küçük	En büyük	Ort.	Std. sapma	En küçük	En büyük	Ort.	Std. sapma	En küçük	En büyük
Yanaşma	0,300	0,140	0,086	0,761	0,259	0,133	0,082	0,765	0,375	0,175	0,107	0,952
Yüklenme	0,201	0,155	0,041	1,024	0,176	0,142	0,028	0,853	0,251	0,194	0,052	1,280
Taşıma	0,426	0,216	0,142	1,294	0,369	0,192	0,118	1,000	0,533	0,270	0,178	1,619
Boşaltma	0,297	0,159	0,098	1,122	0,260	0,144	0,084	0,981	0,372	0,198	0,123	1,403
Dönüş	0,482	0,289	0,134	2,088	0,413	0,235	0,103	1,613	0,602	0,362	0,168	2,612
Bekleme	0,100	0,128	0,012	0,793	0,088	0,110	0,008	0,580	0,126	0,161	0,015	0,992

Çizelge 4.14 Kamyon döngü evrelerinde sürücülerin S_{ed} ve R faktörüne göre sağlık riski

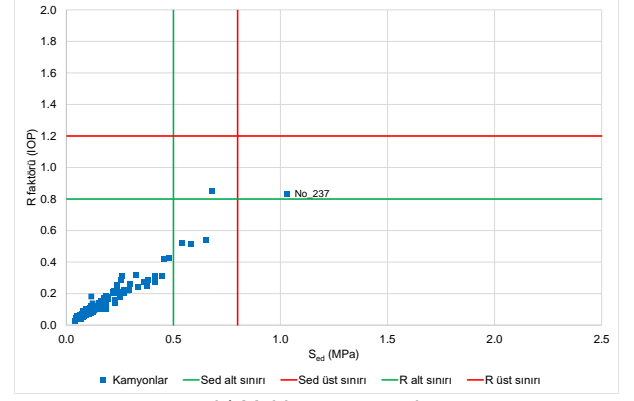
Evre	S_{ed} (MPa)		
	<0,5	0,5 – 0,8	>0,8
Yanaşma	80	9	-
Yüklenme	94	4	1
Taşıma	73	25	6
Boşaltma	93	4	2
Boş dönüş	71	17	14
Bekleme	49	1	-

Evre	R faktörü		
	<0,8	0,8 – 1,2	>1,2
Yanaşma	89	-	-
Yüklenme	97	2	-
Taşıma	99	5	-
Boşaltma	97	2	-
Boş dönüş	92	9	1
Bekleme	50	-	-

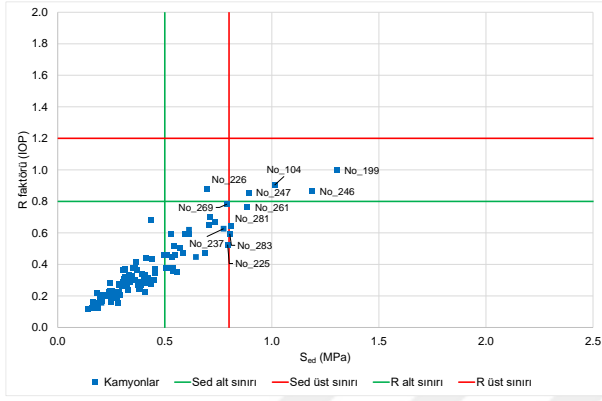
Kamyon sürücülerinin her iki ölçüte göre risk sınırları ile karşılaştırılması Şekil 4.13a-f'de sunulmuştur. Kamyon sürücülerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 4.14a-f'de; ISO 2631-1 (1997) VDV_{Total} ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 4.15a-f'de sunulmuştur.



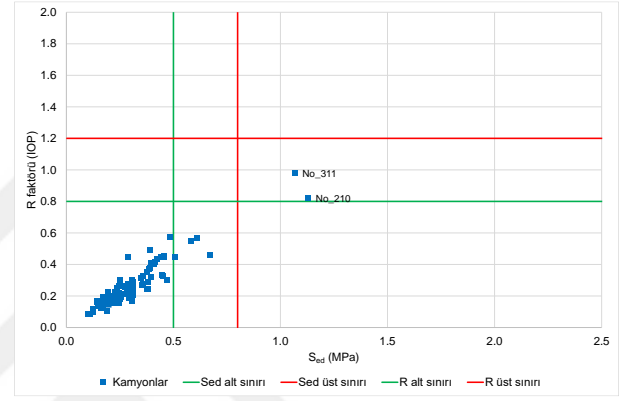
a) Yanaşma evresi



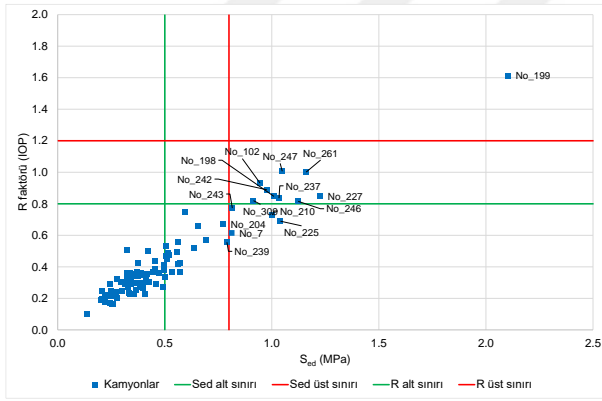
b) Yüklenme evresi



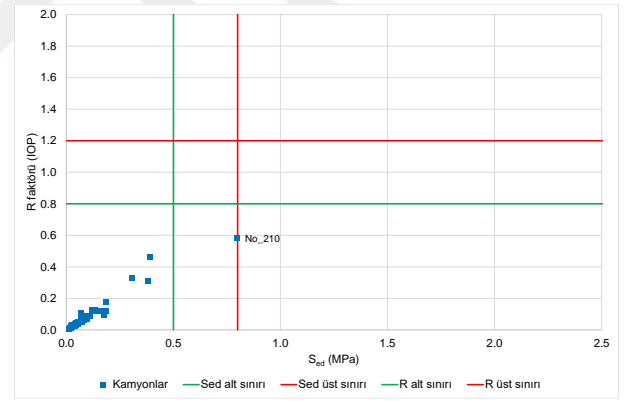
c) Taşıma evresi



d) Boşaltma evresi

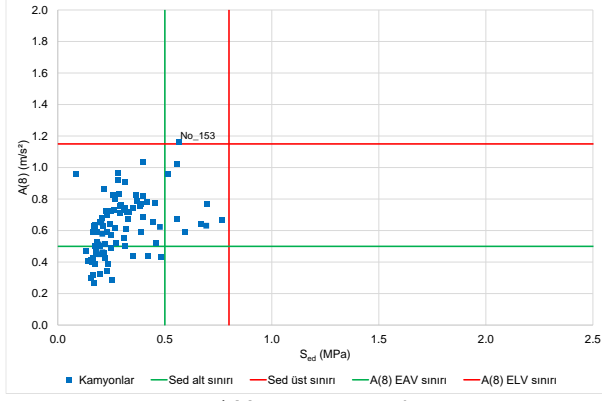


e) Boş dönüş evresi

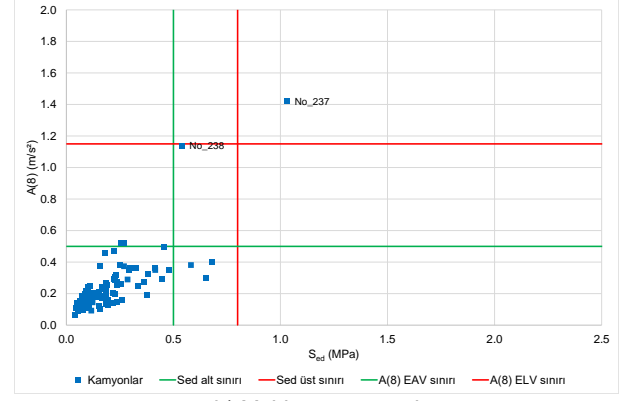


f) Bekleme evresi

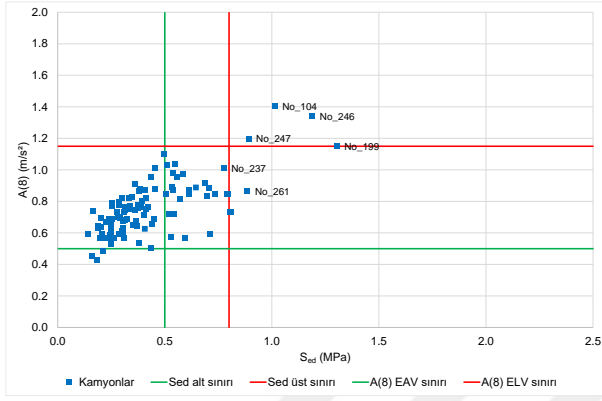
Şekil 4.13 Kamyon döngü evrelerinde sürücülerin S_{ed} – R faktörü ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki



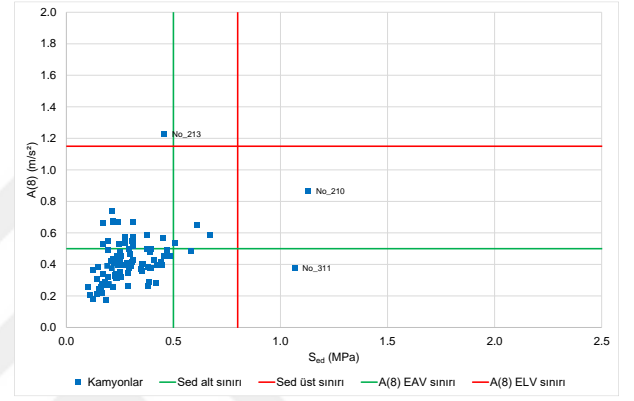
a) Yanaşma evresi



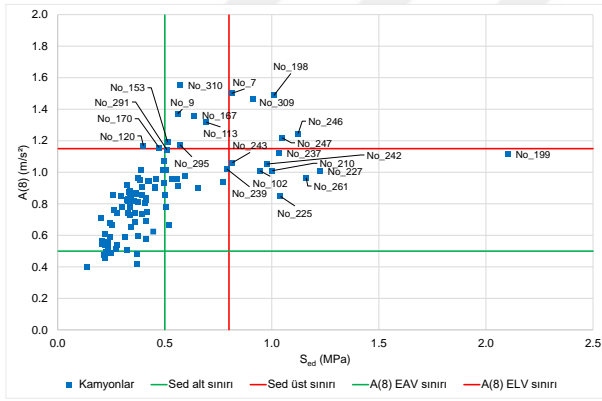
b) Yüklenme evresi



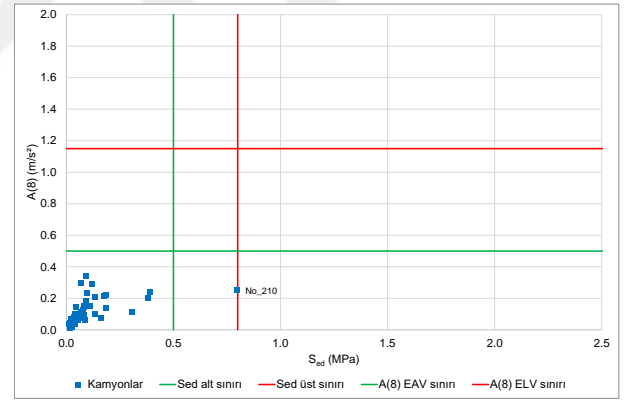
c) Taşıma evresi



d) Boşaltma evresi

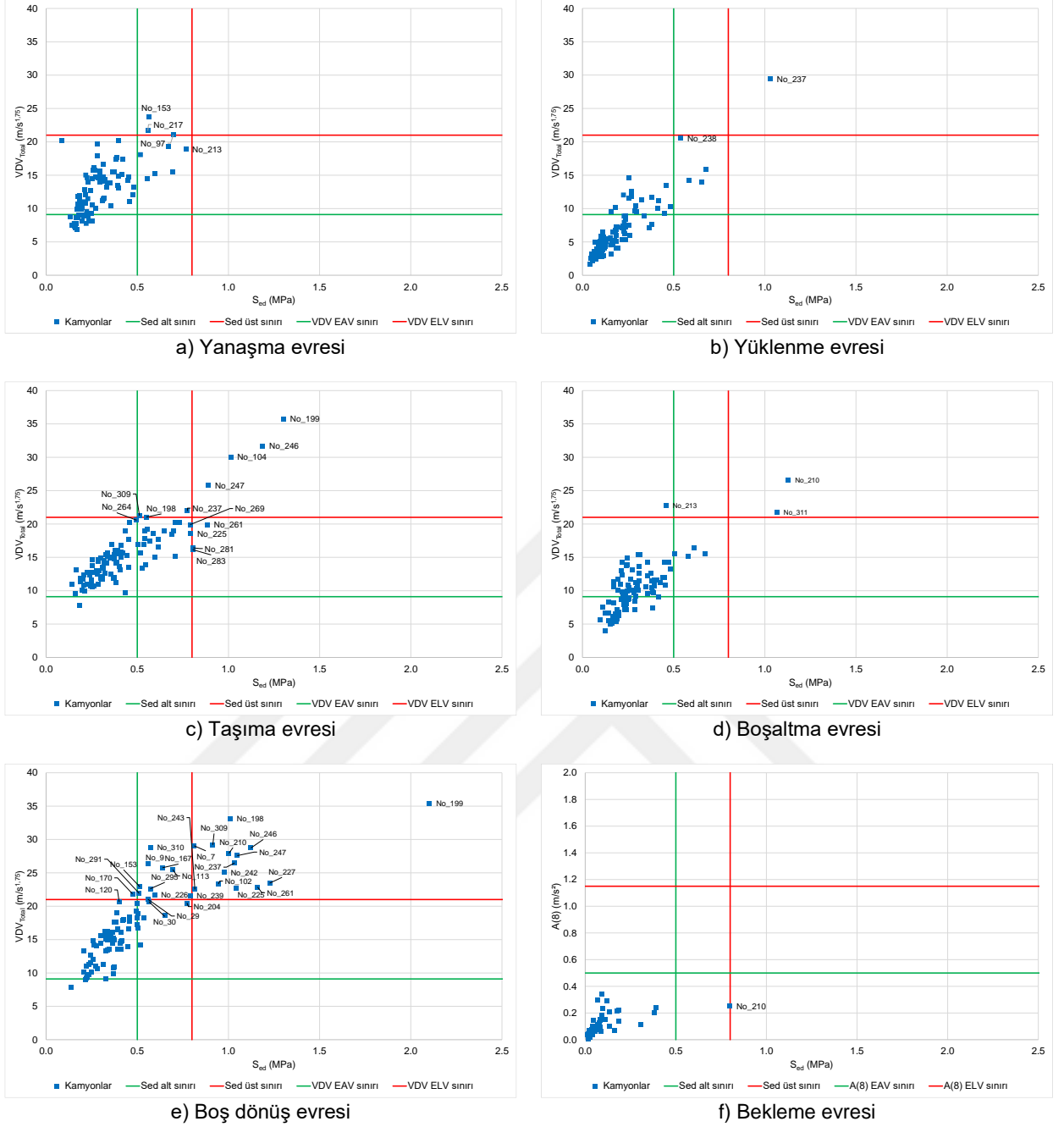


e) Boş dönüş evresi



f) Bekleme evresi

Şekil 4.14 Kamyon döngü evrelerinde sürücülerin S_{ed} – $A(8)$ ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki



Şekil 4.15 Kamyon döngü evrelerinde sürücülerin S_{sed} – VDV_{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki

4.4 İstatistiksel Analizler

4.4.1 Giriş

Bu çalışmada toplanan tüm vücut titreşimi verileri, bir istatistiksel analiz paketi kullanılarak incelenmiştir (SPSS, 2018). Değişkenler arasında karşılaştırma yapılmadan önce normallik analizi yapılmıştır. Veri grubunun normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testi ve çarpıklık-baskınlık değerleri aracılığıyla sorgulanmış ve parametrik/parametrik olmayan test tekniklerinin hangisinin kullanılacağına karar verilmiştir. Normal dağılım gösteren gruplara parametrik test tekniklerinden iki farklı bağımsız değişkene sahip gruplar için t-testi ve ikiden fazla bağımsız

değişken olanlar için de tek yönlü varyans analizi (One-way ANOVA) uygulanmıştır. Normal dağılıma uygun olmayan veri grupları için parametrik olmayan test tekniklerinden iki veya daha çok grup arasında fark olup olmadığının analizinde ki-kare testi, Mann-Whitney U testi ve Kolmogorov-Smirnov testi kullanılmıştır. Analizlerde güven aralığı %95 olarak seçilmiştir.

4.4.2 Kamyon döngüsünü oluşturan evrelerin TVT düzeyi üzerindeki etkisi

TVT ivmesi A(8) ve dozu VDV_{Total} düzeylerinin kamyon döngüsünü oluşturan evreler arasında anlamlı biçimde değişip değişmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Analizde her evrede aşağıdaki sayıda kamyon bulunmaktadır;

- a) yanaşma → 89 kamyon
- b) yüklenme → 99 kamyon
- c) taşıma → 104 kamyon
- d) boşaltma → 99 kamyon
- e) boş dönüş → 102 kamyon
- f) bekleme → 50 kamyon

Tek yönlü varyans analizi (One-way ANOVA) bir faktör çatısı altında, ikiden fazla bağımsız grubun ortalamalarını karşılaştırmada kullanılan bir araçtır. Analizde her grubun normal dağılımlı olması ve grup varyanslarının homojen olması gerekmektedir. Varyansların homojenliği için iki hipotez ortaya atılmaktadır;

- a) H_0 : Grup varyansları %95 güven ile homojendir.
- b) H_1 : Grup varyansları %95 güven ile homojen değildir.

Tek yönlü varyans analizi için de iki hipotez bulunmaktadır. Bunlar;

- a) H_0 : Grup ortalamaları arasında %95 güven ile istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.
- b) H_1 : Grup ortalamaları arasında %95 güven ile istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır.

Bu çalışmada örnek sayısı yeterli düzeyde olduğu için normal dağılıma uygunluk Shapiro-Wilk testi üzerinden değerlendirilmiştir. Yalnızca yanaşma evresinin TVT ivmesi ile bekleme evresinin TVT dozu değerleri normal dağılıma uygun ($Sig. \geq 0,05$), diğer tüm değerler uygun değildir ($Sig. < 0,05$). Ancak ilk analizler grupların normal dağılıma uygun olduğu kabul edilerek yapılmıştır. Evrelerin betimleyici istatistik bilgileri Çizelge 4.15'de verilmiştir.

Varyansların homojenliği testi sonucuna göre titreşim ivmesi ve dozu önem değerleri %95 güven aralığına uygun çıkmadığından ($Sig_{A(8)} = 0,000$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,000$) H_0 hipotezi red edilmiş ve H_1 hipotezi kabul edilerek grup varyanslarının homojen olmadığı sonucuna varılmıştır.

Tek yönlü varyans analizi sonuçlarına göre H_0 hipotezi red edilmiş ve H_1 hipotezi uyarınca %95 güvenle grupların ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olduğu sonucuna varılmıştır ($Sig_{A(8)} = 0,000$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,000$). Grup verilerinin normal dağılıma uygun olduğu kabul edildiğinde kamyon döngüsünü oluşturan evrelerin ortalamaları arasındaki farklılık %95 düzeyinde çoklu karşılaştırma tablosunda *Tamhane* testi baz alınarak, ikilik gruplar arasındaki farklılık incelenmiştir (Çizelge 4.16). Buna göre titreşim ivmesi için tüm grup ortalamaları arasında

%95 düzeyinde anlamlı bir farklılık vardır. Titreşim dozu için taşıma ile dönüş ve yanaşma evreleri arasında fark bulunmazken diğer tüm evreler arasında anlamlı farklılık bulunmaktadır.

Çizelge 4.15 Kamyon döngüsünü oluşturan evrelerin betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Evre	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	boşaltma	99	,42296	,154037	,015481	,171	1,226
	taşıma	104	,76158	,171991	,016865	,430	1,404
	yüklenme	99	,24309	,182576	,018350	,064	1,421
	boş dönüş	102	,86174	,251776	,024930	,398	1,552
	yanaşma	89	,62845	,184237	,019529	,267	1,159
	bekleme	50	,11558	,079905	,011300	,008	,344
VDV _{Total}	boşaltma	99	10,45022	3,747024	,376590	3,988	26,547
	taşıma	104	15,24107	4,443927	,435763	7,816	35,785
	yüklenme	99	6,72065	4,215349	,423658	1,616	29,466
	boş dönüş	102	17,22304	5,776016	,571911	7,897	35,391
	yanaşma	89	14,59573	3,985477	,422460	7,248	25,774
	bekleme	50	3,38954	3,035075	,429224	,490	15,596

Çizelge 4.16 Kamyon döngüsü evrelerinin çoklu karşılaştırması

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)
TAMHANE	Boşaltma	Taşıma	-3,38617*	TAMHANE	Boşaltma	Taşıma	-4,790845*
		Yüklenme	,179869*			Yüklenme	3,729576*
		Dönüş	-,438776*			Dönüş	-6,772817*
		Yanaşma	-,205490*			Yanaşma	-4,145508*
		Bekleme	,307380*			Bekleme	7,060682*
	Taşıma	Boşaltma	,338617*		Taşıma	Boşaltma	4,790845*
		Yüklenme	,518486*			Yüklenme	8,520421*
		Dönüş	-,100158*			Dönüş	-1.981972
		Yanaşma	,133127*			Yanaşma	.645337
		Bekleme	,645997*			Bekleme	11,851527*
	Yüklenme	Boşaltma	-,179869*		Yüklenme	Boşaltma	-3,729576*
		Taşıma	-,518486*			Taşıma	-8,520421*
		Dönüş	-,618644*			Dönüş	-10,502393*
		Yanaşma	-,385359*			Yanaşma	-7,875084*
		Bekleme	,127511*			Bekleme	3,331106*
	Dönüş	Boşaltma	,438776*		Dönüş	Boşaltma	6,772817*
		Taşıma	,100158*			Taşıma	1.981972
		Yüklenme	,618644*			Yüklenme	10,502393*
		Yanaşma	,233286*			Yanaşma	2,627309*
		Bekleme	,746155*			Bekleme	13,833499*
Yanaşma	Boşaltma	,205490*	Yanaşma	Boşaltma	4,145508*		
	Taşıma	-,133127*		Taşıma	-.645337		
	Yüklenme	,385359*		Yüklenme	7,875084*		
	Dönüş	-,233286*		Dönüş	-2,627309*		
	Bekleme	,512869*		Bekleme	11,206190*		
Bekleme	Boşaltma	-,307380*	Bekleme	Boşaltma	-7,060682*		
	Taşıma	-,645997*		Taşıma	-11,851527*		
	Yüklenme	-,127511*		Yüklenme	-3,331106*		
	Dönüş	-,746155*		Dönüş	-13,833499*		
	Yanaşma	-,512869*		Yanaşma	-11,206190*		

* Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.

Grup verileri normal dağılıma uygun değildir. Bu durum dikkate alındığında kamyon döngüsünü oluşturan evrelerin ortalamaları arasındaki farklılık, iki veya daha çok grup arasında fark olup olmadığının testinde kullanılan *ki-kare* testi ile incelenmiştir (Çizelge 4.17). Burada iki hipotez bulunmaktadır;

- H₀: Grup ortalamaları arasında %95 güven ile istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.
- H₁: Grup ortalamaları arasında %95 güven ile istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır.

Çizelge 4.17’de verilen Pearson ki-kare önem derecesine göre TVT ivmesi için H₀ hipotezi red edilmiş ve tüm grup ortalamaları arasında %95 düzeyinde anlamlı bir farklılık olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer yandan TVT dozu için H₀ hipotezi kabul edilmiş ve tüm grup ortalamaları arasında %95 düzeyinde anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.17 Kamyon döngüsü evreleri için ki-kare testi ile karşılaştırma sonuçları

Parametre		Değer	Serbestlik derecesi	Asimptotik önem (2-yönlü)
A(8)	Pearson Chi-Square	2311,650 ^a	2075	,000
	Likelihood Ratio	1721,103	2075	1,000
	Linear-by-Linear Association	1,719	1	,190
	N of Valid Cases	543		
VDV _{Total}	Pearson Chi-Square	2676,143 ^a	2655	,383
	Likelihood Ratio	1899,878	2655	1,000
	Linear-by-Linear Association	1,936	1	,164
	N of Valid Cases	543		

4.4.3 Kamyon kapasitesinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi

TVT ivmesi ve dozu düzeylerinin kamyon kapasitesindeki farklılıklar ile anlamlı biçimde değişip değişmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Bu analizde, kapasite gruplarındaki üye sayılarının birbirlerinden çok farklı olmasını engellemek ve daha sağlıklı istatistiksel analizler yapabilmek amacıyla 2 adet 91 t’luk ve 3 adet 100 t’luk kamyon birleştirilerek 5 kamyonluk bir grup oluşturulmuştur. Diğer grup sayıları aşağıdaki şekilde yer almaktadır.

- 30 t → 33 adet
- 77 t → 48 adet
- 91 t → 2 adet
- 100 t → 3 adet
- 170 t → 19 adet

Bu çalışmada örneklem sayısı yeterli düzeyde olduğu için normal dağılıma uygunluk Shapiro-Wilk testi üzerinden değerlendirilmiştir. TVT ivmesi değerleri normal dağılıma uygun (Sig. ≥ 0,05), TVT dozu değerleri değildir (Sig. < 0,05). Tabachnik ve Fidell (2013), çarpıklık ve basıklık değerlerinin +1,500 ile -1,500, George ve Mallery (2010) ise çarpıklık ve basıklık değerlerinin +2,000 ile -2,000 arasında olduğunda verinin normal dağıldığını kabul etmektedirler. TVT dozu çarpıklığı 1,253 ve basıklığı 2,159 olduğundan normal dağılıma uygundur. Kamyon kapasitesi gruplarının betimleyici istatistik bilgileri Çizelge 4.18’de verilmektedir.

Varyansların homojenliği testi sonucuna göre titreşim ivmesi ve dozu önem değerleri uygun çıkmadığından ($Sig_{A(8)} = 0,000$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,001$) H_0 hipotezi red edilmiş ve H_1 hipotezi kabul edilerek grup varyanslarının homojen olmadığı sonucuna varılmıştır. Tek yönlü varyans analizi sonuçlarına göre yine H_0 hipotezi red edilmiş ve H_1 hipotezi uyarınca grupların ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olduğu sonucuna varılmıştır ($Sig_{A(8)} = 0,000$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,007$).

Kamyon kapasite grup ortalamaları arasındaki farklılık çoklu karşılaştırma tablosunda *Tamhane* testi baz alınarak ikilik gruplar arasındaki incelenmiştir (Çizelge 4.19). Buna göre titreşim ivmesi ve dozu için;

- 30 t ve 170 t grup ortalamaları arasında %95 düzeyinde anlamlı bir farklılık vardır.
- 77 t ve 170 t grup ortalamaları arasında %95 düzeyinde anlamlı bir farklılık vardır.
- 91-100 t ile diğer tüm grup ortalamaları arasında %95 düzeyinde anlamlı bir farklılık yoktur.
- 30 t ve 77 t grup ortalamaları arasında %95 düzeyinde anlamlı bir farklılık yoktur.

Çizelge 4.18 Kamyon kapasitesini oluşturan grupların betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Kapasite	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	30 t	33	,70418	,224036	,039000	,319	1,121
	77 t	48	,77590	,140857	,020331	,526	1,172
	91-100 t	5	,66600	,086871	,038850	,582	,807
	170 t	19	,55111	,071098	,016311	,408	,659
VDV _{Total}	30 t	33	15,97027	5,771592	1,004705	7,684	32,914
	77 t	48	16,43002	3,753657	,541794	10,861	28,715
	91-100 t	5	14,66480	1,526596	,682715	13,496	17,054
	170 t	19	12,44058	2,070976	,475114	9,199	16,375

Çizelge 4.19 Kamyon kapasitesi gruplarının çoklu karşılaştırması

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)
TAMHANE	30 t	77 t	-.071714	TAMHANE	30 t	77 t	-.459748
		91-100 t	.038182			91-100 t	1.305473
		170 t	,153077*			170 t	3,529694*
	77 t	30 t	.071714		77 t	30 t	.459748
		91-100 t	.109896			91-100 t	1.765221
		170 t	,224791*			170 t	3,989442*
	91-100 t	30 t	-.038182		91-100 t	30 t	-1.305473
		77 t	-.109896			77 t	-1.765221
		170 t	.114895			170 t	2.224221
	170 t	30 t	-,153077*		170 t	30 t	-3,529694*
		77 t	-,224791*			77 t	-3,989442*
		91-100 t	-.114895			91-100 t	-2.224221

4.4.4 Hafriyat ve maden tipi kamyonların sürücü TVT maruziyet düzeyi üzerindeki etkisi
TVT ivmesi ve dozu düzeylerinin kamyon tipindeki farklılıklar ile anlamlı biçimde değişip değişmediği, bağımsız örneklem testi aracılığıyla sorgulanmıştır. Veri havuzunda karayolunda da seyredabilen 30 t kapasiteli 33 adet hafriyat kamyonu, 77 t – 170 t kapasiteli 72 adet maden kamyonu bulunmaktadır.

Bağımsız örneklem testi iki ana kütle ortalamaları arasında farklılık olup olmadığına karar vermede kullanılmaktadır. Bu analiz t-testi olarak ta bilinmektedir (Karagöz, 2017). Ortalamaların farklılığı için iki hipotez ortaya atılmaktadır;

- a) $H_0: \mu_1 = \mu_2$ (Hafriyat ve maden kamyonlarının TVT ivme ve dozları arasında fark yoktur).
b) $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ (Hafriyat ve maden kamyonlarının TVT ivme ve dozları arasında fark vardır).

Kamyon tipi grup ortalamaları arasındaki farklılık bağımsız örneklem t-testi yöntemi ile incelenmiştir. Grupların betimsel istatistikleri Çizelge 4.20’de verilmiştir. Ortalamaların birbirine yakınlığı dikkat çekicidir. Çizelge 4.21 incelendiğinde, A(8) ve VDV_{Total} için grup varyanslarının eşit olduğunu kabul eden önem derecesi değerleri 0,05’ten küçüktür. Böylece, t-testi için varyansların eşit olmadığı önem değerleri kontrol edilmelidir. Ancak iki-yönlü önem değeri, tek-yönlü değer iki katı olduğundan t-testi değeri ikiye bölünmüştür ($Sig_{A(8)} = 0,4565$, $Sig_{VDV_{Total}} = 0,259$). Her iki değer de 0,05’ten büyük olduğundan H_0 hipotezi doğru kabul edilmiş olup grup ortalamaları arasında farklılık yoktur. Böylece 30 t’luk hafriyat kamyonları ile ≥ 77 t’luk maden kamyonlarının, sürücüleri eşdeğer titreşim ivmesi ve dozuna maruz bıraktığı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.20 Kamyon tipi grupları için varyansların grup istatistikleri

Bağımlı değişken	Kapasite	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata
A(8)	30	33	,70418	,224036	,039000
	≥ 77	72	,70894	,157060	,018510
VDV_{Total}	30	33	15,97027	5,771592	1,004705
	≥ 77	72	15,25467	3,690991	,434987

Çizelge 4.21 Kamyon tipi grupları için bağımsız örneklem testi

Bağımlı değişken	Varyanslar	Varyansların eşitliği Levene testi		Ortalamaların eşitliği t-testi				
		F	Önem	t	Serb. Dere.	Önem (2 kuyr.)	Ortalama-ların farkı	Farkın standart hatası
A(8)	Eşit	6,269	,014	-,125	103	,900	-,004763	,037955
	Eşit değil			-,110	46,966	,913	-,004763	,043169
VDV_{Total}	Eşit	8,792	,004	,766	103	,445	,715606	,933997
	Eşit değil			,654	44,418	,517	,715606	1,094827

4.4.5 Alttan ve arkadan boşaltma mekanizmasının sürücü TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Bu bölümde kamyonların boşaltma mekanizmasındaki farklılıkların TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği bağımsız örneklem testi aracılığıyla sorgulanmıştır. Veri havuzunda dorseli tipte olup kasasındaki malzemeyi dorse alt kapaklarını açarak dökten 3 adet kamyon bulunmaktadır. Havuzdaki diğer kamyonlar (102 adet) damperli tipte olup malzemeyi damperi kaldırarak arkadan boşaltmaktadırlar.

Bağımsız örneklem testinde iki ana kütle ortalamalarının farklılığı için iki hipotez ortaya atılmıştır;

- $H_0: \mu_1 = \mu_2$ (Dorseli ve damperli kamyonların TVT ivme ve dozları arasında fark yoktur).
- $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ (Dorseli ve damperli kamyonların TVT ivme ve dozları arasında fark vardır).

Boşaltma mekanizması grup ortalamaları arasındaki farklılık bağımsız örneklem t-testi yöntemi ile incelenmiştir. Grupların istatistikleri Çizelge 4.22'de verilmiştir. TVT dozu değerleri için ortalamaların birbirine yakın olduğu dikkat çekicidir. Çizelge 4.23 incelendiğinde, A(8) ve VDV_{Total} için grup varyanslarının eşit olduğunu kabul eden önem derecesi değerleri 0,05'ten büyük olduğundan t-testi için varyansların eşit olduğu önem değerleri kontrol edilmiş ve iki-yönlü önem değeri, tek-yönlü değer iki katı olduğundan t-testi değeri ikiye bölünmüştür ($Sig_{A(8)} = 0,345$, $Sig_{VDV_{Total}} = 0,471$). Her iki değer de 0,05'ten büyük olduğundan H_0 hipotezi doğru kabul edilmiş olup grup ortalamaları arasında farklılık yoktur. Böylece alttan boşaltmalı dorseli kamyonlar ile damperli kamyonların, sürücüleri eşdeğer titreşim ivmesi ve dozuna maruz bıraktığı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.22 Boşaltma mekanizması grupları için varyansların grup istatistikleri

Bağımlı değişken	Boşaltma yöntemi	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata
A(8)	Arkadan	102	,70866	,181381	,017959
	Alttan	3	,66633	,122623	,070796
VDV _{Total}	Arkadan	102	15,48505	4,492427	,444817
	Alttan	3	15,29333	1,779283	1,027270

Çizelge 4.23 Boşaltma mekanizması grupları için bağımsız örneklem testi

Bağımlı değişken	Varyanslar	Varyansların eşitliği Levene testi		Ortalamaların eşitliği t-testi				
		F	Önem	t	Serb. Dere.	Önem (2 kuyr.)	Ortalamaların farkı	Farkın standart hatası
A(8)	Eşit	,790	,376	,400	103	,690	,042324	,105687
	Eşit değil			,579	2,266	,615	,042324	,073039
VDV _{Total}	Eşit	1,617	,206	,073	103	,942	,191716	2,609940
	Eşit değil			,171	2,818	,876	,191716	1,119440

4.4.6 Sürücü yaşının TVT maruziyet düzeyi üzerindeki etkisi

Kamyon sürücü yaşının TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Bu analizde, sürücü yaşları başlangıçta 5 yıllık gruplara ayrılmışsa da istatistiksel analiz için yeterli üye sayısına sahip gruplar oluşturulamadığından gruplar, 10 yıllık yaş kategorilerine ayrılmıştır. Buna göre yaş aralıklarında aşağıdaki sayıda sürücü bulunmaktadır;

- a) 20-30 → 11 sürücü
- b) 31-40 → 46 sürücü
- c) 41-50 → 41 sürücü
- d) ≥51 → 7 sürücü

Grupların (A(8) ve VDV_{Total}) normal dağılıma uygunluk testi Shapiro-Wilk testi ve çarpıklık-basıklık değerleri ile yapılmış ve sürücü yaş grupları normal dağılıma uygun çıkmıştır. Grup varyanslarının homojenliği için iki hipotez ortaya atılmıştır;

- c) H₀: Grup varyansları %95 güven ile homojendir.
- d) H₁: Grup varyansları %95 güven ile homojen değildir.

Tek yönlü varyans analizi için de iki hipotez bulunmaktadır. Bunlar;

- c) H₀: Grup ortalamaları arasında %95 güven ile istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.
- d) H₁: Grup ortalamaları arasında %95 güven ile istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır.

Varyansların homojenliği testi sonucuna göre titreşim ivmesi ve dozu önem değerleri (Sig_{A(8)} = 0,666 ve Sig_{VDV_{Total}} = 0,355) H₀ hipotezine göre grup varyanslarının homojen olduğu kabul edilmiştir. Sürücü yaş gruplarının betimleyici istatistik sonuçları Çizelge 4.24'de verilmiştir.

Çizelge 4.24 Sürücü yaş gruplarını oluşturan grupların betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Yaş grubu	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	20-30	11	,77773	,208062	,062733	,473	1,121
	31-40	46	,72974	,181923	,026823	,319	1,172
	41-50	41	,67907	,164537	,025696	,433	1,100
	≥51	7	,61671	,175660	,066393	,346	,823
VDV _{Total}	20-30	11	16,50773	4,349583	1,311449	10,529	23,774
	31-40	46	16,34141	5,010229	,738718	7,684	32,914
	41-50	41	14,62005	3,636552	,567934	9,199	25,453
	≥51	7	13,23471	3,778731	1,428226	7,771	19,319

Tek yönlü varyans analizi sonuçlarına göre H₀ hipotezi kabul edilmiş ve grupların ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna varılmıştır (Sig_{A(8)} = 0,157 ve Sig_{VDV_{Total}} = 0,128). Sürücü yaş grubu ortalamaları arasındaki farklılık çoklu karşılaştırma tablosunda *Tukey* testi baz alınarak ikilik gruplar arasındaki incelenmiş olup (Çizelge 4.25) titreşim ivmesi ve dozu için tüm gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur.

Çizelge 4.25 Sürücü yaş gruplarının çoklu karşılaştırması

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)
TUKEY HSD	20-30	31-40	.047988	TUKEY HSD	20-30	31-40	.166314
		41-50	.098654			41-50	1.887678
		≥51	.161013			≥51	3.273013
	31-40	20-30	-.047988		31-40	20-30	-.166314
		41-50	.050666			41-50	1.721364
		≥51	.113025			≥51	3.106699
	41-50	20-30	-.098654		41-50	20-30	-1.887678
		31-40	-.050666			31-40	-1.721364
		≥51	.062359			≥51	1.385334
	≥51	20-30	-.161013		≥51	20-30	-3.273013
		31-40	-.113025			31-40	-3.106699
		41-50	-.062359			41-50	-1.385334

4.4.7 Sürücü deneyiminin TVT maruziyet düzeyi üzerindeki etkisi

Kamyon sürücü deneyiminin TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Bu analizde, sürücü deneyimi 5 yıllık gruplara ayrılmıştır. Buna göre deneyim aralıklarında aşağıdaki sayıda sürücü bulunmaktadır;

- 1-5 → 27 sürücü
- 6-10 → 37 sürücü
- 11-15 → 20 sürücü
- 16-20 → 13 sürücü
- 21-25 → 3 sürücü
- ≥26 → 5 sürücü

Grupların normal dağılıma uygunluk testi Shapiro-Wilk testi ve çarpıklık-basıklık değerleri ile yapılmış ve sürücü deneyimi grupları normal dağılıma uygun çıkmıştır. Varyansların homojenliği testi sonucuna göre titreşim ivmesi ve dozu önem değerleri ($Sig_{A(8)} = 0,053$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,216$) incelenerek grup varyanslarının homojen olduğu kabul edilmiştir. Sürücü deneyimi gruplarının betimleyici istatistik bilgileri Çizelge 4.26'da verilmektedir. En yüksek titreşim ivmesi ve dozuna 1-5 yıl deneyimi olan sürücüler maruz kalmaktadır.

Tek yönlü varyans analizi sonuçlarına göre H_0 hipotezi kabul edilmiş ve grupların ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna varılmıştır ($Sig_{A(8)} = 0,157$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,128$). Sürücü yaş grubu ortalamaları arasındaki farklılık çoklu karşılaştırma tablosunda *Tukey* testi baz alınarak ikilik gruplar arasındaki incelenmiştir (Çizelge 4.27). Buna göre titreşim dozu için gruplar arasında anlamlı bir farklılık yoktur. Diğer yandan titreşim ivmesi için 1-5 yıl ile 16-20 yıl grup ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık varken diğer tüm gruplar arasında yoktur. 1-5 yıl deneyime sahip sürücüler daha yüksek titreşim ivmesine maruz kalmaktadır.

Çizelge 4.26 Sürücü deneyimi gruplarını oluşturan grupların betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Deneyim grubu	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	1-5	27	,77037	,160178	,030826	,408	1,172
	6-10	37	,73135	,185139	,030437	,319	1,100
	11-15	20	,70885	,201123	,044973	,433	1,121
	16-20	13	,58831	,109071	,030251	,437	,823
	21-25	3	,52467	,182092	,105131	,346	,710
	≥26	5	,60460	,058518	,026170	,537	,673
VDV _{Total}	1-5	27	16,90678	4,895970	,942230	10,861	32,914
	6-10	37	15,76238	4,458456	,732966	7,684	26,256
	11-15	20	15,63305	4,558693	1,019355	9,199	25,823
	16-20	13	13,49446	2,607925	,723308	9,927	19,189
	21-25	3	11,65633	3,587394	2,071183	7,771	14,843
	≥26	5	12,52120	1,275033	,570212	10,926	13,839

Çizelge 4.27 Sürücü deneyimi gruplarının çoklu karşılaştırması

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)
TUKEY HSD	1-5	6-10	.039019	TUKEY HSD	1-5	6-10	1,144399
		11-15	.061520			11-15	1,273728
		16-20	,182063*			16-20	3,412316
		21-25	.245704			21-25	5,250444
		≥26	.165770			≥26	4,385578
	6-10	1-5	-.039019	6-10	1-5	-1,144399	
		11-15	.022501		11-15	,129328	
		16-20	.143044		16-20	2,267917	
		21-25	.206685		21-25	4,106045	
		≥26	.126751		≥26	3,241178	
	11-15	1-5	-.061520	11-15	1-5	-1,273728	
		6-10	-.022501		6-10	-,129328	
		16-20	.120542		16-20	2,138588	
		21-25	.184183		21-25	3,976717	
		≥26	.104250		≥26	3,111850	
	16-20	1-5	-,182063*	16-20	1-5	-3,412316	
		6-10	-.143044		6-10	-2,267917	
		11-15	-.120542		11-15	-2,138588	
		21-25	.063641		21-25	1,838128	
		≥26	-.016292		≥26	,973262	
	21-25	1-5	-.245704	21-25	1-5	-5,250444	
		6-10	-.206685		6-10	-4,106045	
		11-15	-.184183		11-15	-3,976717	
		16-20	-.063641		16-20	-1,838128	
≥26		-.079933	≥26		-,864867		
≥26	1-5	-.165770	≥26	1-5	-4,385578		
	6-10	-.126751		6-10	-3,241178		
	11-15	-.104250		11-15	-3,111850		
	16-20	.016292		16-20	-,973262		
	21-25	.079933		21-25	,864867		

4.4.8 Kamyon yaşının TVT maruziyet düzeyi üzerindeki etkisi

Kamyon yaşının TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Kamyon yaşı, TVT ölçümünün alındığı tarih itibariyle hesaplanmıştır. Kamyon yaşı başlangıçta 5 yıllık gruplara ayrılmış olmakla birlikte istatistiksel

analizler için yaş gruplarında yeterli sayıda eleman biriktirilemediğinden yaş grupları 10 yıllık olarak yeniden düzenlenmiştir. Yaş grubu aralıklarında aşağıdaki sayıda kamyon bulunmaktadır;

- a) 1-10 → 31 kamyon
- b) 11-20 → 22 kamyon
- c) 21-30 → 6 kamyon
- d) 31-40 → 46 kamyon

Grupların normal dağılıma uygunluk testi Shapiro-Wilk testi ve çarpıklık-basıklık değerleri ile yapılmış ve kamyon yaş grupları 11-20 yaş grubu normal dağılıma uygun çıkmazken diğer tüm gruplar normal dağılıma uygun çıkmıştır. Varyansların homojenliği testi sonucuna göre titreşim ivmesi grup varyansının homojen olmadığı ancak titreşim dozu grup varyansının homojen olduğu belirlenmiştir ($Sig_{A(8)} = 0,020$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,062$). Grupların betimleyici istatistikleri Çizelge 4.28'de verilmektedir. En yüksek titreşim ivmesi ve dozu 31-40 yaş grubundadır.

Tek yönlü varyans analizi sonuçlarına göre H_0 hipotezi red edilmiş ve grupların ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olduğu sonucuna varılmıştır ($Sig_{A(8)} = 0,000$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,034$). Kamyon yaş grubu ortalamaları arasındaki farklılık %5 düzeyinde çoklu karşılaştırma tablosunda TVT ivmesi için *Tamhane* testi, TVT dozu için *Tukey* testi baz alınarak ikilik gruplar arasındaki incelenmiştir (Çizelge 4.29). Buna göre titreşim ivmesi ve dozu için 11-20 yaş grubu ile >30 yaş grubu arasında anlamlı bir farklılık olup diğer tüm gruplar arasında yoktur. 30'dan daha yaşlı kamyonların sürücüleri daha yüksek titreşim ivmelerine maruz kalmaktadır.

Çizelge 4.28 Kamyon yaşı gruplarını oluşturan grupların betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Yaş grubu	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	1-10	31	,70742	,209424	,037614	,319	1,121
	11-20	22	,58018	,131443	,028024	,408	1,065
	21-30	6	,65233	,190851	,077915	,346	,891
	31-40	46	,77552	,142179	,020963	,526	1,172
VDV _{Total}	1-10	31	15,92487	5,469273	,982310	7,684	32,914
	11-20	22	13,15418	3,456299	,736885	9,199	25,823
	21-30	6	14,71000	4,004851	1,634974	7,771	19,674
	31-40	46	16,39200	3,798836	,560108	10,861	28,715

Çizelge 4.29 Kamyon yaşı gruplarının çoklu karşılaştırması

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	
TAMHANE	1-10	11-20	,127238	TUKEY	1-10	11-20	2,770689	
		21-30	,055086			HSD	21-30	1,214871
		31-40	-,068102			31-40	-,467129	
	11-20	1-10	-,127238	TUKEY	11-20	1-10	-2,770689	
		21-30	-,072152			HSD	21-30	-1,555818
		31-40	-,195340*			31-40	-3,237818*	
	21-30	1-10	-,055086	TUKEY	21-30	1-10	-1,214871	
		11-20	,072152			HSD	11-20	1,555818
		31-40	-,123188			31-40	-1,682000	
	31-40	1-10	,068102	TUKEY	31-40	1-10	,467129	
		11-20	,195340*			HSD	11-20	3,237818*
		21-30	,123188			21-30	1,682000	

4.4.9 Yeraltı ve yerüstü kamyonlarının TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Yeraltı ve yerüstü tipi kamyonların arasındaki farklılıkların TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, bağımsız örneklem t-testi aracılığıyla sorgulanmıştır. Veri havuzunda 2 adet yeraltı tipi kamyon bulunmaktadır. Havuzdaki 103 adet diğer kamyon yerüstü maden işletmelerinde kullanılabilecek tipte araçlardır.

Bağımsız örneklem testinde iki ana kütle ortalamalarının farklılığı için iki hipotez ortaya atılmıştır;

- $H_0: \mu_1 = \mu_2$ (Yeraltı ve yerüstü kamyonların TVT ivme ve dozları arasında fark yoktur).
- $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ (Yeraltı ve yerüstü kamyonların TVT ivme ve dozları arasında fark vardır).

Yeraltı ve yerüstü grup ortalamaları arasındaki farklılık bağımsız örneklem t-testi yöntemi ile incelenmiştir. Grup istatistikleri Çizelge 4.30'da verilmiştir. Çizelge 4.31 incelendiğinde, ($Sig_{A(8)} = 0,005$, $Sig_{VDV_{Total}} = 0,000$) her iki değer de 0,05'ten küçük olduğundan H_0 hipotezi red edilmiş olup grup ortalamaları arasında farklılık vardır. Böylece yeraltı ve yerüstü kamyonların sürücüleri farklı titreşim ivmesi ve dozuna maruz kalmakta olup, Çizelge 4.35'de verildiği gibi, yeraltı kamyon sürücülerinin daha yüksek titreşim ivmesi ve dozuna maruz kaldığı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.30 Yeraltı ve yerüstü kamyon grupları için varyansların grup istatistikleri

Bağımlı değişken	Kamyon tipi	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata
A(8)	Yerüstü	103	,70123	,175581	,017301
	Yeraltı	2	1,02750	,068589	,048500
VDV _{Total}	Yerüstü	103	15,20568	3,981567	,392315
	Yeraltı	2	29,58500	4,707917	3,329000

Çizelge 4.31 Yeraltı ve yerüstü tipi kamyonlar için bağımsız örneklem testi

Bağımlı değişken	Varyanslar	Varyansların eşitliği Levene testi			Ortalamaların eşitliği t-testi			
		F	Önem	t	Serb. Dere.	Önem (2 kuyr.)	Ortalama-ların farkı	Farkın standart hatası
A(8)	Eşit	1,680	,198	-2,614	103	,010	-,326267	,124838
	Eşit değil			-6,336	1,270	,065	-,326267	,051493
VDV _{Total}	Eşit	,027	,870	-5,049	103	,000	-14,379320	2,848084
	Eşit değil			-4,290	1,028	,141	-14,379320	3,352037

4.4.10 Taşınan malzemenin TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Kamyonda taşınan malzemenin TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, bağımsız grup t-testi aracılığıyla sorgulanmıştır. Bu analizde, taşınan malzeme bloklu ve bloksuz olmak üzere 2 gruba ayrılmıştır. Buna göre malzeme grupları aşağıdakilerden oluşmaktadır;

- Bloklu malzeme
 - Agrega
 - Az ayrılmış kayaç

- c. Bloklı malzeme
- d. Bloklı cevher
- e. Bloklı toprak
- b) Bloksuz malzeme
 - a. Toprak
 - b. Ayrışmış kayaç
 - c. Demir cürufu
 - d. Kömür
 - e. Su

Bağımsız örneklem testinde iki ana kütle ortalamalarının farklılığı için iki hipotez ortaya atılmıştır;

- a) $H_0: \mu_1 = \mu_2$ (Bloklı ve bloksuz malzeme taşıyan kamyon sürücülerinin maruz kaldığı TVT ivme ve dozları arasında fark yoktur).
- b) $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ (Bloklı ve bloksuz malzeme taşıyan kamyon sürücülerinin maruz kaldığı TVT ivme ve dozları arasında fark vardır).

Bloklı ve bloksuz malzeme grup ortalamaları arasındaki farklılık bağımsız örneklem t-testi yöntemi ile incelenmiştir. Grup istatistikleri Çizelge 4.32’de verilmiştir. Çizelge 4.33 incelendiğinde, ($Sig_{A(8)} = 0,242$, $Sig_{VDV_{Total}} = 0,059$) her iki değer de 0,05’ten büyük olduğundan H_0 hipotezi kabul edilmiş olup grup ortalamaları arasında farklılık yoktur. Böylece kamyonların sürücüleri taşınan malzemenin türünden bağımsız olarak benzer düzeyde titreşim ivmesi ve dozuna maruz kalmakta olup Çizelge 4.32’de verildiği gibi bloklı malzeme, kamyon sürücülerini daha yüksek titreşim ivmesi ve dozuna maruz bırakmaktadır.

Çizelge 4.32 Taşınan malzeme grupları için varyansların grup istatistikleri

Bağımlı değişken	Malzeme tipi	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata
A(8)	bloklı	47	,72113	,196859	,028715
	bloksuz	58	,69636	,165408	,021719
VDV _{Total}	bloklı	47	16,23170	4,987253	,727466
	bloksuz	58	14,87009	3,867394	,507814

Çizelge 4.33 Taşınan malzeme grupları için bağımsız örneklem testi

Bağımlı değişken	Varyanslar	Varyansların eşitliği Levene testi		Ortalamaların eşitliği t-testi				
		F	Önem	t	Serb. Dere.	Önem (2 kuyr.)	Ortalama-ların farkı	Farkın standart hatası
A(8)	Eşit	3,828	,053	,701	103	,485	,024766	,035353
	Eşit değil			,688	89,9	,493	,024766	,036004
VDV _{Total}	Eşit	4,048	,047	1,576	103	,118	1,361616	,864106
	Eşit değil			1,535	85,4	,129	1,361616	,887176

4.4.11 Bazı manevraların ikili karşılaştırmasının TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Kamyonun taşıma ve boş dönüş evrelerinde sürücülerin maruz kaldığı TVT ivmesi ve dozu düzeyleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olup olmadığı hipotez testleri aracılığıyla değerlendirilmiştir. Grupların (A(8) ve VDV_{Total}) normal dağılıma uygunluk testi Shapiro-Wilk testi ve çarpıklık-basıklık değerleri ile yapılmış ve taşıma-boş dönüş evreleri normal dağılıma uygun çıktığı için bağımsız grup t-testi aracılığıyla sorgulama yapılmıştır. Veri havuzunda taşıma evresinde 104 adet kamyon, boş dönüş evresinde ise 102 adet kamyon bulunmaktadır.

Bağımsız örneklem testinde iki ana kütle ortalamalarının farklılığı için iki hipotez ortaya atılmıştır;

- c) $H_0: \mu_1 = \mu_2$ (Taşıma ve boş dönüş evrelerinde kamyon sürücülerinin maruz kaldığı TVT ivme ve dozları arasında fark yoktur).
- d) $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ (Taşıma ve boş dönüş evrelerinde kamyon sürücülerinin maruz kaldığı TVT ivme ve dozları arasında fark vardır).

Taşıma ve boş dönüş manevralarının grup ortalamaları arasındaki farklılık bağımsız örneklem t-testi yöntemi ile incelenmiştir. Boş dönüş evresinin TVT ivmesi ve dozu ortalamaları yüksek çıktığı grup istatistikleri, Çizelge 4.34'de verilmiştir. Çizelge 4.35 incelendiğinde, A(8) ve VDV_{Total} için grup varyanslarının eşit olduğunu kabul eden önem derecesi değerleri 0,05'ten küçüktür. Böylece, t-testi için varyansların eşit olmadığı önem değerleri kontrol edilmiş ve iki-yönlü önem değeri, tek-yönlü değerin iki katı olduğundan t-testi değeri ikiye bölünmüştür ($Sig_{A(8)} = 0,0005$, $Sig_{VDV_{total}} = 0,003$). Her iki değer de 0,05'ten küçük olduğundan H_1 hipotezi kabul edilmiş olup grup ortalamaları arasında farklılık vardır. Çizelge 4.34'de verildiği gibi taşıma ve boş dönüş manevraları ortalamaları incelendiğinde boş dönüş manevrasında sürücülerin daha yüksek titreşim ivmesi ve dozu değerine maruz kaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.34 Evre grupları için varyansların grup istatistikleri

Bağımlı değişken	Evreler	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata
A(8)	taşıma	104	,76158	,171991	,016865
	boş dönüş	102	,86174	,251776	,024930
VDV _{Total}	taşıma	104	15,24107	4,443927	,435763
	boş dönüş	102	17,22304	5,776016	,571911

Çizelge 4.35 Evre grupları için bağımsız örneklem testi

Bağımlı değişken	Varyanslar	Varyansların eşitliği			Ortalamaların eşitliği			
		Levene testi		t	t-testi			Farkın standart hatası
F	Önem	Serb. Dere.	Önem (2 kuyr.)		Ortalamaların farkı			
A(8)	Eşit	10,568	,001	-3,340	204	,001	-,100158	,029992
	Eşit değil			-3,328	178,037	,001	-,100158	,030098
VDV _{Total}	Eşit	9,592	,002	-2,763	204	,006	-1,981972	,717211
	Eşit değil			-2,757	189,638	,006	-1,981972	,719007

Aynı başlık altında kamyon döngüsündeki taşıma ve yanaşma evrelerinde sürücülerin maruz kaldığı TVT ivmesi ve dozu düzeyleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olup olmadığı hipotez testleri aracılığıyla değerlendirilmiştir. Veri havuzunda taşıma evresinde 104, yanaşma evresinde 89 adet kamyon bulunmaktadır. Grupların (A(8) ve VDV_{Total}) normal dağılıma uygunluk testi Shapiro-Wilk testi ve çarpıklık-basıklık değerleri ile yapılmış ve taşıma-yanaşma evreleri normal dağılıma uygun çıktığı için grup ortalamaları arasındaki farklılık, bağımsız örneklem t-testi yöntemi ile incelenmiştir. Taşıma evresindeki TVT ivmesi ve dozu ortalamalarının yanaşma evresine göre yüksek çıktığı grup istatistikleri Çizelge 4.36'da verilmiştir. Çizelge 4.37 incelendiğinde, (Sig_{A(8)} = 0,000, Sig_{VDV_{Total}} = 0,146) A(8) için grup ortalamaları arasında farklılık varken; VDV değeri 0,05'ten büyük olduğundan grup ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.36 Manevra grupları için varyansların grup istatistikleri

Bağımlı değişken	Evreler	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata
A(8)	taşıma	104	,76158	,171991	,016865
	yanaşma	89	,62845	,184237	,019529
VDV _{Total}	taşıma	104	15,24107	4,443927	,435763
	yanaşma	89	14,59573	3,985477	,422460

Çizelge 4.37 Manevra grupları için bağımsız örneklem testi

Bağımlı değişken	Varyanslar	Varyansların eşitliği Levene testi			Ortalamaların eşitliği t-testi			
		F	Önem	t	Serb. Dere.	Önem (2 kuyr.)	Ortalama-ların farkı	Farkın standart hatası
A(8)	Eşit	1,254	,264	5,187	191	,000	,133127	,025665
	Eşit değil			5,159	181,809	,000	,133127	,025803
VDV _{Total}	Eşit	,200	,655	1,054	191	,293	,645337	,612092
	Eşit değil	1,254	,264	5,187	191	,000	,133127	,025665

Benzer karşılaştırma yanaşma ve boş dönüş evreleri için de yapılmıştır. Veri havuzunda boş dönüş evresinde 102, yanaşma evresinde 89 adet kamyon bulunmaktadır. Grupların normal dağılıma uygunluk testi Shapiro-Wilk testi ve çarpıklık-basıklık değerleri ile yapılmış ve evreler normal dağılıma uygun çıkmıştır. İstatistikleri Çizelge 4.38'de verilen grup ortalamaları arasındaki farklılık bağımsız örneklem t-testi yöntemi ile incelenmiştir. Boş dönüşteki ivme ve doz, yanaşmaya göre yüksek çıkmıştır. Çizelge 4.39 incelendiğinde (Sig_{A(8)} = 0,000, Sig_{VDV_{Total}} = 0,000) A(8) ve VDV_{Total} değeri 0,05'ten küçük olduğundan grup ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.38 Evre grupları için varyansların grup istatistikleri

Bağımlı değişken	Evreler	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata
A(8)	boş dönüş	102	,86174	,251776	,024930
	yanaşma	89	,62845	,184237	,019529
VDV _{Total}	boş dönüş	102	17,22304	5,776016	,571911
	yanaşma	89	14,59573	3,985477	,422460

Çizelge 4.39 Evre grupları için bağımsız örneklem testi

Bağımlı değişken	Varyanslar	Varyansların eşitliği Levene testi			Ortalamaların eşitliği t-testi			
		F	Önem	t	Serb. Dere.	Önem (2 kuyr.)	Ortalama-ların farkı	Farkın stand- dart hatası
A(8)	Eşit	4,916	,028	7,216	189	,000	,233286	,032331
	Eşit değil			7,367	183,628	,000	,233286	,031668
VDV _{Total}	Eşit	8,549	,004	3,606	189	,000	2,627309	,728503
	Eşit değil			3,695	179,838	,000	2,627309	,711023

5 HIDROLİK TERSKEPÇE EKSKAVATÖRLERİN TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ ve DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1 Genel

Bu çalışma kapsamında farklı, marka, model ve kapasitede 35 adet hidrolik terskepçe ekskavatörden operatör TVT maruziyeti ölçümleri alınmış ve veri analiz edilmiştir. Hidrolik terskepçe ekskavatör iş döngüsünün aşağıdaki evrelerden oluştuğu kabul edilerek, ölçümlerin ekskavatörün çok sayıda döngüsünü kapsamasına dikkat edilmiş ve tipik ekskavatör çalışmasını temsil edecek süre boyunca kayıt alınmıştır.

- a) Tüm kayıt (Whole data); Hidrolik terskepçe ekskavatörlerin tipik iş döngüsündeki tüm evreleri kapsayacak biçimde, çok sayıda döngüyü kapsayan ve çalışma bitişi sonrası durağan haller de dahil olmak üzere alınan tüm kaydın brüt TVT maruziyetini göstermektedir. Operatörün TVT maruziyeti hesaplarında kullanılmamaktadır.
- b) Net kayıt (RECORD); Hidrolik terskepçe ekskavatörlerin tipik iş döngüsündeki tüm evreleri kapsamakta ve bu süredeki TVT maruziyetini göstermektedir. Hareketin başında sürücünün koltuğa yerleşme ve hareketin sonunda koltuktan kalkma çabaları sırasında koltuk üzerindeki disk tipi ivmeölçer ile kabin zeminindeki ivmeölçere şok etkilerinden kaynaklanabilen çok yüksek titreşim ivmeleri ayıklanarak, analizlerden çıkartılmaktadır. Operatörün genel TVT maruziyetini temsil etmekte ve hesaplarda kullanılmaktadır.
- c) Yükleme (LOAD); Hidrolik terskepçe ekskavatör kovanının yığına girmesi ve dolu kovanın kamyon kasasına boşalmak için dönmesi sırasında maruz kalınan titreşim kaydedilmektedir.
- d) Boşaltma (DUMP); Hidrolik terskepçe ekskavatör kovanının boşaltılması ve yığına boş dönüş sırasında maruz kalınan titreşim kaydedilmektedir.
- e) İleri yürüme (FORWARD); Ekskavatörün kazı aynası önünde küçük manevralar haricinde daha uzun mesafelerde yer değiştirme hareketi yaparken maruz kalınan titreşimi temsil etmek için kaydedilmektedir.
- f) Aynada hazırlık (BENCH); Ekskavatörün ayna önünde yığın oluşturma amacıyla kayda değer uzunluktaki bir süre boyunca kovanı ile yaptığı tüm hareketler ayrı bir evre olarak alınmakta ve bu sırada maruz kalınan titreşim kaydedilmektedir.
- g) Bekleme (WAIT); Hidrolik terskepçe ekskavatör herhangi bir evre içerisinde iken durmak ve motor devinimi askıda iken beklemek durumunda kaldığında, ayrı bir evre olarak alınmakta ve bu sırada maruz kalınan titreşim kaydedilmektedir.

Hidrolik terskepçe ekskavatörlerin 16 adedi (0-2) m³, 14 adedi (2-4) m³, 4 adedi (4-6) m³ ve 1 adedi de (6-10) m³ kepçe kapasitesi aralığındadır. 35 adet ekskavatörün 1 adedi lastik tekerlekli olup diğerleri paletlidir. Çizelge 5.1'de TVT ölçümü alınan ekskavatörlerin işletmelere dağılımı ile temel çalışma özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.1 Hidrolik terskepçe ekskavatörlerin temel bilgileri

İşletme	Ekskavatör	Hizmete giriş	Malzeme sınıfı	Tipi	Kapasite (m ³)
Alçı ocağı	No_5	2012	Bloklu	Paletli	0-2
Alçı ocağı	No_6	2012	Bloklu	Paletli	0-2
Kalsit ocağı	No_12	2011	Bloklu	Paletli	0-2
Yol inşaatı	No_17	2010	Toprak	Paletli	0-2
Yol inşaatı	No_22	2008	Toprak	Paletli	2-4
Alçı ocağı	No_25	2001	Bloklu	Paletli	0-2
Taş ocağı	No_28	2013	Bloklu	Paletli	0-2
Mermer ocağı	No_34	2008	Toprak	Paletli	2-4
Hurda demir tesisi	No_37	2004	Toprak	Paletli	2-4
Hurda demir tesisi	No_38	2003	Demir_curuf	Tekerlekli	0-2
Mermer ocağı	No_41b	1999	Bloklu	Paletli	0-2
Mermer ocağı	No_46	2013	Bloklu	Paletli	2-4
Mermer ocağı	No_50	2008	Bloklu	Paletli	0-2
Yol inşaatı	No_63	2004	Bloklu	Paletli	0-2
Yol inşaatı	No_96	2014	Toprak	Paletli	0-2
Yol inşaatı	No_99	2007	Toprak	Paletli	0-2
Kömür İşletmesi	No_124	2011	Kömür	Paletli	2-4
Kömür İşletmesi	No_129	2011	Ayrılmış_kayaç	Paletli	4-6
Kömür İşletmesi	No_130	2011	Ayrılmış_kayaç	Paletli	2-4
Kömür İşletmesi	No_131	2014	Ayrılmış_kayaç	Paletli	2-4
Kömür İşletmesi	No_134	2010	Ayrılmış_kayaç	Paletli	0-2
Demir İşletmesi	No_138	2007	Toprak	Paletli	4-6
Demir İşletmesi	No_141	2005	Bloklu_toprak	Paletli	2-4
Cevher Hazırlama Tesisi	No_146	2004	Demir_curuf	Paletli	0-2
Altın İşletmesi	No_155	2005	Toprak	Paletli	2-4
Altın İşletmesi	No_157	2011	Toprak	Paletli	2-4
Altın İşletmesi	No_162	2011	Az_ayrılmış_kayaç	Paletli	4-6
Altın İşletmesi	No_163	2011	Az_ayrılmış_kayaç	Paletli	2-4
Altın İşletmesi	No_164	2011	Az_ayrılmış_kayaç	Paletli	2-4
Altın İşletmesi	No_166	2011	Az_ayrılmış_kayaç	Paletli	2-4
Altın İşletmesi	No_168	2011	Az_ayrılmış_kayaç	Paletli	2-4
Altın İşletmesi	No_178	2009	Az_ayrılmış_kayaç	Paletli	0-2
Kömür İşletmesi	No_228	2007	Kömür	Paletli	4-6
Kömür İşletmesi	No_303	2013	Toprak	Paletli	6-10
Altın İşletmesi	No_307	2016	Az_ayrılmış_kayaç	Paletli	0-2

Hidrolik terskepçe ekskavatörlerin TVT maruziyeti ölçümleri, üç adedi koltuktan (Seat_x, Seat_y, Seat_z), üç adedi de kabin zemininden (Floor_x, Floor_y, Floor_z) olmak üzere toplam altı kanaldan, aracın çok sayıda tam çevrimini kapsayacak biçimde gerçekleştirilmiştir. Titreşim analizörü ile frekans ağırlıklı ivme (a_w), titreşim dozu (VDV), maksimum geçici titreşim değeri (MTVV), tepe titreşim ivmesi (PEAK) ve tepe-tepe titreşim ivmesi (P-P) ölçülerek, değerlendirilmiştir. Kayıt süreleri 4 dakika 4 saniye ile 28 dakika 00 saniye arasında değişmiştir. ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca TVT maruziyeti değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılan parametrelerin değerleri, koltuk ve zemin için hesaplanmıştır.

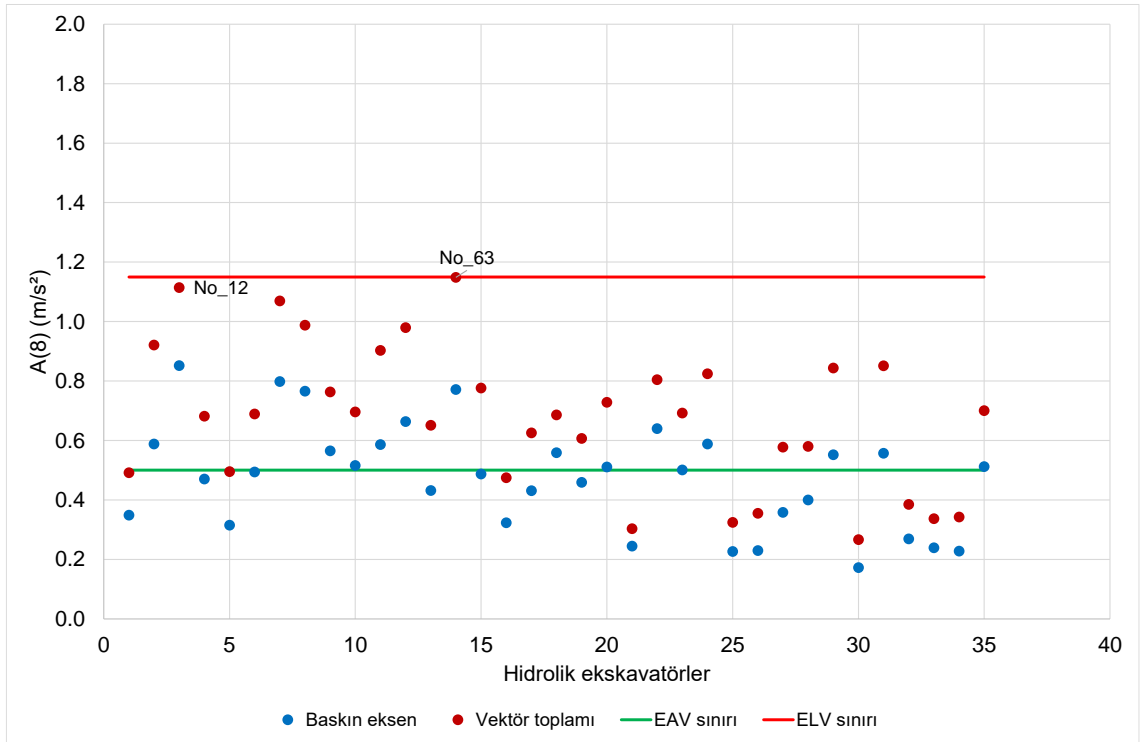
5.2 Net Kayıt (RECORD) Evresi

5.2.1 Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme

Hidrolik terskepçe ekskavatörlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri baskın eksen (EKDE) üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $A(8)_{\text{Seat}}$, ortalama ve standart sapması

($0,476 \pm 0,175$) m/s^2 olacak biçimde $0,172 m/s^2$ ile $0,852 m/s^2$ arasında değişmiştir. Diğer yandan ekskavatörlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam (VT) üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $Vector_{1-3}$, ortalama ve standart sapması ($0,677 \pm 0,237$) m/s^2 olacak biçimde $0,266 m/s^2$ ile $1,148 m/s^2$ arasında değişmiştir.

En yüksek titreşim kaydedilen baskın eksen 23 ekskavatörde X eksen (Ch1), 12 ekskavatörde ise Z eksen (Ch3) olmuştur. Tüm ekskavatörlerin EKDE ve VT ölçütlerine göre $A(8)_{Seat}$ değerlerinin EAV ve ELV sınırları ile karşılaştırılması Şekil 5.1'de sunulmuştur.



Şekil 5.1 Hidrolik terskepçe ekskavatörlerin $A(8)$ değerleri

Çizelge 5.2'de görüleceği üzere ekskavatörlerin EU 2002/44/EC direktifi ve ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, EKDE ölçütü dikkate alındığında araçların tümünün ELV sınırı altında, EAV ve HGCZ sınırları (dikkat bölgesi) içinde ($A(8)_{Seat} < 1,15 m/s^2$) ya da altında ($A(8)_{Seat} < 0,5 m/s^2$) olduğu görülmektedir. Her üç eksenenden vücuda iletilen TVT ivmesinin vektörel toplamını dikkate alan VT ölçütüne göre de, EU 2002/44/EC direktifi sınırları dikkate alındığında ekskavatörlerin hiçbiri ELV ve HGCZ sınırını aşmamaktadır. Daha koruyucu sınırlara sahip olan ISO 2631-1 (1997) standardına göre de ekskavatörlerin büyük bölümü EAV sınırları içinde titreşim üretmiş olmakla birlikte, %20 kadarı ELV sınırını aşmakta ve olumsuz sağlık etkilerine neden olabilecek duruma işaret etmektedir.

Çizelge 5.2 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi

Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		Bölge	ISO2631-1 HGCZ Bölgesi	
	EKDE	VT	EKDE	VT		EKDE	VT
EAV altında	18	10	14	7	HGCZ altında	14	7
EAV içinde	17	25	21	21	HGCZ içinde	21	21
ELV üstünde	0	0	0	7	HGCZ üstünde	0	7

Hidrolik terskepçe ekskavatörlerin maruziyet eylem değerine erişim süresi ($EAV_{TT(RMS)}$), EKDE üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması ($14:42:39 \pm 14:12:17$) sa olacak biçimde $02:45:19$ sa ile $67:26:50$ sa arasında değişmiştir. Diğer yandan ekskavatörlerin maruziyet sınır değerine erişim süresi ($ELV_{TT(RMS)}$), EKDE üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması ($77:49:13 \pm 75:08:35$) sa olacak biçimde $14:34:30$ sa ile $356:47:44$ sa arasında değişmiştir. Bu durumda toplam 35 ekskavatörden 17 adedi 8 saatlik vardiya süresi bitmeden operatörü maruziyet eylem değerine ulaştırarak kadar titreşime maruz bırakırken hiçbir ekskavatör maruziyet sınır değerine erişmemektedir.

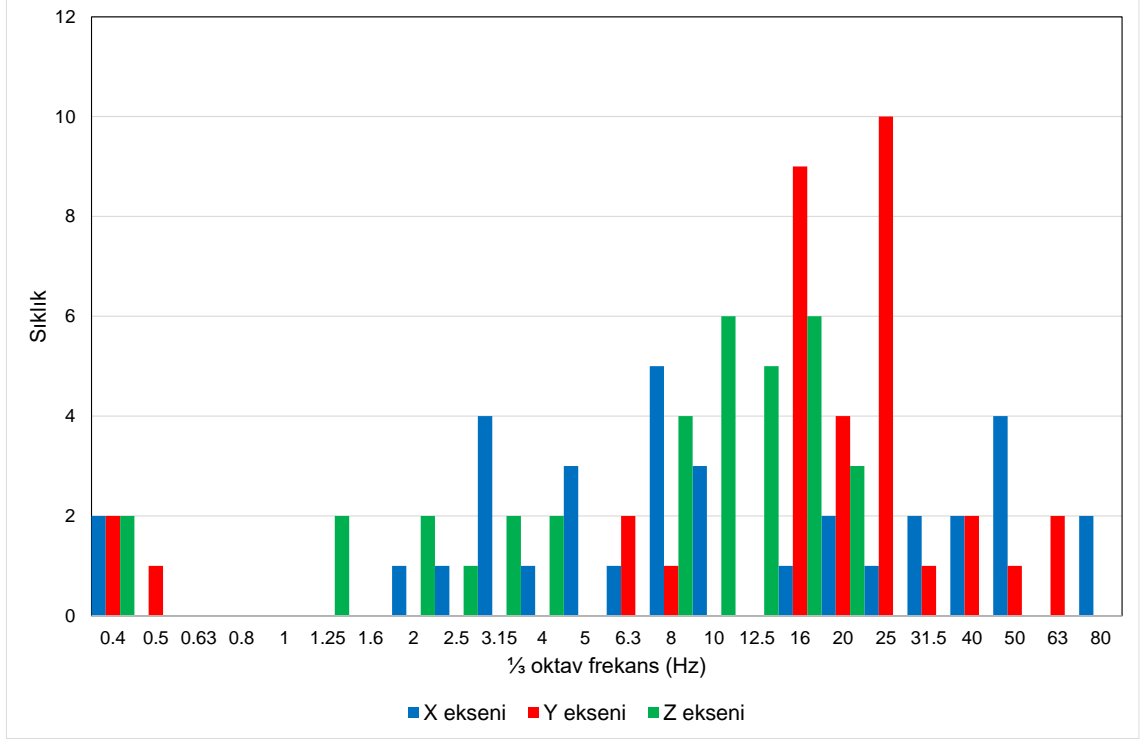
Doruk faktörü, operatörlerin maruz kaldığı ani yüklem ve şokları göstermekte olup ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca doruk faktörünün 9'dan büyük olduğu durumlarda maruziyet değerlendirilmesi titreşim ivmesi ile titreşim dozu değerleri birlikte dikkate alınarak yapılmalıdır. Net kayıt evresinde operatör koltuğunda X, Y ve en kötü durum Z ekseninde sırasıyla 30, 34 ve 35 ekskavatörün doruk faktörü 9'dan büyüktür.

Doruk faktörü	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	7,478	8,027	9,031
En büyük	16,855	25,048	70,152
Ortalama	11,823	13,437	25,631
Standart sapma	2,582	3,363	15,367
≥ 9	30	34	35
< 9	5	1	0

Ekskavatör operatörlerinin maruz kaldığı TVT ivmesine ait frekans spektrumu $\frac{1}{3}$ oktav bant dağılımı ile değerlendirildiğinde 0,4 Hz ile 80 Hz arasındaki merkez bant frekanslarına göre her ikisi de yatay düzlemdeki ortogonal eksenler boyunca oluşan titreşimin X ekseninde 2 Hz – 50 Hz aralığına, Y ekseninde 16 Hz – 63 Hz aralığına yoğunlaştığı görülmektedir. Diğer yandan, Z eksenini incelendiğinde baskın frekans 1,25 Hz – 20 Hz aralığındadır. Her üç eksenindeki TVT ivmelerine ait baskın frekans dağılımı Şekil 5.2'de verilmiştir.

Operatör koltuğunun titreşim sönümlenme özelliğini gösteren koltuk etkinliği genlik geçirgenliği (SEAT) faktörü X eksenini için 0,638 ile 1,213 arasında, Y eksenini için 0,444 ile 1,431 arasında ve Z eksenini için 0,449 ile 1,451 arasında değişmiştir. Her üç ekseninde de zeminde oluşan titreşim ekskavatörlerin bir kısmında koltukta sönümlenirken, bir kısmında şiddetlenmiştir. Buna göre titreşim, X ve Y eksenlerinde 9 ekskavatörde sönümlenirken, 26 ekskavatörde şiddetlenmiştir. Ancak Z ekseninde zeminde oluşan titreşim 32 ekskavatörde koltukta sönümlenirken 3

ekskavatörde şiddetlenmiştir. Operatör koltuğu titreşimi Z ekseninde başarılı biçimde sönümlenmektedir.

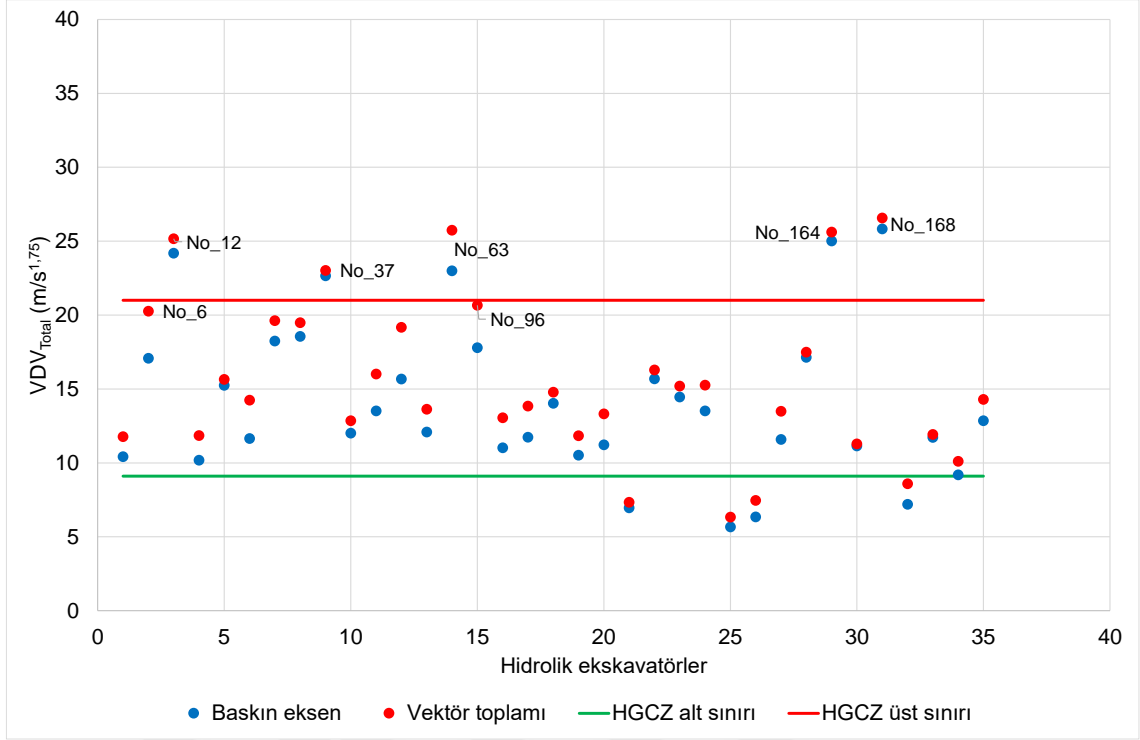


Şekil 5.2 Hidrolik terskepçe ekskavatörlerin A(8) değerlerinin 1/3 oktav baskın frekansları

5.2.2 Titreşim dozu üzerinden değerlendirme

Hidrolik terskepçe ekskavatörlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT dozu değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde VDV_{Total} , ortalama ve standart sapması $(14,149 \pm 5,188) m/s^{1.75}$ olacak biçimde $5,669 m/s^{1.75}$ ile $25,824 m/s^{1.75}$ arasında değişmiştir. Diğer yandan ekskavatörlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT dozu değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $Vector_{1-3}$, ortalama ve standart sapması $(15,522 \pm 5,281) m/s^{1.75}$ olacak biçimde $6,330 m/s^{1.75}$ ile $26,571 m/s^{1.75}$ arasında değişmiştir.

En yüksek titreşim dozu kaydedilen en kötü durum eksen 15 ekskavatörde X eksen (Ch1), 20 ekskavatörde ise Z eksen (Ch3) olmuştur. Tüm ekskavatörlerin EKDE ve VT ölçütlerine göre VDV_{Total} değerlerinin HGZ sınırları ile karşılaştırılması Şekil 5.3'de sunulmuştur. Şekil 5.2 ve 5.3 incelendiğinde ELV sınırını aynı ekskavatörlerin aştığı görülmektedir. Sınırı aşan ekskavatörlerin küçük kepçe kapasitesine sahip, bloklu malzemelerde çalışan makineler olduğu görülmektedir.



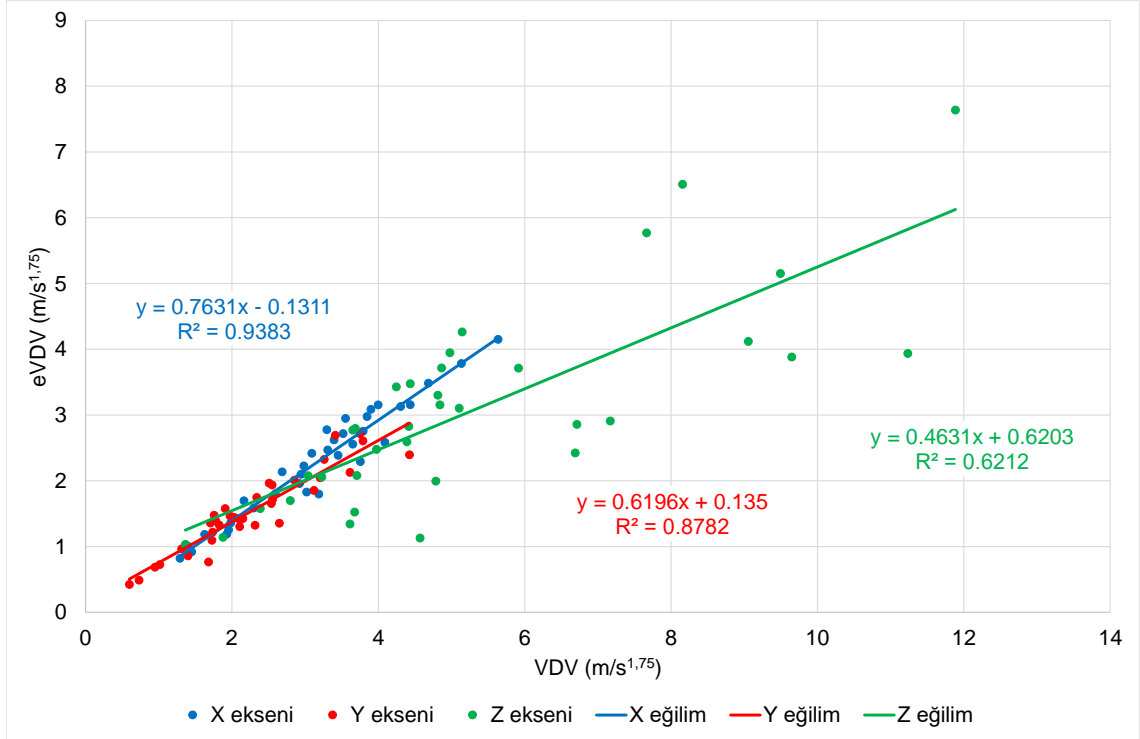
Şekil 5.3 Hidrolik terskepçe ekskavatörlerin VDV_{Total} değerleri

Çizelge 5.3'de görüleceği üzere hidrolik terskepçe ekskavatörlerin BS 6841 (1987) ile ISO 2631-1 (1997) standartları ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum eksen ölçütü dikkate alındığında araçların büyük bölümünün ELV sınırı altında, EAV bölgesi içinde olduğu görülmektedir. Vektör toplamı açısından değerlendirme yapıldığında, ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) ölçütlerine göre EAV ile ELV bölgeleri arasında önemli geçişler bulunmamaktadır. Bu da, eksenlerden birisinde kaydedilen titreşim dozunun, diğer iki eksenden önemli oranda büyük olduğuna işaret etmektedir. Diğer yandan BS 6841 (1987) standardı uyarınca değerlendirme yapıldığında, EKDE ve VT ölçütlerine göre tehlike sınırı olan 15 m/s^{1.75} altındaki ve üzerindeki bölgelerdeki ekskavatör adetlerinin yer değiştirmedeği görülmektedir. Buradan, ekskavatör operatörlerinin büyük bölümünün maruz kaldığı TVT dozunun, tehlike sınırı altında kaldığı ortaya çıkmaktadır.

Tez çalışması kapsamında tüm ekskavatörlerin kestirilen titreşim dozu değeri de (eVDV, m/s^{1.75}) BS 6841 (1987) standardı uyarınca hesaplanmıştır. Örneklenen 35 adet ekskavatörün X, Y, Z eksenlerinin tümünde doruk faktörü 6'dan büyük çıkmıştır. Bu durum ekskavatör operasyonlarında şokların büyük etkisinin bulunduğunu göstermektedir. Yine de, VDV ile RMS üzerinden kestirilen eVDV arasındaki ilişkiyi göstermek amacıyla eVDV değerleri hesaplanmıştır. Ancak doruk faktörünün >6 olduğu durumlarda 1,4'lük çarpan kullanılmamıştır. Sonuçta oluşan tabloda, her üç eksen için VDV – eVDV ilişkisi Şekil 5.4'de verilmiştir. Her üç veri gurubu için doğrusal regresyon analizi yapılmış olup, belirlilik katsayıları %62,12 ile %93,83 arasında değişmekte ve beklendiği gibi, regresyon eşitliğinin güçlü olduğuna işaret etmektedir.

Çizelge 5.3 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi

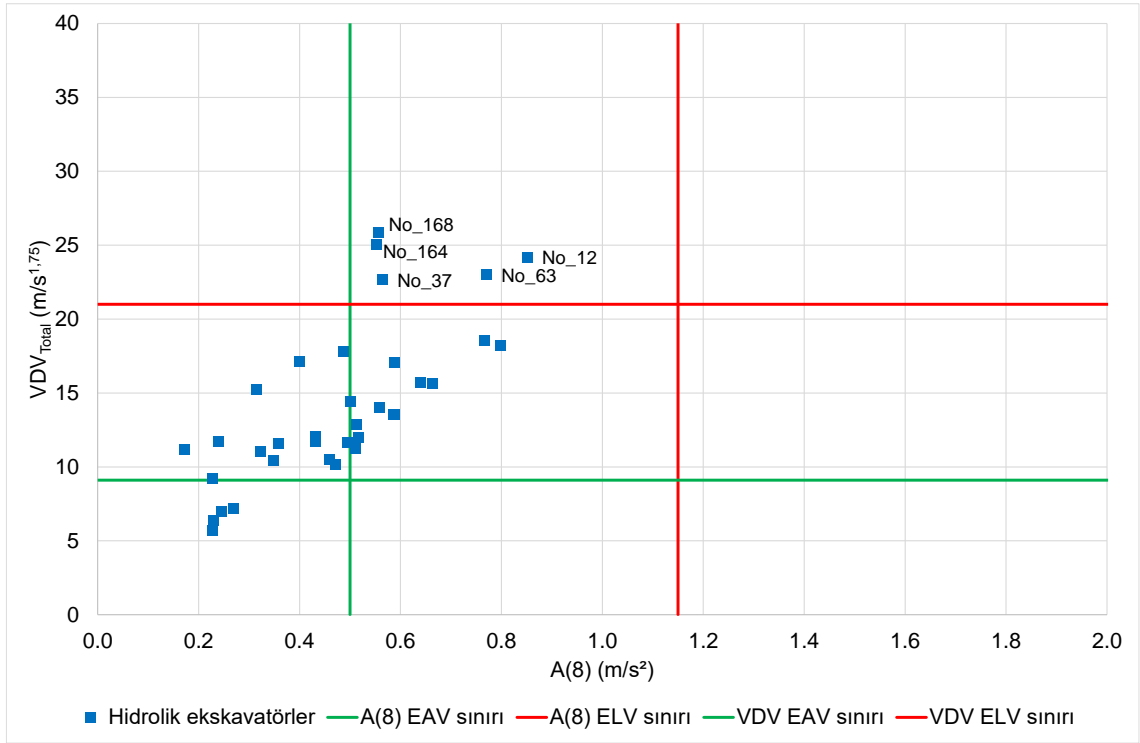
Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)	
	EKDE	VT	EKDE	VT	EKDE	VT
EAV altında	4	4	4	3	22	19
EAV içinde	26	26	21	21	-	-
ELV üstünde	5	5	10	11	13	16



Şekil 5.4 Hidrolik terskepçe ekskavatörlerin VDV – eVDV ilişkisi

Hidrolik terskepçe ekskavatörlerin maruziyet eylem değerine erişim süresi ($EAV_{TT(VDV)}$), en kötü durum ekseni üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması (05:33:41 \pm 10:47:11) sa olacak biçimde 00:07:24 sa ile 53:07:53 sa arasında değişmiştir. Diğer yandan ekskavatörlerin maruziyet sınır değerine erişim süresi ($ELV_{TT(VDV)}$), en kötü durum ekseni üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması (157:43:11 \pm 305:54:30) sa olacak biçimde 03:12:43 sa ile 1506:49:22 sa arasında değişmiştir. Bu durumda toplam 35 ekskavatörden 31 adedi 8 saatlik vardiya süresi bitmeden operatörü maruziyet eylem değerine ulaştıracak kadar titreşime maruz bırakırken 5 adedi vardiya bitmeden maruziyet sınır değerine erişirmektedir.

Ekskavatör operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) (A(8)) ile (VDV_{total}) ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 5.5'de sunulmuştur. A(8) ELV sınırını aşan ekskavatör yokken, VDV_{total} üst sınırını aşan 5 ekskavatör vardır. Her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan ekskavatör bulunmamaktadır.



Şekil 5.5 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin A(8) – VDV_{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki

5.2.3 Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme

Hidrolik terskepçe ekskavatör operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri kullanılarak hesaplanan eşdeğer statik basınç dozu (S_{ed}) değerleri ortalama ve standart sapması ($0,583 \pm 0,363$) MPa olacak biçimde $0,147$ MPa ile $1,391$ MPa arasında değişmiştir. Diğer yandan ekskavatör operatörlerinin günlük risk faktörü ($R(IOP)$), ortalama ve standart sapması ($0,532 \pm 0,333$) olacak biçimde $0,124$ ile $1,314$ arasında, $R(TOP)$ faktörleri ortalama ve standart sapması ($0,729 \pm 0,453$) olacak biçimde $0,184$ ile $1,740$ arasında değişmiştir.

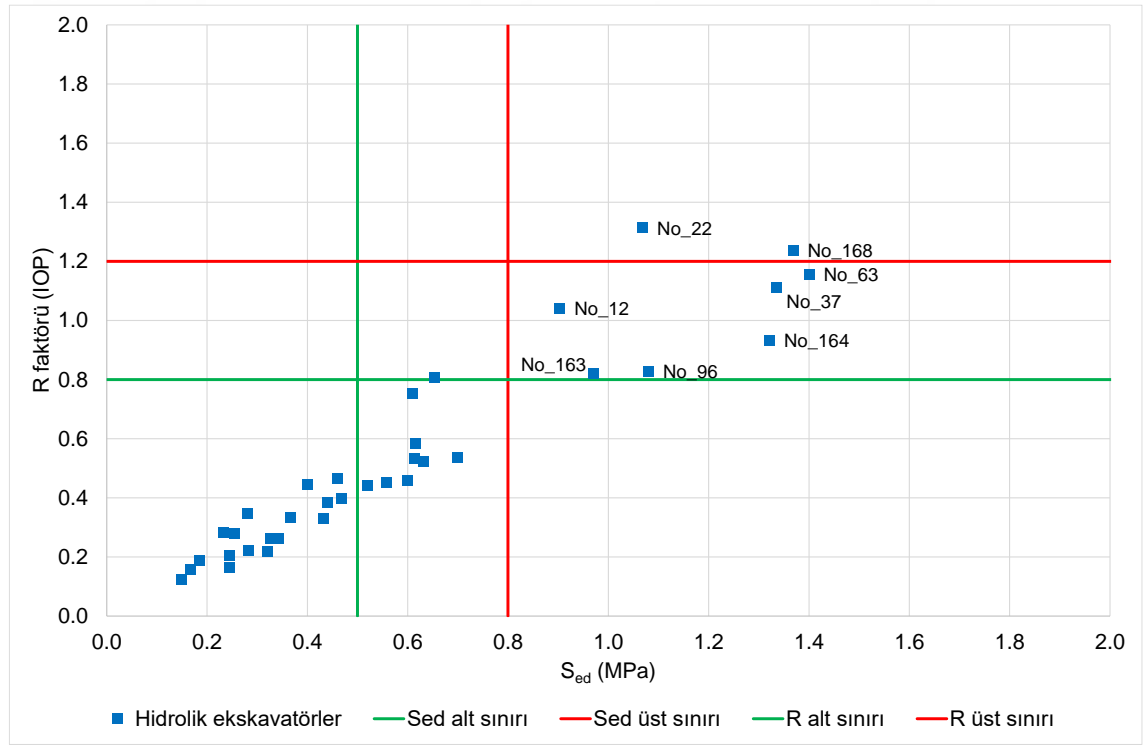
Tüm ekskavatör operatörleri S_{ed} ölçütüne göre değerlendirildiğinde; 18 operatör $0,5$ MPa'dan düşük basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı düşük, 9 operatör $0,5$ MPa – $0,8$ MPa arası basınca maruz kaldığından titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı orta ve 8 operatör $0,8$ MPa'dan yüksek basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı büyüktür.

Ekskavatör operatörleri $R(IOP)$ ölçütüne göre değerlendirildiğinde; 26 operatörün R faktörü $0,8$ 'den düşük olup sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığı düşük, 7 operatörün R faktörü $0,8$ – $1,2$ arası olduğundan sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığı orta ve 2 operatörün R faktörü $1,2$ 'den büyük olduğundan sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığı büyüktür. Ekskavatör operatörlerinin her iki ölçüte göre risk sınırları ile karşılaştırılması Şekil 5.6'da

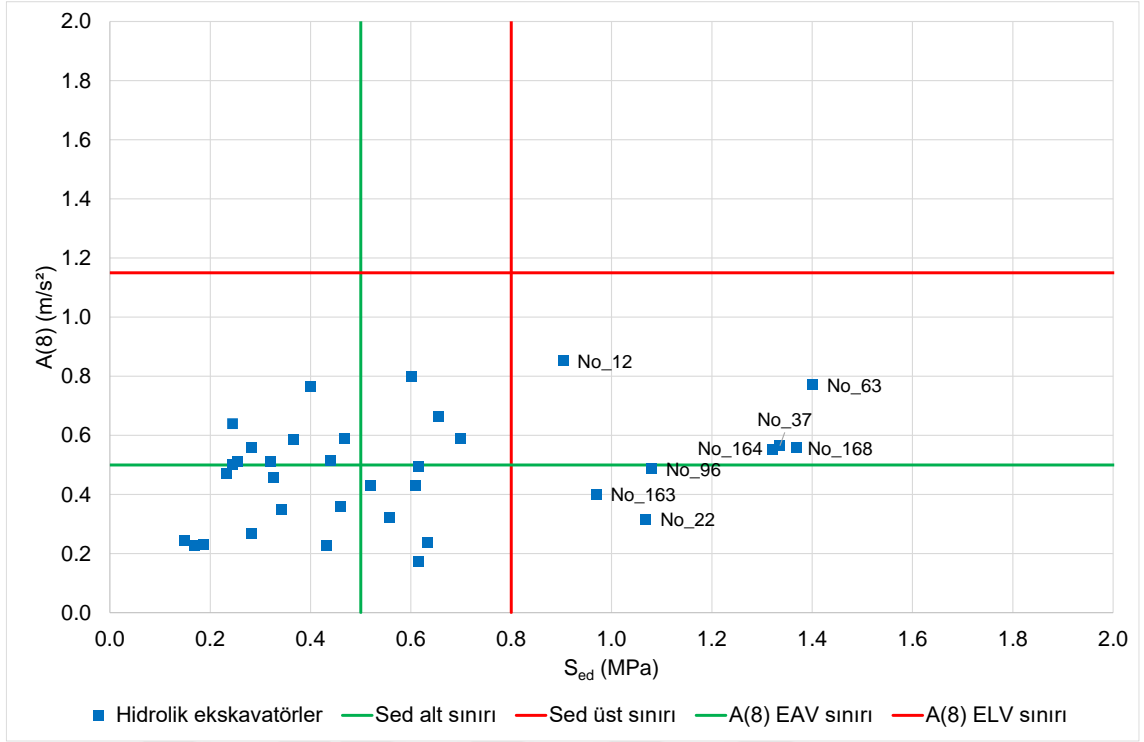
sunulmuştur. Her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan 2 adet ekskavatör bulunmaktadır.

Ekskavatör operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) (A(8)) ile ISO 2631-5 (2004) (S_{ed}) ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 5.7'de sunulmuştur. A(8) ELV sınırını aşan ekskavatör yokken, S_{ed} üst sınırını aşan 8 ekskavatör vardır. Ancak her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan ekskavatör bulunmamaktadır.

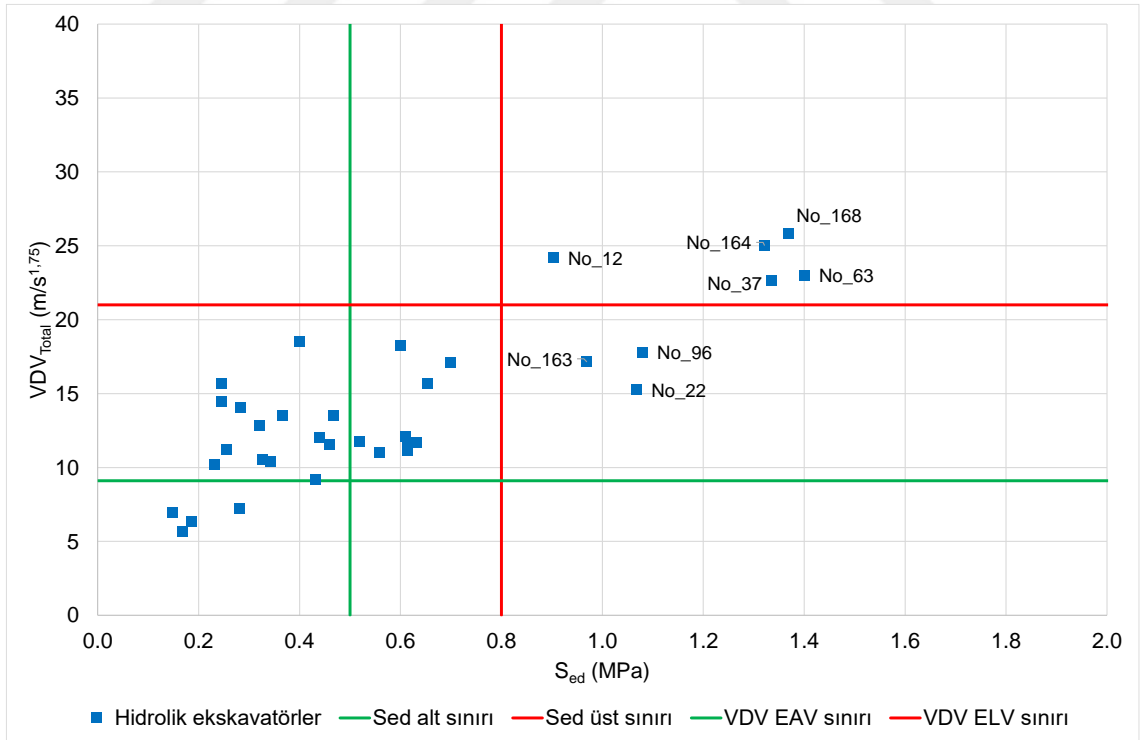
Ekskavatör operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) (VDV_{Total}) ile ISO 2631-5 (2004) (S_{ed}) ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 5.8'de sunulmuştur. VDV_{Total} ELV sınırını aşan 5 ekskavatör, S_{ed} üst sınırını aşan 8 ekskavatör ve her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan 5 adet ekskavatör bulunmaktadır. Aynı ekskavatörler sınır değerlerini geçmektedir.



Şekil 5.6 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin S_{ed} – R faktörü ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki



Şekil 5.7 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin S_{ed} – $A(8)$ ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki



Şekil 5.8 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin S_{ed} – VDV_{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki

5.3 Evrelerin Değerlendirilmesi

5.3.1 Titreşim ivmesi üzerinden tüm evrelerin değerlendirilmesi

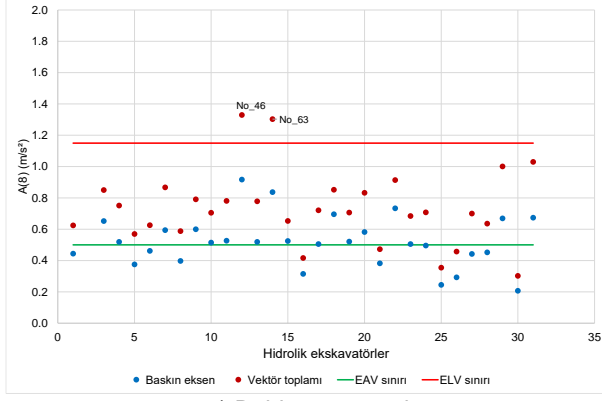
Hidrolik terskepeç ekskavatör operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $A(8)_{Seat}$, Vektör₁₋₃, EAV ve ELV değerleri tüm evreler bazında Çizelge 5.4'de verilmiştir. Operatörlerin en yüksek TVT maruziyeti ileri yürüme evresinde meydana gelirken bunu, aynada hazırlık ve doldurma evreleri izlemektedir. Boşaltma evresi düşük düzeyli maruziyet ile temsil edilmekte olup en düşük titreşim bekleme evresinde oluşmaktadır. Hidrolik terskepeç ekskavatörlerin evreler bazında en kötü durum ekseni ve vektör toplamı ölçütlerine göre $A(8)_{Seat}$ değerlerinin EAV ve ELV sınırları ile karşılaştırılması Şekil 5.9a-e'de sunulmuştur.

Hidrolik ekskavatörlerin EU 2002/44/EC direktifi ve ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum ölçütü dikkate alındığında araçların oldukça büyük bölümünün EAV ve HGCZ sınırları (dikkat bölgesi) altında olduğu görülmektedir (Çizelge 5.5). Bekleme ve boşaltma evrelerinde ekskavatörlerin hemen tümü maruziyet eylem değeri altında ($A(8)_{Seat} < 0,5 \text{ m/s}^2$) eşdeğer titreşim ivmesi üretmiş ancak ileri yürüme evresinde 2 ekskavatör maruziyet sınır değeri aşan ($A(8)_{Seat} \geq 1,15 \text{ m/s}^2$) eşdeğer titreşim ivmesi üretmiştir. Vektör toplamı ölçütü dikkate alındığında tablo küçük değişiklik ile benzer yapıdadır ve EAV sınırı altındaki birkaç araç, EAV bölgesine geçmektedir.

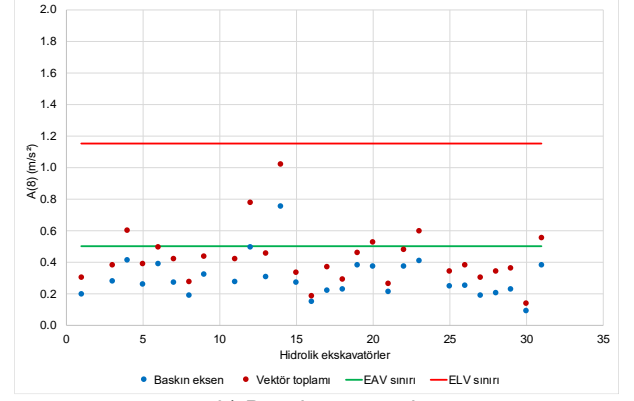
En kötü durum ekseni ileri yürüme ve bekleme evrelerinde Z (Ch3), doldurma, boşaltma ve aynada hazırlık evrelerinde ise X ekseni (Ch1) olmuştur (Çizelge 5.6).

Eksenler ve evreler bazında doruk faktörleri Çizelge 5.7'de verilmektedir. Z ekseni evrelerin hemen tümünde yüksek şoklar ile karakterize edilmektedir ve bu ekseninde ekskavatörlerin büyük bölümünün doruk faktörü 9 ya da daha büyüktür. Ancak X ve Y eksenlerinde kaydedilen TVT ivmesi değerleri bu davranışın tersine eğilim göstermiştir. Her iki ekseninde de daha fazla sayıda evrede doruk faktörü 9'dan küçüktür. Buradan, X ve Y eksenlerinde oluşan titreşimin daha istikrarlı ve dengeli bir yapıya sahip olduğu söylenebilir.

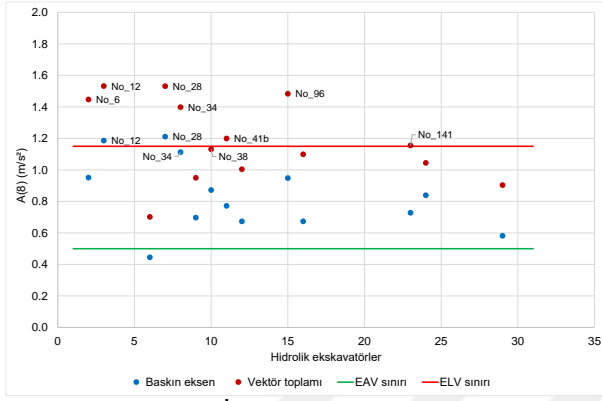
Operatör koltuğunun titreşim sönümlenme özelliğini gösteren koltuk etkinliği genlik geçirgenliği faktörünün (SEAT) evreler bazındaki değerleri Çizelge 5.8'de verilmiştir. Hemen tüm evrelerde Z ekseninde koltuğa iletilen titreşim, zeminden düşüktür. Operatör koltuğu Z ekseninde güçlü biçimde titreşim sönümleyici özellik göstermektedir. Ancak koltuk, X ve Y eksenlerinde tam tersi davranış sergilemekte ve evrelerin hemen tümünde zemindeki titreşimi şiddetlendirerek koltuğa, dolayısıyla operatöre aktarmaktadır.



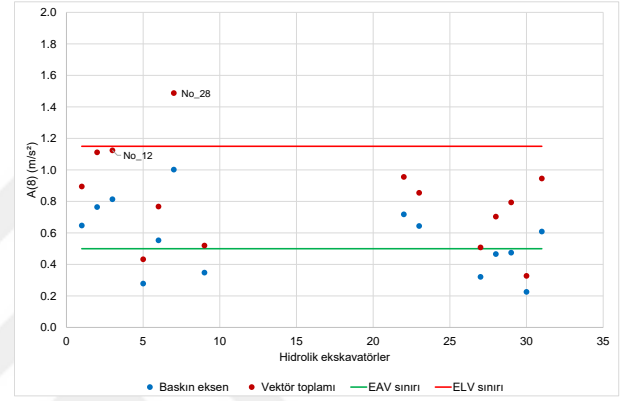
a) Doldurma evresi



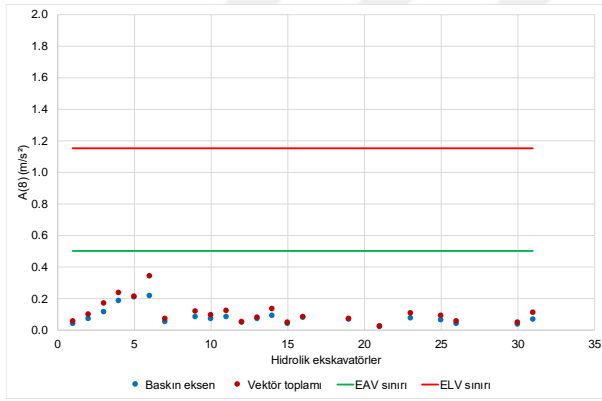
b) Boşaltma evresi



c) İleri yürüme evresi



d) Aynada hazırlık evresi



e) Bekleme evresi

Şekil 5.9 Hidrolik terskepçe ekskavatör evrelerinde A(8) değerleri

Çizelge 5.4 Hidrolik terskepçe ekskavatör döngü evrelerinde titreşim ivmesi parametreleri

Evre	A(8) (m/s ²)				Vektör ₁₋₃ (m/s ²)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Doldurma	0,501	0,162	0,207	0,917	0,706	0,235	0,302	1,329
Boşaltma	0,295	0,124	0,091	0,753	0,418	0,171	0,137	1,019
İleri yürüme	0,835	0,219	0,445	1,211	1,184	0,250	0,702	1,532
Ayna hazırlık	0,541	0,210	0,226	1,002	0,781	0,293	0,327	1,488
Bekleme	0,085	0,053	0,020	0,218	0,114	0,073	0,025	0,341
	EAV _{TT(RMS)} (sa)				ELV _{TT(RMS)} (sa)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Doldurma	11:34:34	09:46:06	02:22:42	>24	>24	>24	12:34:55	>24
Boşaltma	>24	>24	03:31:31	>24	>24	>24	18:38:58	>24
İleri yürüme	03:35:55	02:12:28	01:21:50	10:05:59	19:02:12	11:40:47	07:12:52	>24
Ayna hazırlık	11:30:51	10:13:05	01:59:31	>24	>24	>24	10:32:16	>24
Bekleme	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24

Çizelge 5.5 Hidrolik terskepçe ekskavatör döngü evrelerinde operatörlerin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi

Evre	Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		Bölge	ISO2631-1 HGCZ Bölgesi	
		EKDE	VT	EKDE	VT		EKDE	VT
Doldurma (34 araç)	EAV altında	15	7	12	5	HGCZ altında	10	5
	EAV içinde	19	25	21	24	HGCZ içinde	23	23
	ELV üstünde	-	2	1	5	HGCZ üstünde	1	6
Boşaltma (32 araç)	EAV altında	31	25	30	21	HGCZ altında	30	20
	EAV içinde	1	7	2	10	HGCZ içinde	2	11
	ELV üstünde	0	0	0	1	HGCZ üstünde	0	1
İleri yürüme (14 araç)	EAV altında	1	0	1	0	HGCZ altında	0	0
	EAV içinde	11	7	8	1	HGCZ içinde	8	1
	ELV üstünde	2	7	5	13	HGCZ üstünde	6	13
Aynada hazırlık (17 araç)	EAV altında	8	3	6	3	HGCZ altında	6	2
	EAV içinde	9	13	10	9	HGCZ içinde	10	9
	ELV üstünde	0	1	1	5	HGCZ üstünde	1	6
Bekleme (26 araç)	EAV altında	26	26	26	26	HGCZ altında	26	26
	EAV içinde	0	0	0	0	HGCZ içinde	0	0
	ELV üstünde	0	0	0	0	HGCZ üstünde	0	0

Çizelge 5.6 Hidrolik terskepçe ekskavatör döngü evrelerinde A(8) değerine göre en kötü durum eksenleri

Evre	Ekskavatör adedi		
	X (Ch1)	Y (Ch2)	Z (Ch3)
Doldurma	25	-	9
Boşaltma	25	-	7
İleri yürüme	3	1	10
Aynada hazırlık	9	-	8
Bekleme	2	3	17

Çizelge 5.7 Hidrolik terskepçe ekskavatör döngü evrelerinde titreşim ivmesi doruk faktörleri

Doruk faktörü	Doldurma			Boşaltma			İleri yürüme		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	6,894	6,015	7,109	4,867	5,722	6,583	3,119	4,459	6,199
En büyük	16,125	16,452	40,109	17,038	18,200	22,900	9,398	11,123	23,126
Ortalama	10,133	11,016	18,267	9,268	8,671	12,650	6,914	7,603	11,911
Std. sapma	2,559	2,312	9,678	3,159	2,570	4,368	1,439	1,713	5,365
≥9	20	27	31	15	10	25	1	3	7
<9	14	7	3	17	22	7	13	11	7
Doruk faktörü	Aynada hazırlık			Bekleme					
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z			
En küçük	5,120	5,186	6,291	4,833	5,086	4,091			
En büyük	14,388	14,409	46,872	27,714	21,040	50,655			
Ortalama	8,693	8,631	15,325	10,470	9,418	14,352			
Std. sapma	2,412	2,672	10,429	5,243	4,223	10,123			
≥9	6	7	11	13	10	16			
<9	11	10	6	13	16	10			

Çizelge 5.8 Hidrolik terskepçe ekskavatör döngü evrelerinde titreşim ivmesi SEAT faktörleri

SEAT faktörü	Doldurma			Boşaltma			İleri yürüme		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	0,897	0,927	0,408	0,848	0,638	0,411	0,476	0,392	0,490
En büyük	1,260	1,424	1,455	1,333	1,486	1,443	1,292	1,306	1,006
<1	6	7	30	17	4	22	5	2	13
≥1	28	27	4	15	28	10	9	12	1
SEAT faktörü	Aynada hazırlık			Bekleme					
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z			
En küçük	0,904	0,778	0,519	0,800	0,911	0,178			
En büyük	1,169	1,628	1,413	5,571	5,778	6,926			
<1	8	3	15	11	1	9			
≥1	9	14	2	15	25	17			

5.3.2 Titreşim dozu üzerinden tüm evrelerin değerlendirilmesi

Hidrolik terskepçe ekskavatörlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT dozu değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde VDV_{Total} , $Vector_{1-3}$, $EAV_{TT(VDV)}$ ve $ELV_{TT(VDV)}$ değerleri Çizelge 5.9'da verilmektedir. En yüksek titreşim dozu maruziyeti ileri yürüme evresinde meydana gelirken bunu, aynada hazırlık ve doldurma evreleri izlemektedir. Boşaltma ve bekleme evreleri düşük titreşim dozu ile karakterize edilmektedir. Tüm ekskavatörlerin en kötü durum eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre VDV_{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması Şekil 5.10a-e'de sunulmuştur.

Hidrolik ekskavatörlerin BS 6841 (1987), ISO 2631-1 (1997) standartları ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum (baskın eksen) ölçütü dikkate alındığında araçların büyük bölümünün ELV sınırı altında, EAV bölgesi içinde olduğu görülmektedir (Çizelge 5.10). Vektör toplamı açısından ise ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) ölçütlerine göre EAV ile ELV bölgeleri arasında önemli geçişler bulunmamaktadır. Bu da, bir eksendeki TVT dozu maruziyetinin, diğer iki eksenin önemli

oranda büyük olduğuna işaret etmektedir. Daha koruyucu sınırlara sahip olan BS 6841 (1987) standardı uyarınca değerlendirme yapıldığında da benzer sonuçlara ulaşılmıştır.

En kötü durum eksenleri ileri yürüme, aynada hazırlık ve bekleme evrelerinde Z (Ch3), doldurma ve boşaltma evrelerinde ise X (Ch1) olmuştur (Çizelge 5.11).

Çizelge 5.9 Hidrolik terskepeçe ekskavatör döngü evrelerinde titreşim dozu parametreleri

Evre	VDV _{Total} (m/s ^{1,75})				Vektör ₁₋₃ (m/s ^{1,75})			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Doldurma	14,141	6,259	5,524	30,786	15,426	6,220	6,442	31,334
Boşaltma	7,614	3,725	2,090	19,774	8,412	3,838	2,431	20,256
İleri yürüme	19,333	4,750	12,461	29,563	21,483	4,833	13,619	30,667
Ay. hazırlık	14,660	6,098	6,539	30,133	16,261	6,035	7,911	30,511
Bekleme	2,680	2,387	0,576	11,151	2,834	2,409	0,674	11,267
	EAV _{TT(VDV)} (sa)				ELV _{TT(VDV)} (sa)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Doldurma	06:02:05	10:57:21	00:03:40	>24	>24	>24	01:43:55	>24
Boşaltma	>24	>24	00:21:32	>24	>24	>24	10:10:34	>24
İleri yürüme	00:39:50	00:35:26	00:04:19	02:16:31	18:49:48	16:44:58	02:02:13	>24
Ay. hazırlık	04:56:13	07:23:09	00:04:00	>24	>24	>24	01:53:13	>24
Bekleme	>24	>24	03:32:53	>24	>24	>24	>24	>24

Çizelge 5.10 Hidrolik terskepeçe ekskavatör döngü evrelerinde operatörlerin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi

Evre	Ölçüt	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)	
		EKDE	VT	EKDE	VT	EKDE	VT
Doldurma (34 araç)	EAV altında	7	5	6	3	23	19
	EAV içinde	23	24	20	22	-	-
	ELV üstünde	4	5	8	9	11	15
Boşaltma (32 araç)	EAV altında	24	20	23	18	30	29
	EAV içinde	8	12	8	12	-	-
	ELV üstünde	-	-	1	2	2	3
İleri yürüme (14 araç)	EAV altında	-	-	-	-	2	1
	EAV içinde	9	7	6	1	-	-
	ELV üstünde	5	7	8	13	12	13
Aynada hazırlık (17 araç)	EAV altında	4	1	2	1	10	6
	EAV içinde	10	12	11	11	-	-
	ELV üstünde	3	4	4	5	7	11
Bekleme (26 araç)	EAV altında	25	25	25	25	26	26
	EAV içinde	1	1	1	1	-	-
	ELV üstünde	-	-	-	-	-	-

Çizelge 5.11 Hidrolik terskepeçe ekskavatör döngü evrelerinde VDV_{Total} değerine göre en kötü durum eksenleri

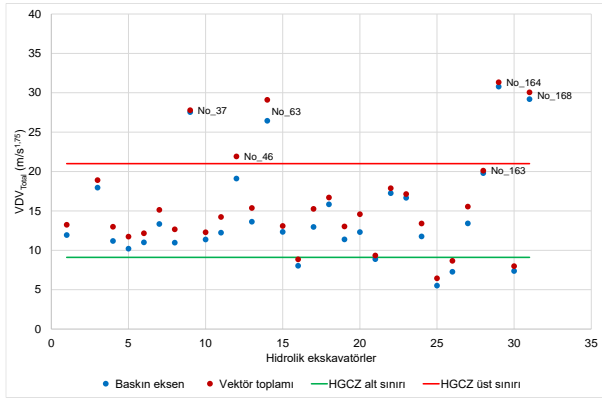
Evre	Hidrolik ekskavatör adedi		
	X (Ch1)	Y (Ch2)	Z (Ch3)
Doldurma	21	-	13
Boşaltma	19	-	13
İleri yürüme	2	1	11
Aynada hazırlık	7	1	9
Bekleme	1	5	20

Tüm hidrolik ekskavatörlerin kestirilen titreşim dozu değeri (eVDV, m/s^{1.75}) BS 6841 (1987) standardı uyarınca hesaplanmıştır. Standartta eVDV kestirimi için verilen formülün şoklar, tekrarlı şoklar ve geçici titreşimler için uygun olmadığı ve doruk faktörünün (PEAK/RMS) ≤6 olduğu durumlarda doğru sonuç vereceği ifade edilmektedir. Evreler ve eksenler bazında doruk faktörlerinin verildiği Çizelge 5.12, ekskavatör operasyonlarında şokların büyük etkisinin bulunduğunu göstermektedir. Yine de, VDV ile RMS üzerinden kestirilen eVDV arasındaki ilişkiyi göstermek amacıyla eVDV değerleri hesaplanmış olup belirlilik katsayıları %50 ile %98 arasında güçlü ilişkiye işaret etmektedir. Evrelerin VDV – eVDV ilişkisi Şekil 5.11a-e’de verilmiştir.

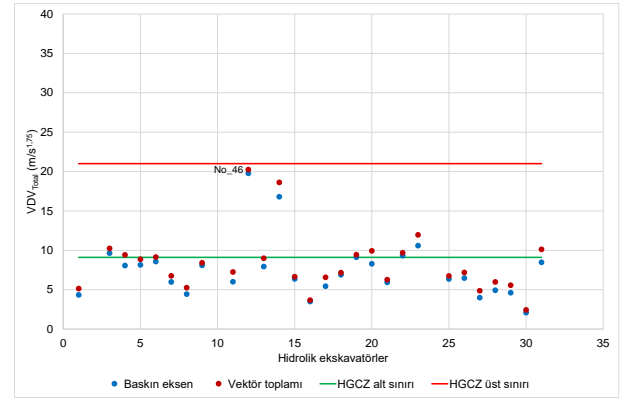
Çizelge 5.12 Hidrolik terskepçe ekskavatör döngü evrelerinde titreşim dozu doruk faktörleri

Doruk faktörü	Doldurma			Boşaltma			İleri yürüme		
	VDV _x	VDV _y	VDV _z	VDV _x	VDV _y	VDV _z	VDV _x	VDV _y	VDV _z
≥6	34	34	34	29	29	32	11	12	14
<6	0	0	0	3	3	0	3	2	0
R ²	0,89	0,93	0,67	0,93	0,94	0,82	0,98	0,94	0,83
Doruk faktörü	Aynada hazırlık			Bekleme					
	VDV _x	VDV _y	VDV _z	VDV _x	VDV _y	VDV _z			
≥6	16	14	17	20	21	23			
<6	1	3	0	6	5	3			
R ²	0,98	0,87	0,50	0,81	0,92	0,66			

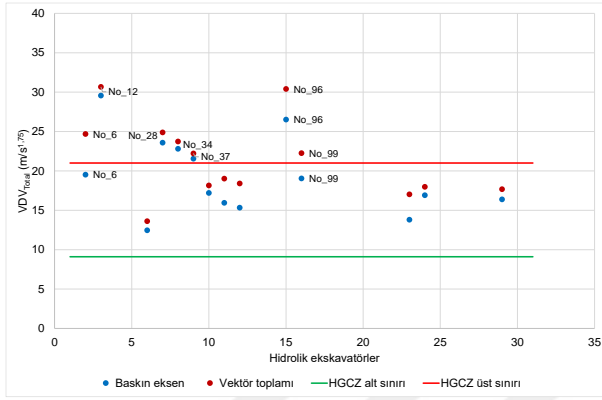
Ekskavatör operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) (A(8)) ile (VDV_{total}) ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 5.12a-e’de sunulmuştur. Operatörlerin düşük TVT dozuna maruz kaldığı boşaltma ve bekleme evrelerinde A(8) ve VDV_{Total} ELV sınırını aşan ekskavatör bulunmamaktadır. Doldurma ve aynada hazırlık evrelerinde A(8) ELV sınırını aşan ekskavatör yokken, VDV_{Total} ELV sınırını aşan 3 ve 2 adet ekskavatör bulunmaktadır. Ancak her iki evrede de her iki ELV sınırını aşarak yüksek sağlık riskine neden olan araç yoktur. Yüksek TVT dozu kaydedilen ileri yürüme evresinde A(8) ELV sınırını geçen 2 adet; VDV_{total} ELV sınırını aşan 5 adet ve her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan 2 adet ekskavatör bulunmaktadır.



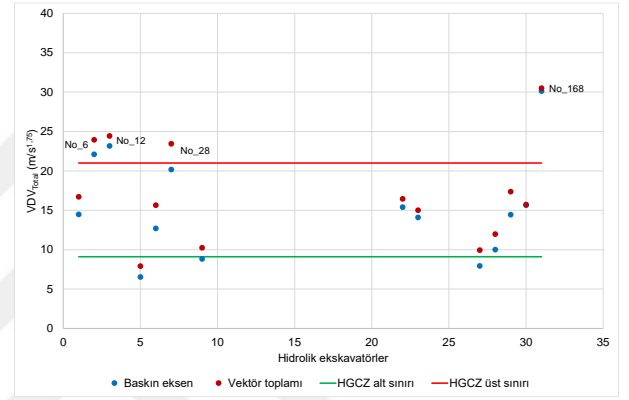
a) Doldurma evresi



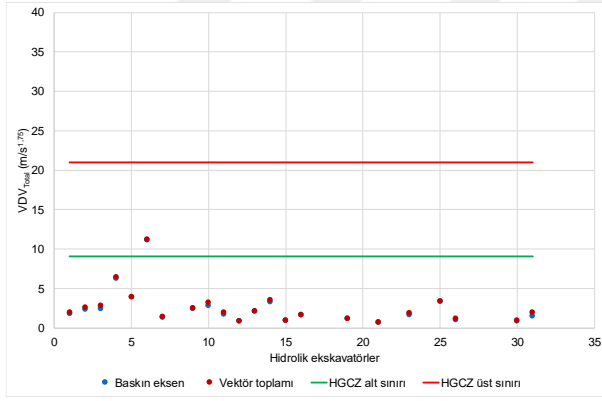
b) Boşaltma evresi



c) İleri yürüme evresi

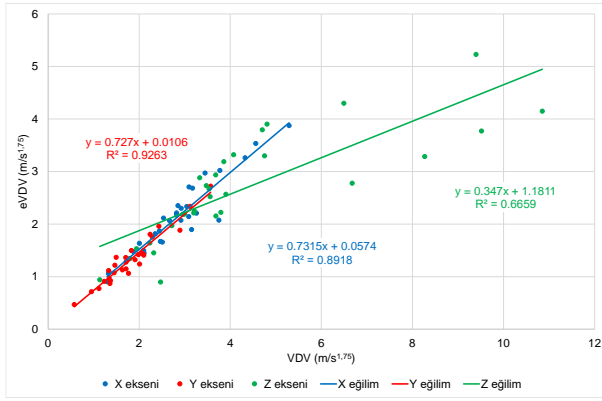


d) Aynada hazırlık evresi

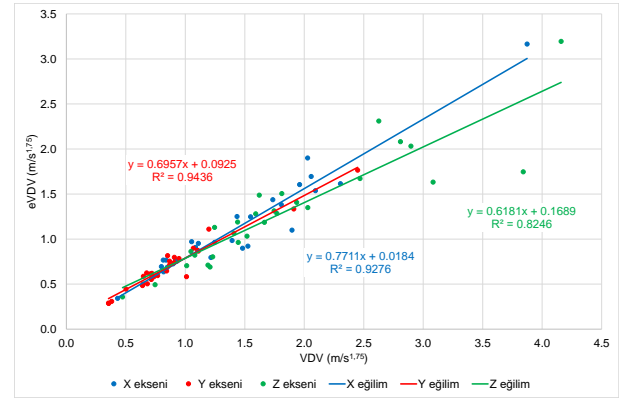


e) Bekleme evresi

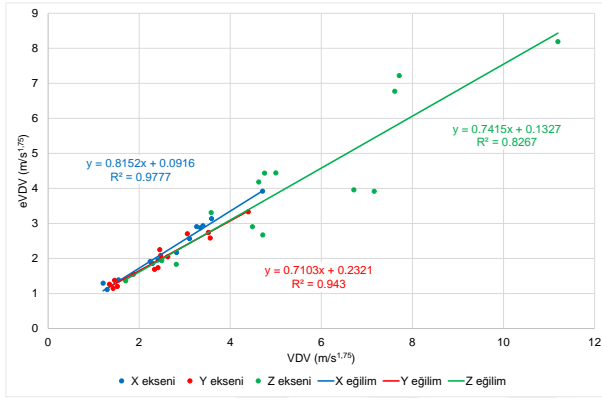
Şekil 5.10 Hidrolik terskepçe ekskavatör evrelerinde VDV_{Total} değerlerinin EAV ve ELV sınırları ile karşılaştırılması



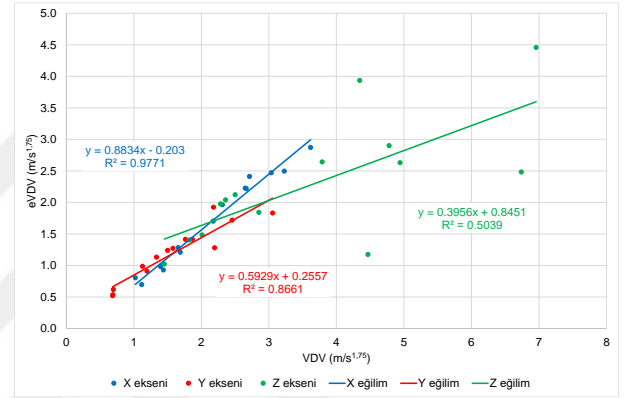
a) Doldurma evresi



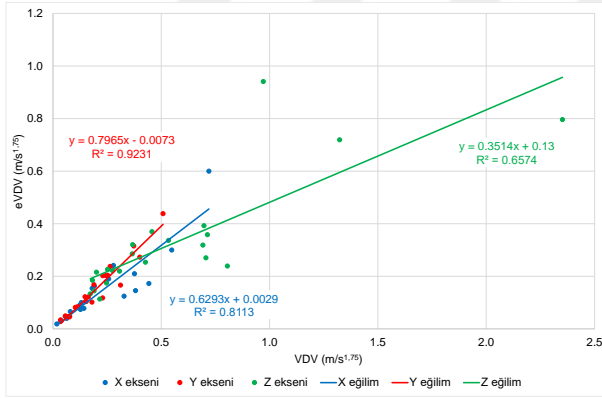
b) Boşaltma evresi



c) İleri yürüme evresi

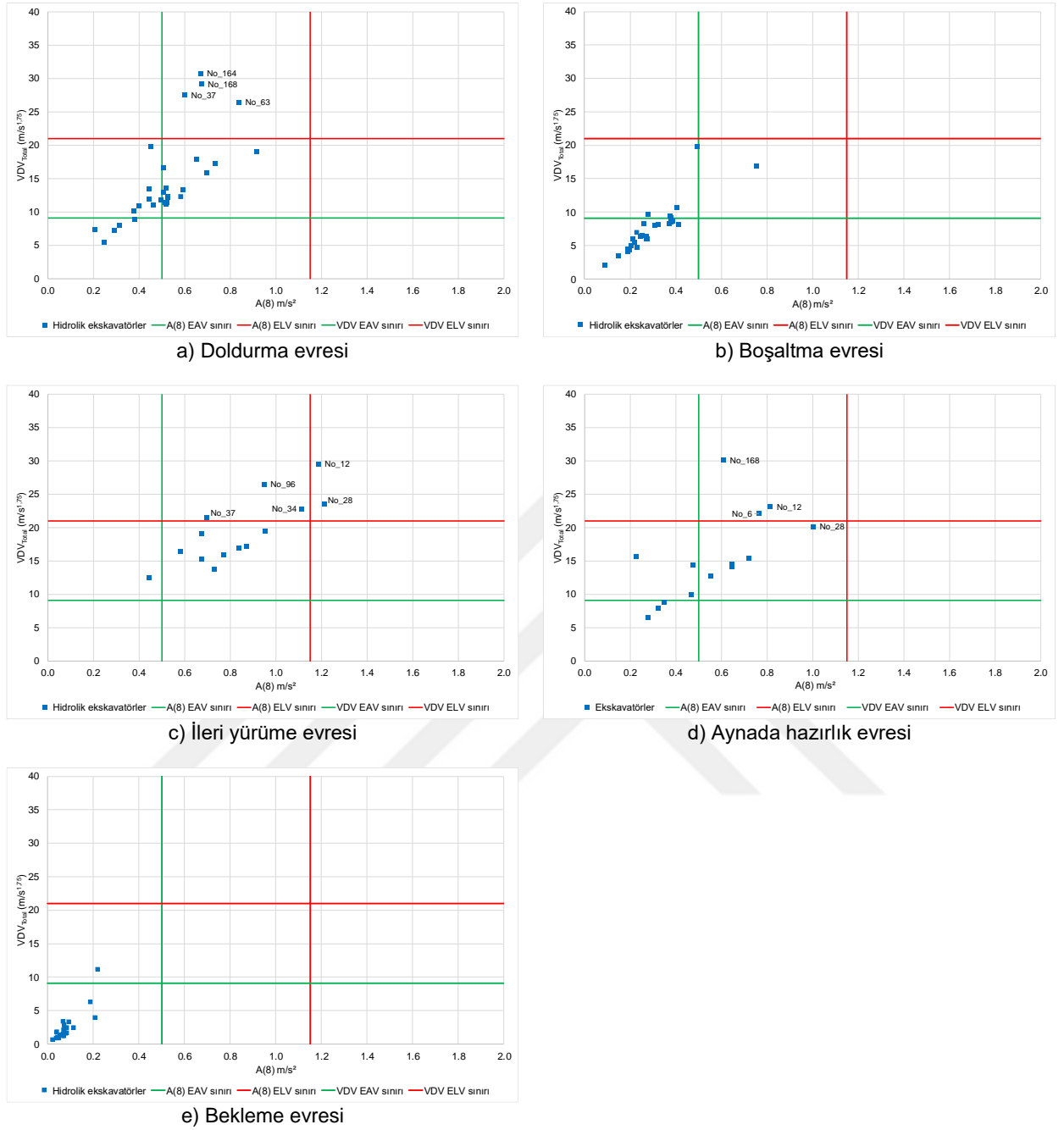


d) Aynada hazırlık evresi



e) Bekleme evresi

Şekil 5.11 Hidrolik terskepçe ekskavatörlerin evreler bazında VDV – eVDV ilişkisi



Şekil 5.12 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin evreler bazında $A(8) - VDV_{Total}$ ilişkisi

5.3.3 Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden evrelerin değerlendirilmesi

Hidrolik terskepçe ekskavatörlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri kullanılarak hesaplanan S_{ed} değerleri ile $R(IOP)$ ve $R(TOP)$ faktörleri Çizelge 5.13'de verilmektedir. En yüksek S_{ed} ve $R(IOP)$ değerleri; ileri yürüme, doldurma ve aynada hazırlık evrelerinde hesaplanmış olup boşaltma ve bekleme evrelerine ait ortalamalar düşük düzeydedir.

Ekskavatör operatörleri eşdeğer statik basınç dozu değeri (S_{ed}) ve günlük risk faktörü $R(IOP)$ ölçütlerine göre değerlendirildiğinde titreşimin olumsuz sağlık etkisine maruz kalan operatör

sayıları Çizelge 5.14'de sunulmaktadır. Evrelerde operatörlerin büyük çoğunluğu 0,5 MPa'dan düşük basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı düşük düzeydedir. Her iki ölçüt için tüm vücut titreşimine daha büyük genliklerde maruz kalınan ileri yürüme, aynada hazırlık ve doldurma evrelerinde yüksek olumsuz sağlık riskine işaret eden sınırları geçen birkaç ekskavatör bulunmaktadır. S_{ed} dikkate alındığında doldurma evresinde 6, ileri yürüme evresinde 4 ve aynada hazırlık evresinde 3 operatör, titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı büyük olan 0,8 MPa'dan yüksek basınca maruz kalmaktadır. Daha az koruyucu sonuçlar veren R faktörüne göre de durum benzerlik göstermektedir.

Çizelge 5.13 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin döngü evrelerindeki S_{ed} ve R faktörleri

Evre	S_{ed} (MPa)				R(IOP) faktör				R(TOP) faktör			
	Ort.	Std. sapma	En küçük	En büyük	Ort.	Std. sapma	En küçük	En büyük	Ort.	Std. sapma	En küçük	En büyük
Doldurma	0,534	0,417	0,147	1,605	0,486	0,358	0,138	1,374	0,668	0,521	0,184	2,008
Boşaltma	0,232	0,165	0,063	0,874	0,221	0,191	0,056	1,087	0,290	0,207	0,079	1,093
İleri yürü	0,687	0,282	0,332	1,401	0,603	0,258	0,305	1,240	0,860	0,353	0,415	1,752
Aynada h	0,534	0,334	0,211	1,367	0,479	0,340	0,142	1,351	0,668	0,417	0,264	1,710
Bekleme	0,099	0,104	0,015	0,493	0,093	0,105	0,018	0,470	0,124	0,130	0,019	0,616

Çizelge 5.14 Hidrolik terskepçe ekskavatör döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörüne göre sağlık riski

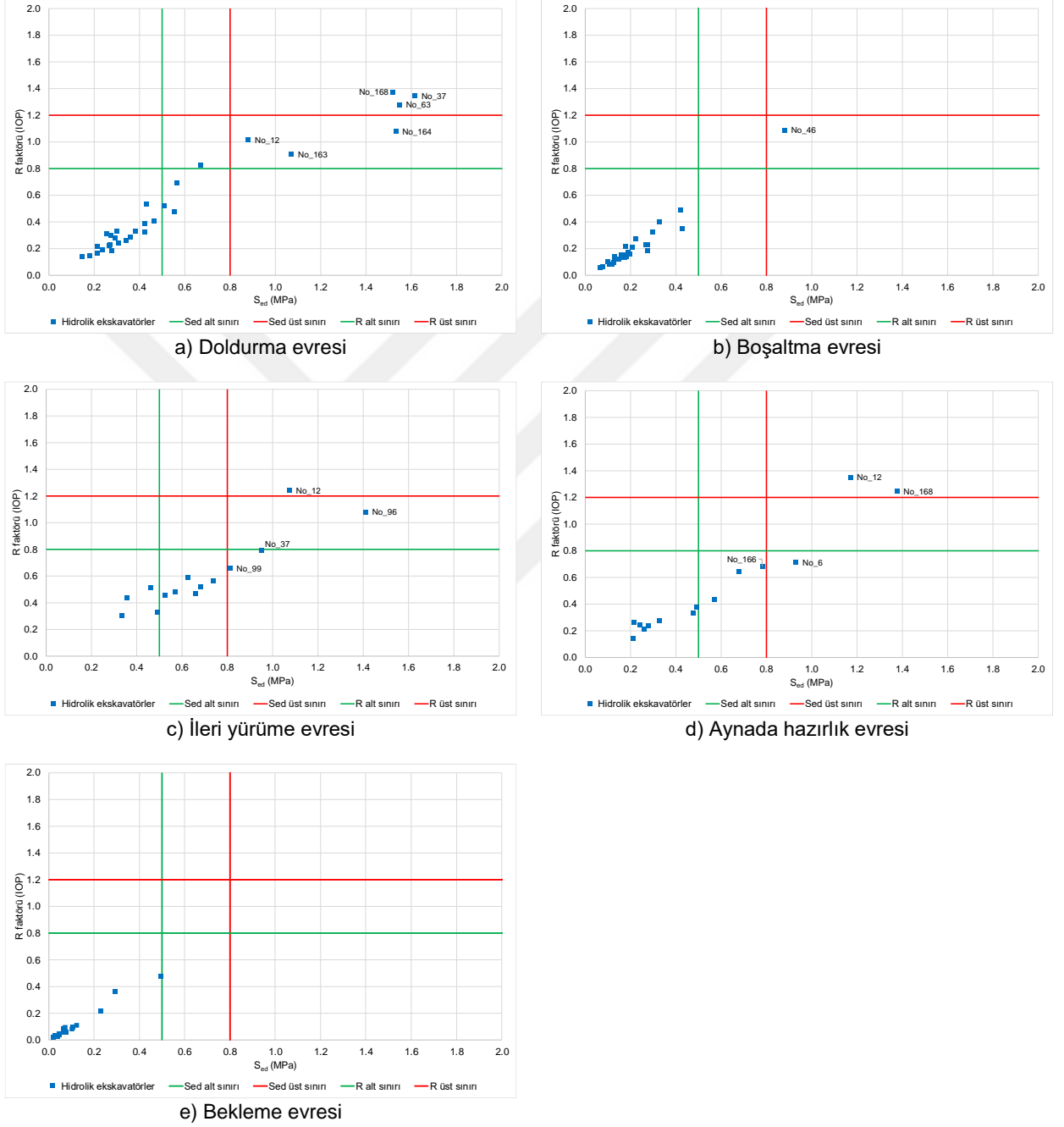
Evre	S_{ed} (MPa)		
	<0,5	0,5 – 0,8	>0,8
Doldurma	23	5	6
Boşaltma	30	1	1
İleri yürüme	4	6	4
Aynada hazırlık	11	3	3
Bekleme	26	-	-

Evre	R faktörü		
	<0,8	0,8 – 1,2	>1,2
Doldurma	27	4	3
Boşaltma	31	1	-
İleri yürüme	12	1	1
Aynada hazırlık	15	-	2
Bekleme	26	-	-

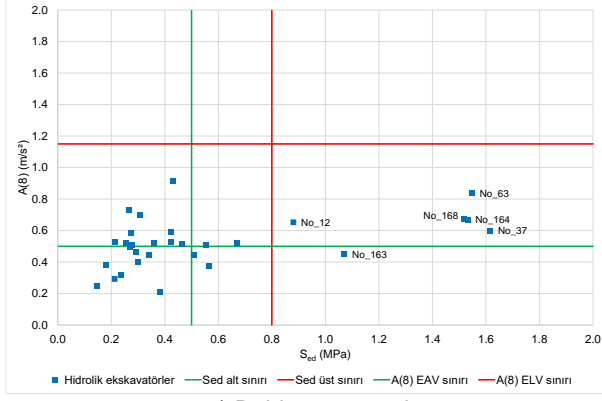
Ekskavatör operatörlerinin S_{ed} ve R ölçütlerinin risk sınırlarına göre birlikte karşılaştırılması Şekil 5.13'de sunulmuştur. Aynada hazırlık ve ileri yürüme evrelerinde her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riskine maruz kalan çok az sayıda operatör bulunmakta olup, diğer evrelerde tüm operatörler olumsuz sağlık riski altında bulunmamaktadır.

Ekskavatör operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerinin risk sınırlarına göre birlikte karşılaştırılması Şekil 5.14'de sunulmuştur. Yalnızca ileri yürüme evresinde her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riskine maruz kalan bir operatör bulunmaktadır.

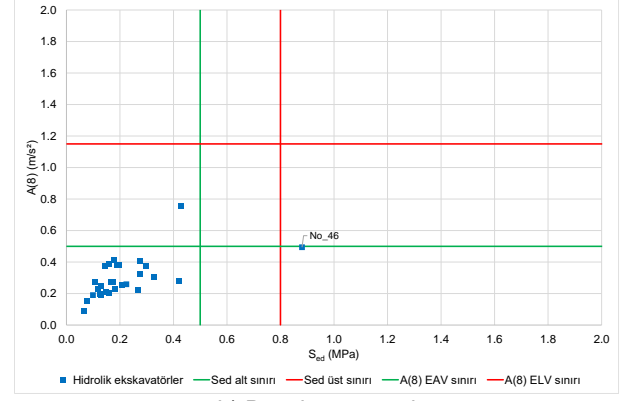
Ekskavatör operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) VDV_{Total} ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerinin risk sınırlarına göre birlikte karşılaştırılması Şekil 5.15'de sunulmuştur. Sadece aynada hazırlık ve ileri yürüme evrelerinde her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riskine maruz kalan operatörler bulunmaktadır.



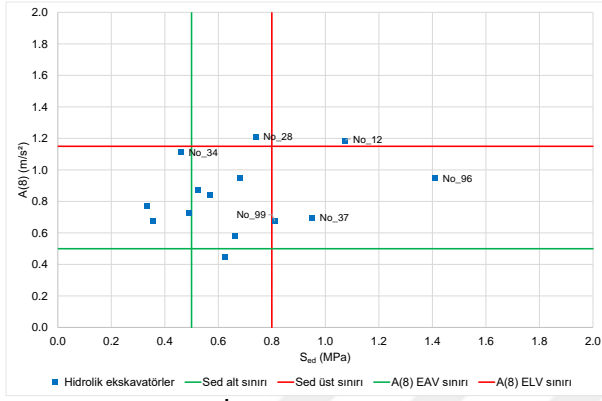
Şekil 5.13 Hidrolik terskeççe ekskavatör operatörlerinin evrelerdeki S_{ed} – R faktörü ilişkisi



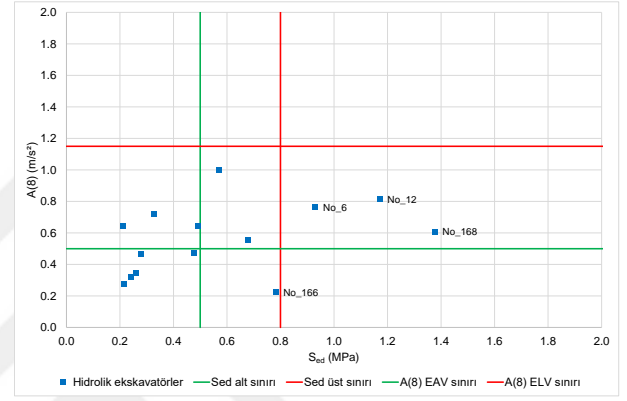
a) Doldurma evresi



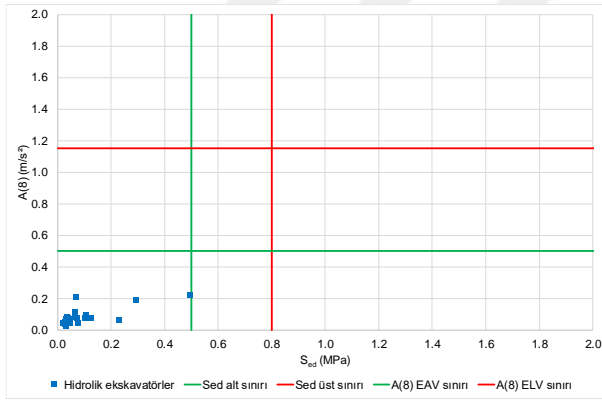
b) Boşaltma evresi



c) İleri yürüme evresi

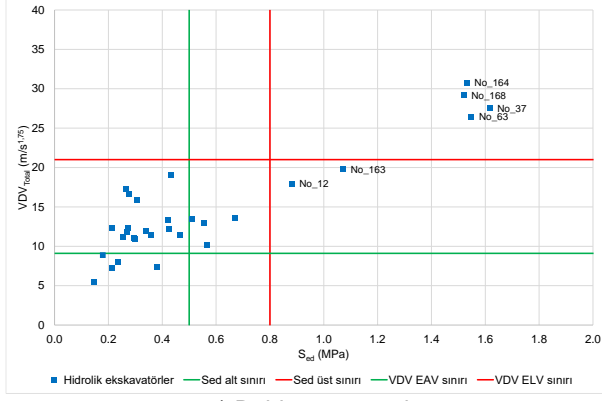


d) Aynada hazırlık evresi

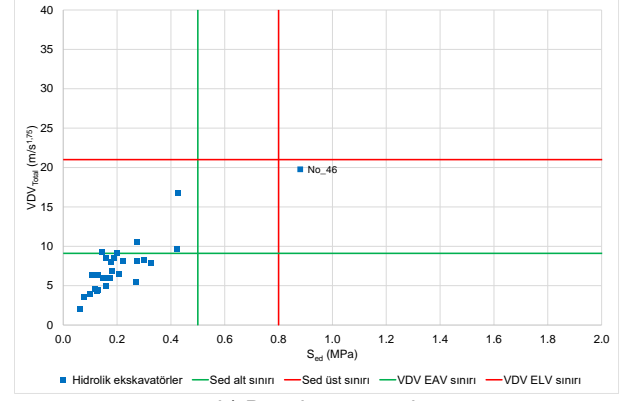


e) Bekleme evresi

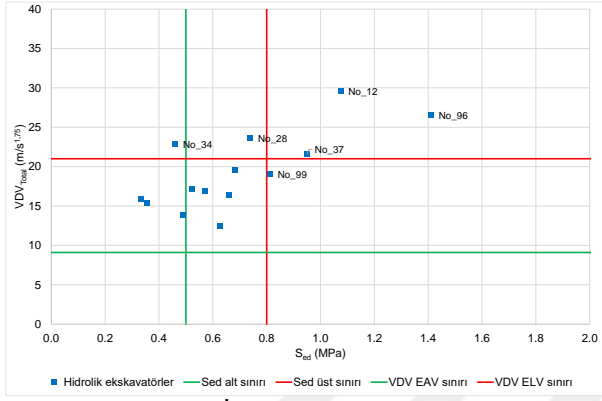
Şekil 5.14 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin evrelerdeki $S_{ed} - A(8)$ ilişkisi



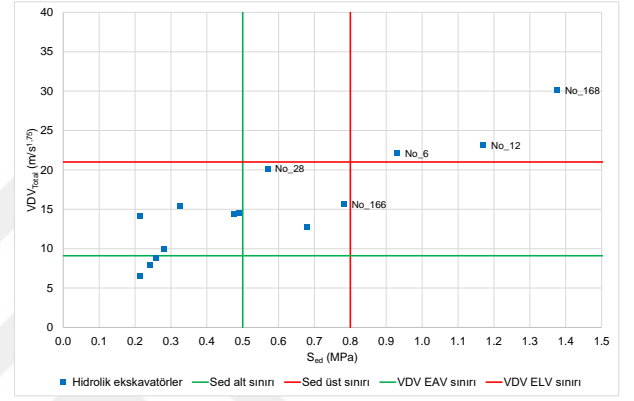
a) Doldurma evresi



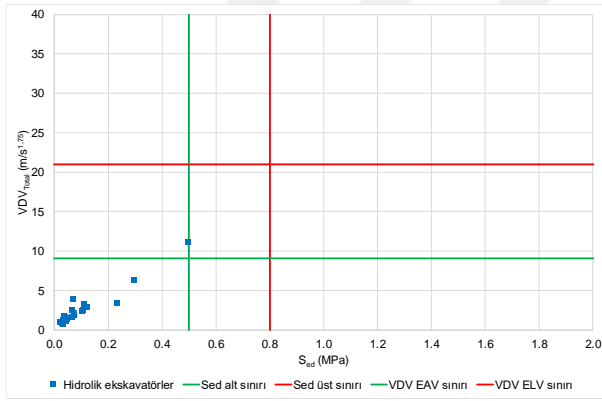
b) Boşaltma evresi



c) İleri yürüme evresi



d) Aynada hazırlık evresi



e) Bekleme evresi

Şekil 5.15 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin evrelerdeki S_{sed} – VDV_{Total} ilişkisi

5.4 İstatistiksel Analizler

5.4.1 Döngü evre gruplarının TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Evreler bazında aşağıdaki sayıda ekskavatörden ölçüm alınmıştır: doldurma 34, boşaltma 32, ileri yürüme 14, aynada hazırlık 17 ve bekleme 26. TVT ölçümleri alınan ekskavatörlerle ilgili hesaplanan titreşim ivmesi ve dozu değerlerinin kullanıldığı analizlerde önce betimleyici istatistikler hesaplanmış daha sonra da etkileyici faktörler bazında hipotez testleri yapılmıştır. Çizelge 5.15'de evreler bazında betimleyici istatistikler verilmiştir. Titreşim ivmesi ve dozu ortalamaları karşılaştırıldığında en büyük maruziyet ileri yürüme evresinde oluşurken bu evreyi aynada hazırlık ve doldurma evreleri takip etmektedir. Operatörler bekleme evresinde en düşük TVT ivmesi ve dozuna maruz kalmaktadırlar.

Çizelge 5.15 Hidrolik ekskavatör döngüsünü oluşturan evrelerin betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Evre	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	aynada hazırlık	17	,56765	,243913	,059158	,226	1,002
	boşaltma	32	,29484	,125883	,022253	,091	,753
	ileri yürüme	14	,83500	,227449	,060788	,445	1,211
	doldurma	34	,50091	,164492	,028210	,207	,917
	bekleme	26	,08512	,053942	,010579	,020	,218
VDV _{Total}	aynada hazırlık	17	14,65959	6,285461	1,524448	6,539	30,133
	boşaltma	32	7,61416	3,784519	,669015	2,090	19,774
	ileri yürüme	14	19,33279	4,929598	1,317490	12,461	29,563
	doldurma	34	14,14062	6,353018	1,089534	5,524	30,786
	bekleme	26	2,68046	2,434516	,477448	,576	11,151

Evreler bazında ortalaması alınmış TVT ivmesi ve dozu değerlerinin ekskavatör döngüsünü oluşturan evreler bazında anlamlı biçimde değişip değişmediği, hipotez testleri aracılığıyla araştırılmıştır. Evre verisinin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testi ve çarpıklık-basıklık değerleri karşılaştırılarak değerlendirilmiş ve TVT ivmesi için bekleme ve boşaltma, TVT dozu için ilaveten ileri yürüme evreleri dışındaki tüm evre verisinin normal dağılıma uygun olduğu belirlenmiştir (Sig. > 0,05). Varyansların homojenliği testine göre TVT ivmesi ve dozu grup varyansı homojen değildir (Sig_{A(8)} = 0,000; Sig_{VDV_{Total}} = 0,002). Bu yüzden TVT ivmesi ve dozu için ekskavatör döngüsünü oluşturan evrelerin ortalamaları arasındaki farklılığın anlamlı olup olmadığı *Tamhane* testi incelenmiştir (Çizelge 5.16).

Çizelge 5.16'da verilen çoklu karşılaştırma testi sonucunda titreşim ivmesi ve dozu için tüm evrelerin birbiri ile farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. Titreşim ivmesi için aynada hazırlık ve doldurma evreleri arasında anlamlı bir fark yokken diğer tüm evrelerin ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık vardır. Titreşim dozu için ise aynada hazırlık ve doldurma ile aynada hazırlık ve ileri yürüme evreleri arasında anlamlı bir fark yokken diğer tüm evrelerin ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık bulunmaktadır.

Çizelge 5.16 Hidrolik ekskavatör döngüsü evrelerinin çoklu karşılaştırması

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)
TAMHANE	aynada hazırlık (17 araç)	boşaltma	,272803*	TAMHANE	aynada hazırlık	boşaltma	7,045432*
		ileri yürü	-,267353*			ileri yürü	-4,673197
		doldurma bekleme	,066735			doldurma bekleme	,518971
	boşaltma (32 araç)	a. hazırlık	-,272803*		boşaltma	a. hazırlık	-,7045432*
		ileri yürü	-,540156*			ileri yürü	-,11,718629*
		doldurma bekleme	-,206068*			doldurma bekleme	-,6,526461*
	ileri yürüme (14 araç)	a. hazırlık	,267353*		ileri yürüme	a. hazırlık	4,673197
		boşaltma	,540156*			boşaltma	11,718629*
		doldurma bekleme	,334088*			doldurma bekleme	5,192168*
	doldurma (34 araç)	a. hazırlık	-,066735		doldurma	a. hazırlık	-,518971
		boşaltma	,206068*			boşaltma	6,526461*
		ileri yürü bekleme	-,334088*			ileri yürü bekleme	-,5,192168*
bekleme (26 araç)	a. hazırlık	-,482532*	bekleme	a. hazırlık	-,11,979127*		
	boşaltma	-,209728*		boşaltma	-,4,933695*		
	ileri yürü doldurma	-,749885*		ileri yürü doldurma	-,16,652324*		
			-,415796*				-,11,460156*

5.4.2 Hidrolik terskepçe ekskavatör kapasitesinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi

TVT ivmesi ve dozu düzeylerinin hidrolik terskepçe ekskavatörlerin kova kapasitesindeki farklılıklar ile anlamlı biçimde değişip değişmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Bu analizde gruplar aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

- 0-2 m³ → 16 adet
- 2-4 m³ → 14 adet
- 4-6 m³ → 3 adet
- 6-10 m³ → 2 adet

Bu çalışmada örneklem sayısı yeterli düzeyde olduğu için normal dağılıma uygunluk Shapiro-Wilk testi üzerinden değerlendirilmiştir. TVT ivmesi ve dozu değerleri normal dağılıma uygun (Sig. \geq 0,05) çıkmıştır. Varyansların homojenliği testi sonucuna göre titreşim ivmesi ve dozu değerleri için (Sig_(A8) = 0,175 ve Sig_{VDV_{Total}} = 0,394) H₀ hipotezi kabul edilerek grup varyanslarının homojen olduğu sonucuna varılmıştır. Ekskavatör kapasitesi gruplarının betimleyici istatistikleri Çizelge 5.17'de verilmiştir. 6-10 m³ kova kapasitesine sahip ekskavatörler diğer gruplara göre daha düşük TVT ivmesi üretirken; 0-2 m³ ve 4-6 m² kova kapasitesine sahip gruplar ise diğer gruplara göre daha yüksek titreşim dozu üretmektedir.

Tek yönlü varyans analizi sonuçlarına göre yine H₀ hipotezi uyarınca grupların ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna varılmıştır (Sig_{A(8)} = 0,169 ve Sig_{VDV_{Total}} = 0,295).

Ekskavatör kapasite grup ortalamaları arasındaki farklılık çoklu karşılaştırma tablosunda *Tukey* testi baz alınarak ikilik gruplar arasındaki incelenmiştir (Çizelge 5.18). Buna göre titreşim ivmesi

ve dozu için tüm gruplar arasında anlamlı bir farklılık yoktur. Dolayısıyla operatörlerin maruz kaldığı TVT ivmesi ve dozu, ekskavatör kova kapasitesinden bağımsızdır.

Çizelge 5.17 Ekskavatör kova kapasitesi gruplarının betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Kova kapasitesi	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	0-2 m ³	16	,51756	,179428	,044857	,245	,852
	2-4 m ³	14	,45357	,171745	,045901	,172	,766
	4-6 m ³	3	,51900	,145193	,083827	,358	,640
	6-10 m ³	2	,23350	,007778	,005500	,228	,239
VDV _{Total}	0-2 m ³	16	15,83400	4,636987	1,159247	10,188	24,184
	2-4 m ³	14	12,50593	4,958221	1,325140	5,669	25,020
	4-6 m ³	3	14,91767	9,711664	5,607032	7,205	25,824
	6-10 m ³	2	11,02250	2,587304	1,829500	9,193	12,852

Çizelge 5.18 Ekskavatör kova kapasitesi gruplarının çoklu karşılaştırması

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	
TUKEY HSD	0-2 m ³	2-4 m ³	,063991	TUKEY	0-2 m ³	2-4 m ³	3,328071	
		4-6 m ³	-,001437			HSD	4-6 m ³	,916333
		6-10 m ³	,284063			6-10 m ³	4,811500	
	2-4 m ³	0-2 m ³	-,063991	2-4 m ³	0-2 m ³	-3,328071		
		4-6 m ³	-,065429		4-6 m ³	-2,411738		
		6-10 m ³	,220071		6-10 m ³	1,483429		
	4-6 m ³	0-2 m ³	,001437	4-6 m ³	0-2 m ³	-,916333		
		2-4 m ³	,065429		2-4 m ³	2,411738		
		6-10 m ³	,285500		6-10 m ³	3,895167		
	6-10 m ³	0-2 m ³	-,284063	6-10 m ³	0-2 m ³	-4,811500		
		2-4 m ³	-,220071		2-4 m ³	-1,483429		
		4-6 m ³	-,285500		4-6 m ³	-3,895167		

5.4.3 Hidrolik terskepçe ekskavatör hizmet süresinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi

TVT ölçümünün alındığı tarih itibarıyla hesaplanmış olan araç hizmet sürelerinin TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Hizmet süresi 5 yıllık gruplara ayrılmış olup grup aralıklarında aşağıdaki sayıda hidrolik terskepçe ekskavatör bulunmaktadır;

- 1-5 → 20 ekskavatör
- 6-10 → 12 ekskavatör
- 11-15 → 3 ekskavatör

Shapiro-Wilk testi ile yapılan analiz sonucunda TVT ivmesi ve dozu değerleri normal dağılıma uygun (Sig. $\geq 0,05$) çıkmıştır. Varyansların homojenliği testi sonucuna göre titreşim ivmesi ve dozu grup varyanslarının homojen olduğu belirlenmiştir (Sig_{A(8)} = 0,108 ve Sig_{VDV_{Total}} = 0,395). Ekskavatör hizmet süresi gruplarının betimleyici istatistikleri Çizelge 5.19'da verilmiştir. En yüksek titreşim ivmesi ve dozuna 11-15 yıl hizmet süresi olan ekskavatörlerin olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.19 Ekskavatör hizmet süresi gruplarının betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Hizmet süresi	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	1-5	20	,47545	,175500	,039243	,172	,852
	6-10	12	,46242	,205551	,059338	,227	,771
	11-15	3	,53233	,048604	,028061	,494	,587
VDV _{Total}	1-5	20	13,95155	5,491441	1,227923	6,347	25,824
	6-10	12	13,67783	5,461624	1,576635	5,669	22,996
	11-15	3	17,35333	1,824372	1,053302	15,255	18,564

5 yıllık hizmet süresi grupları ANOVA kullanılarak incelendiğinde; H_0 hipotezi kabul edilmiş ve grupların ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna varılmıştır ($Sig_{A(8)} = 0,838$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,553$). Hidrolik terskepçe ekskavatör hizmet süresi grubu ortalamaları arasındaki farklılık, çoklu karşılaştırma tablosunda TVT ivmesi ve dozu için *Tukey* testi baz alınarak ikilik gruplar arasındaki incelenmiştir (Çizelge 5.20). Buna göre titreşim ivmesi ve dozu için gruplar arasında anlamlı bir farklılık yoktur. Böylece TVT ivmesi ve dozu ekskavatör hizmet süresinden etkilenmemekte ve ondan bağımsızdır.

Çizelge 5.20 Ekskavatör hizmet süresi gruplarının çoklu karşılaştırması

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)
TUKEY	1-5	6-10	,013033	TUKEY	1-5	6-10	,273717
		11-15	-,056883			HSD	11-15
HSD	6-10	1-5	-,013033	HSD	6-10	1-5	-,273717
		11-15	-,069917			11-15	-3,675500
	11-15	1-5	,056883	HSD	11-15	1-5	3,401783
		6-10	,069917			6-10	3,675500

5.4.4 Operatör yaşının TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Hidrolik terskepçe ekskavatör operatör yaşının TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Bu analizde, operatör yaşları 10 yıllık kategorilere ayrılmış ve aşağıdaki yaş aralıklarında operatör sayısı bulunmaktadır;

- 20-30 → 4 operatör
- 31-40 → 20 operatör
- 41-50 → 5 operatör
- ≥51 → 6 operatör

Shapiro-Wilk testi ile yapılan analiz sonucunda operatör yaş grubu TVT ivmesi ve dozu değerleri normal dağılıma uygun ($Sig. \geq 0,05$) çıkmıştır. Varyansların homojenliği testi sonucuna göre titreşim ivmesi ve dozu grup varyanslarının homojen olduğu belirlenmiştir ($Sig_{A(8)} = 0,122$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,513$). Operatör yaş gruplarının betimleyici istatistikleri Çizelge 5.21'de verilmiştir. Gruplar arasında önemli farklılık bulunmamakta olup en yüksek titreşim ivmesi ve dozuna 20-30 yaş grubu operatörlerin maruz kaldığı görülmektedir.

Çizelge 5.21 Operatör yaşı gruplarının betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Yaş grubu	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	20-30	4	,53100	,028787	,014393	,501	,559
	31-40	20	,45850	,183270	,040980	,172	,798
	41-50	5	,47180	,200001	,089443	,230	,766
	≥51	6	,50033	,220866	,090168	,269	,852
VDV _{Total}	20-30	4	16,87675	6,471778	3,235889	11,024	25,824
	31-40	20	13,40505	5,083204	1,136639	5,669	25,020
	41-50	5	12,36520	3,611694	1,615199	6,347	15,255
	≥51	6	16,29850	6,144199	2,508359	10,188	24,184

Tek yönlü varyans analizi sonuçlarına göre H_0 hipotezi kabul edilmiş ve grupların ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna varılmıştır ($Sig_{A(8)} = 0,884$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,398$). Operatör yaş grubu ortalamaları arasındaki farklılık çoklu karşılaştırma tablosunda *Tukey* testi baz alınarak ikilik gruplar arasındaki incelenmiştir (Çizelge 5.22). Buna göre titreşim ivmesi ve dozu için tüm gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur.

Çizelge 5.22 Operatör yaş gruplarının çoklu karşılaştırması

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)
TUKEY HSD	20-30	31-40	,072500	TUKEY HSD	20-30	31-40	3,471700
		41-50	,059200			41-50	4,511550
		≥51	,030667			≥51	,578250
	31-40	20-30	-,072500	31-40	20-30	-3,471700	
		41-50	-,013300		41-50	1,039850	
		≥51	-,041833		≥51	-2,893450	
	41-50	20-30	-,059200	41-50	20-30	-4,511550	
		31-40	,013300		31-40	-1,039850	
		≥51	-,028533		≥51	-3,933300	
	≥51	20-30	-,030667	≥51	20-30	-,578250	
		31-40	,041833		31-40	2,893450	
		41-50	,028533		41-50	3,933300	

5.4.5 Operatör deneyiminin TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Operatör deneyiminin TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Bu bölümde, 5 yıllık operatör deneyimi grupları için tek yönlü varyans analizi yapılmış ve güven aralığı %95 olarak seçilmiştir. Buna göre yaş aralıklarında aşağıdaki sayıda operatör bulunmaktadır;

- 6-10 → 12 operatör
- 11-15 → 8 operatör
- 16-20 → 9 operatör
- 21-25 → 6 operatör

Shapiro-Wilk testi ile yapılan normal dağılıma uygunluk analizi sonucunda operatör deneyimi grubu TVT ivmesi ve dozu değerleri normal dağılıma uygun ($Sig. \geq 0,05$) çıkmıştır. Titreşim ivmesi

önem değerleri homojen olduğu kabul edilirken; titreşim dozu değerinin homojen olmadığı kabul edilmiştir ($Sig_{A(8)} = 0,224$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,009$). Operatör deneyimi gruplarının betimleyici istatistikleri Çizelge 5.23'de verilmiştir. Gruplar arasında önemli farklılık bulunmamakta olup en yüksek titreşim ivmesi 6-10 yıl deneyimi olan operatörlerde gözlenirken; titreşim dozunda en yüksek değer 16-20 yıl deneyimi olan operatörlerde görülmektedir.

Çizelge 5.23 Operatör deneyimi gruplarının betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Deneyim grubu	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	6-10	12	,51400	,165976	,047913	,228	,798
	11-15	8	,47888	,126434	,044701	,239	,640
	16-20	9	,47056	,241364	,080455	,172	,852
	21-25	6	,40350	,165078	,067393	,230	,664
VDV _{Total}	6-10	12	13,38875	2,417486	,697868	10,418	17,140
	11-15	8	14,15850	6,610186	2,337054	6,963	25,824
	16-20	9	15,22911	7,012011	2,337337	5,669	25,020
	21-25	6	14,03833	5,674227	2,316493	6,347	22,660

Tek yönlü varyans analizi sonuçlarına göre H_0 hipotezi kabul edilmiş ve grupların ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna varılmıştır ($Sig_{A(8)} = 0,685$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,899$). Operatör deneyimi grup ortalamaları arasındaki farklılık çoklu karşılaştırma tablosunda titreşim ivmesi için *Tukey* testi baz alınarak ikilik gruplar arasındaki incelenirken; titreşim dozu için *Tamhane* testi baz alınarak incelenmiştir (Çizelge 5.24). Buna göre, titreşim ivmesi ve dozu için tüm gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur.

Çizelge 5.24 Operatör deneyimi gruplarının çoklu karşılaştırması

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)
TUKEY HSD	6-10	11-15	,035125	TAMHANE	6-10	11-15	-,769750
		16-20	,043444			16-20	-1,840361
		21-25	,110500			21-25	-,649583
	11-15	6-10	-,035125		11-15	6-10	,769750
		16-20	,008319			16-20	-1,070611
		21-25	,075375			21-25	,120167
	16-20	6-10	-,043444		16-20	6-10	1,840361
		11-15	-,008319			11-15	1,070611
		21-25	,067056			21-25	1,190778
	21-25	6-10	-,110500		21-25	6-10	,649583
		11-15	-,075375			11-15	-,120167
		16-20	-,067056			16-20	-1,190778

5.4.6 Malzeme tipinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Malzeme tipinin TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Bu analizde, taşınan malzeme bloklu ve bloksuz olmak üzere iki gruba ayrılmış ve malzeme grupları aşağıdakilerden oluşturulmuştur;

- a) Bloklı malzeme
 - a. Az ayrışmış kayaç
 - b. Bloklı malzeme
 - c. Bloklı cevher
 - d. Bloklı toprak
- b) Bloksuz malzeme
 - a. Toprak
 - b. Ayrışmış kayaç
 - c. Demir cürufu
 - d. Kömür
 - e. Agregada demir cevheri

Shapiro-Wilk testi ile yapılan analiz sonucunda malzeme tipi grubu için TVT ivmesi ve dozu değerleri normal dağılıma uygun (Sig. $\geq 0,05$) çıkmıştır. Malzeme tipi gruplarının betimleyici istatistikleri Çizelge 5.25'de verilmiştir.

Çizelge 5.25 Zemin tipi grupları için varyansların grup istatistikleri

	Malzeme tipi	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata
A(8)	bloklı	10	,52570	,194734	,061580
	bloksuz	25	,45592	,169602	,033920
VDV _{Total}	bloklı	10	16,03120	4,668433	1,476288
	bloksuz	25	13,39652	5,386163	1,077233

Bloklı ve bloksuz malzeme grup ortalamaları arasındaki farklılık bağımsız örneklem t-testi yöntemi ile incelenmiştir. Çizelge 5.26 incelendiğinde, A(8) ve VDV_{Total} için grup varyanslarının eşit olduğunu kabul eden önem derecesi değerleri 0,05'ten büyük olduğundan t-testi için varyansların eşit olduğu önem değerleri kontrol edilmiş ve iki-yönlü önem değeri, tek-yönlü değerin iki katı olduğundan t-testi değeri ikiye bölünmüştür (Sig_{A(8)} = 0,150, Sig_{VDV_{Total}} = 0,093). Her iki değer de 0,05'ten büyük olduğundan H₀ hipotezi kabul edilmiş olup grup ortalamaları arasında farklılık yoktur. Böylece operatörlerin işlenen malzemenin türünden bağımsız olarak benzer düzeyde titreşim ivmesi ve dozuna maruz kaldığı belirlenmiştir. Bloklı malzeme, operatörleri biraz daha yüksek titreşim ivmesi ve dozuna maruz bırakmaktadır (Çizelge 5.25).

Çizelge 5.26 Malzeme tipi grupları için bağımsız örneklem testi

Bağımlı değişken	Varyanslar	Varyansların eşitliği Levene testi			Ortalamaların eşitliği t-testi			
		F	Önem	t	Serb. Dere.	Önem (2 kuyr.)	Ortalama-ların farkı	Farkın standart hatası
A(8)	Eşit	,038	,847	1,055	33	,299	,069780	,066157
	Eşit değil			,993	14,780	,337	,069780	,070305
VDV _{Total}	Eşit	,141	,709	1,354	33	,185	2,634680	1,945756
	Eşit değil			1,442	19,105	,166	2,634680	1,827527

6 DOZERLERİN TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ ve DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1 Genel

Bu çalışma kapsamında farklı kapasite, marka ve modelde toplam 31 adet dozerden TVT maruziyeti ölçümleri alınmış ve analiz edilmiştir. Dozer iş döngüsünün aşağıdaki evrelerden oluştuğu kabul edilerek, ölçümlerin dozerin bir tam turunu kapsamasına dikkat edilmiş ve dozer iş döngüsünü temsil edecek süre boyunca kayıt alınmıştır.

- a) Tüm kayıt (Whole data); Dozerlerin tipik iş döngüsündeki tüm evreleri kapsayacak biçimde, araç hareketi öncesi ve döngü bitişi sonrası durağan haller de dahil olmak üzere alınan tüm kaydın brüt TVT maruziyetini göstermektedir. Sürücünün TVT maruziyeti hesaplarında kullanılmamaktadır.
- b) Net kayıt (RECORD); Dozerlerin tipik iş döngüsündeki tüm evreleri kapsamakta ve bu süredeki TVT maruziyetini göstermektedir. Hareketin başında operatörün koltuğa yerleşme ve hareketin sonunda koltuktan kalkma çabaları sırasında koltuk üzerindeki disk tipi ivmeölçer ile kabin zeminindeki ivmeölçere şok etkilerinden kaynaklanabilen çok yüksek titreşim ivmeleri ayıklanarak, analizlerden çıkartılmaktadır. Operatörün genel TVT maruziyetini temsil etmekte ve hesaplarda kullanılmaktadır.
- c) Küreme (DOZE); Dozerin bıçağı zeminde belirli bir derinlikte iken önünde oluşan yığılı ötelemek için yaptığı hareket sırasında maruz kalınan titreşimi temsil etmek için kaydedilmektedir.
- d) İleri yürüme (FORWARD); Dozerin bıçağı zeminden belirli bir mesafe yukarıda iken ileri yönlü ilerleme hareketi yaparken maruz kalınan titreşimi temsil etmek için kaydedilmektedir.
- e) Geri yürüme (RETURN); Dozerin bıçağı zeminden belirli bir mesafe yukarıda iken geriye doğru yürüme hareketi yaparken maruz kalınan titreşimi temsil etmek için kaydedilmektedir.
- f) Ripperleme (RIP); Dozerin bıçağı zemine girerek ripperleme hareketi yaparken maruz kalınan titreşimi temsil etmek için kaydedilmektedir.
- g) Bekleme (WAIT); Dozer herhangi bir evre içerisinde iken durmak ve motor devinimi askıda iken beklemek durumunda kaldığında, ayrı bir evre olarak alınmakta ve bu sırada maruz kalınan titreşim kaydedilmektedir.

Dozerlerin 10 adedi orta, 21 adedi büyük kapasiteye sahiptir. Dozerlerin 3 adedi lastik tekerlekli olup diğerleri paletlidir. Çizelge 6.1'de TVT ölçümü alınan dozerlerin işletmelere dağılımı ile temel çalışma özellikleri verilmiştir.

Çizelge 6.1 Dozerlerin temel özellikleri

İşletme	Dozer	Hizmete giriş	Malzeme sınıfı	Tipi	Kapasite
Yol inşaatı	No_98	2005	Gevşek toprak_yol	Paletli	Büyük
Kömür İşletmesi	No_109	1983	Sıkıştırılmış_ayrıştırılmış_kayaç_tumba	Paletli	Orta
Kömür İşletmesi	No_116	2007	Sıkıştırılmış_ayrıştırılmış_kayaç_tumba	Paletli	Büyük
Kömür İşletmesi	No_122	2014	Sıkıştırılmış_ayrıştırılmış_kayaç_yol	Paletli	Büyük
Kömür İşletmesi	No_125	1992	Sıkıştırılmış_kömür_damar_tabanı	Tekerlekli	Büyük
Kömür İşletmesi	No_135	1998	Sıkıştırılmış_ayrıştırılmış_kayaç_basamak	Paletli	Orta
Demir İşletmesi	No_137	2003	Sıkıştırılmış_toprak_yol	Paletli	Büyük
Demir İşletmesi	No_144	2003	Sıkıştırılmış_toprak_basamak	Paletli	Büyük
Altın İşletmesi	No_151	1997	Sıkıştırılmış_az_ayrışmış_kayaç_tumba	Paletli	Büyük
Altın İşletmesi	No_165	1991	Gevşek_cevher_liç_üstü	Paletli	Büyük
Altın İşletmesi	No_173	1998	Sıkıştırılmış_toprak_basamak	Paletli	Büyük
Yol inşaatı	No_182	2014	Sıkıştırılmış_toprak_yol	Paletli	Büyük
Kömür İşletmesi	No_184	2013	Sıkıştırılmış_toprak_kil_yol	Paletli	Büyük
Kömür İşletmesi	No_188	2007	Gevşek_toprak_kil_yol	Paletli	Orta
Kömür İşletmesi	No_206	1986	Sıkıştırılmış_ayrışmış_kayaç_basamak	Paletli	Orta
Kömür İşletmesi	No_216	1986	Sıkıştırılmış_ayrışmış_kayaç_basamak	Paletli	Orta
Kömür İşletmesi	No_224	1986	Sıkıştırılmış_ayrışmış_kayaç_basamak	Paletli	Orta
Kömür İşletmesi	No_230	2005	Sıkıştırılmış_ayrışmış_kayaç_basamak	Paletli	Büyük
Kömür İşletmesi	No_232	2005	Sıkıştırılmış_ayrışmış_kayaç_tumba	Paletli	Büyük
Kömür İşletmesi	No_245	1986	Sıkıştırılmış_toprak_basamak	Paletli	Orta
Kömür İşletmesi	No_255	1986	Sıkıştırılmış_ayrışmış_kayaç_basamak	Paletli	Orta
Kömür İşletmesi	No_262	1998	Sıkıştırılmış_toprak_basamak	Tekerlekli	Büyük
Kömür İşletmesi	No_282	1999	Sıkıştırılmış_ayrışmış_kayaç_basamak	Paletli	Orta
Kömür İşletmesi	No_285	1986	Sıkıştırılmış_ayrışmış_kayaç_tumba	Paletli	Büyük
Kömür İşletmesi	No_287	1986	Sıkıştırılmış_ayrışmış_kayaç_basamak	Paletli	Büyük
Kömür İşletmesi	No_293	1986	Sıkıştırılmış_az_ayrışmış_kayaç_basamak	Paletli	Büyük
Kömür İşletmesi	No_296	1986	Sıkıştırılmış_ayrışmış_kayaç_basamak	Paletli	Büyük
Kömür İşletmesi	No_300	1986	Sıkıştırılmış_ayrışmış_kayaç_basamak	Tekerlekli	Büyük
Kömür İşletmesi	No_304	2012	Sıkıştırılmış_ayrışmış_kayaç_basamak	Paletli	Büyük
Kömür İşletmesi	No_305	2010	Sıkıştırılmış_ayrışmış_kayaç_basamak	Paletli	Büyük
Kömür İşletmesi	No_306	1986	Sıkıştırılmış_ayrışmış_kayaç_tumba	Paletli	Büyük

Dozerlerin TVT maruziyeti ölçümleri, üç adedi koltuktan (Seat_x, Seat_y, Seat_z), üç adedi de kabin zemininden (Floor_x, Floor_y, Floor_z) olmak üzere toplam altı kanaldan, aracın bir tam çevrimini kapsayacak ve çalışmasını temsil edecek biçimde gerçekleştirilmiştir. Titreşim analizörü ile frekans ağırlıklı ivme (a_w), titreşim dozu (VDV), maksimum geçici titreşim değeri (MTVV), tepe titreşim ivmesi (PEAK) ve tepe-tepe titreşim ivmesi (P-P) ölçülerek, değerlendirilmiştir. Kayıt süreleri 04 dakika 26 saniye ile 28 dakika 06 saniye arasında değişmiştir. ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca TVT maruziyeti değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılan parametrelerin değerleri, koltuk ve zemin için hesaplanmıştır.

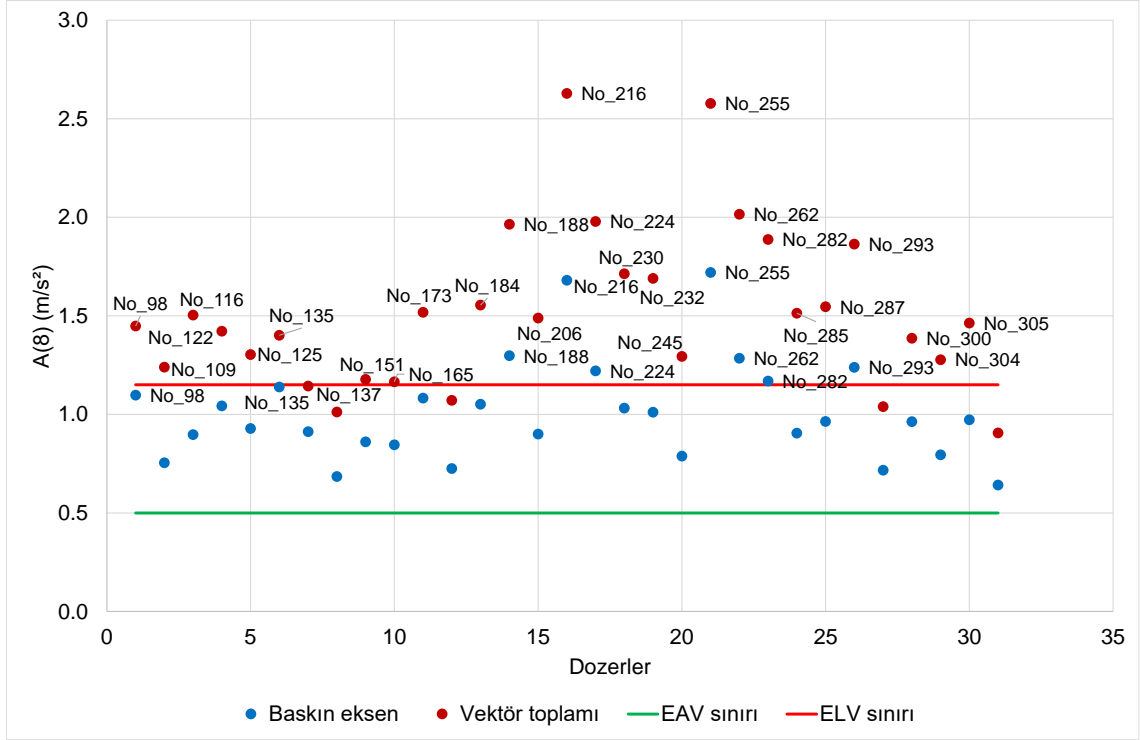
6.2 Net kayıt (RECORD) Evresi

6.2.1 Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme

Dozerlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $A(8)_{Seat}$, ortalama ve standart sapması $(1,010 \pm 0,250) m/s^2$ olacak biçimde $0,641 m/s^2$ ile $1,720 m/s^2$ arasında değişmiştir. Diğer yandan dozerlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel

toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $Vector_{1-3}$, ortalama ve standart sapması $(1,522 \pm 0,404) m/s^2$ olacak biçimde $0,905 m/s^2$ ile $2,629 m/s^2$ arasında değişmiştir.

En yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum eksen 11 dozerde X eksen (Ch1), 9 dozerde Y eksen (Ch2), 11 dozerde ise Z eksen (Ch3) olmuştur. Tüm dozerlerin en kötü durum eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre $A(8)_{Seat}$ değerlerinin EAV ve ELV sınırları ile karşılaştırılması Şekil 6.1'de sunulmuştur.



Şekil 6.1 Dozerlerin A(8) değerleri

Dozerlerin EU 2002/44/EC direktifi ve ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, gerek en kötü durum eksen gerek vektör toplamı ölçütü dikkate alındığında hiçbir aracın EAV sınırı altında olmadığı, EKDE ölçütünde büyük bölümünün VT ölçütünde ise tümünün ELV sınırı üzerinde TVT üreterek, operatöre ilettiği görülmektedir (Çizelge 6.2). EU 2002/44/EC direktifi sınırları daha zayıf olduğundan dozerlerin 24 adedi maruziyet eylem değeri içinde ($0,5 m/s^2 < A(8)_{Seat} < 1,15 m/s^2$), 7 adedi ise maruziyet sınır değeri üzerinde ($A(8)_{Seat} < 1,15 m/s^2$) eşdeğer titreşim ivmesi üretmiştir.

Paletli dozerlerin maruziyet eylem değerine erişim süresi ($EAV_{TT(RMS)}$), en kötü durum eksen üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması $(02:17:31 \pm 01:00:11)$ sa olacak biçimde $00:40:34$ sa ile $04:51:52$ sa arasında değişmiştir. Dozerlerin maruziyet sınır değerine erişim süresi ($ELV_{TT(RMS)}$), en kötü durum eksen üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması $(12:07:29 \pm 05:18:22)$ sa olacak biçimde $03:34:35$ sa ile $25:44:01$ sa arasında

değişmiştir. Bu durumda 31 dozerin tümü de 8 saatlik vardiya süresi bitmeden operatörü maruziyet eylem değerine ulaştıracak kadar titreşime maruz bırakırken 7 adedi maruziyet sınır değerine erişmektedir.

Çizelge 6.2 Dozer operatörlerinin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi

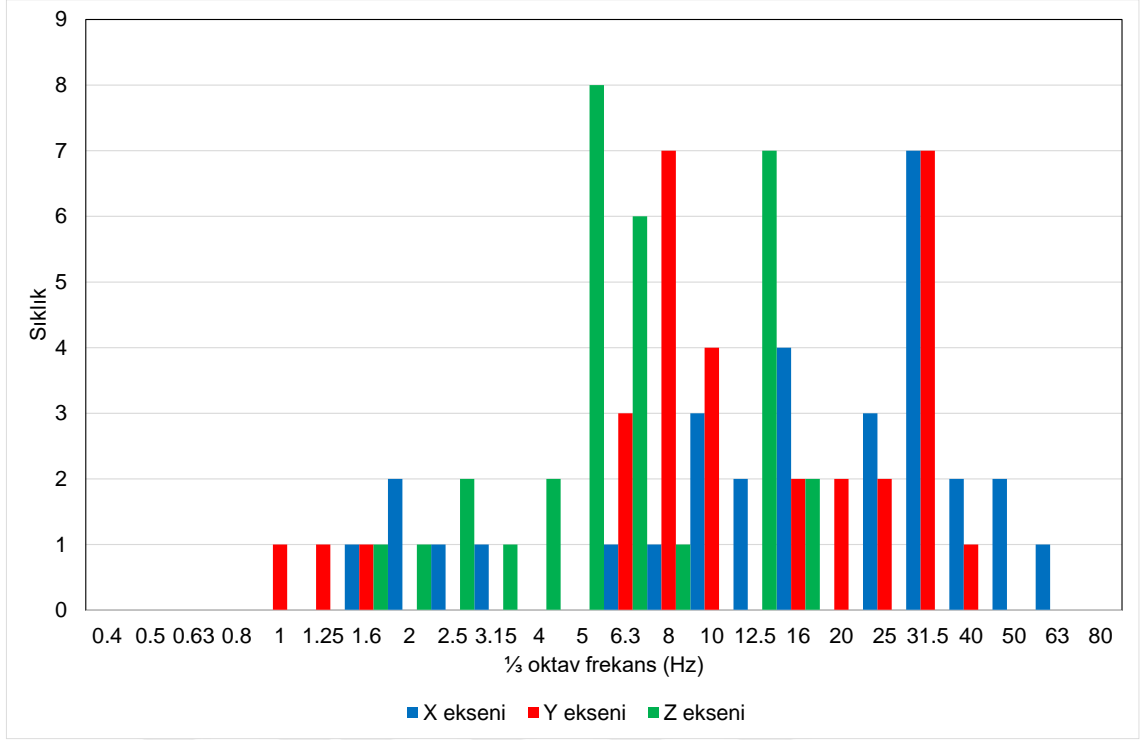
Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		Bölge	ISO2631-1 HGCZ Bölgesi	
	EKDE	VT	EKDE	VT		EKDE	VT
EAV altında	0	0	0	0	HGCZ altında	0	0
EAV içinde	24	5	10	0	HGCZ içinde	9	0
ELV üstünde	7	26	21	31	HGCZ üstünde	22	31

Net kayıt evresinde operatör koltuğunda X, Y ve en kötü durum Z ekseninde sırasıyla 12, 17 ve 22 dozerin doruk faktörü 9'dan büyük çıkmıştır.

Doruk faktörü	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	5,943	5,294	4,513
En büyük	14,148	20,204	51,902
Ortalama	8,901	9,864	12,951
Standart sapma	1,816	2,929	8,258
≥9	12	17	22
<9	19	14	9

Dozer operatörlerinin maruz kaldığı TVT ivmesine ait frekans spektrumu 1/3 oktav bant dağılımı ile değerlendirildiğinde 0,4 Hz ile 80 Hz arasındaki merkez bant frekanslarına göre her ikisi de yatay düzlemdeki ortogonal eksenler boyunca oluşan titreşimin X ekseninde 6,3 Hz – 63 Hz aralığına, Y ekseninde 6,3 Hz – 40 Hz aralığına yoğunlaştığı görülmektedir. Diğer yandan, Z eksenini incelendiğinde baskın frekans 1,6 Hz – 12,5 Hz aralığındadır. Her üç eksenindeki TVT ivmelerine ait baskın frekans dağılımı Şekil 6.2'de verilmiştir.

Operatör koltuğunun titreşim sönümlenme özelliğini gösteren koltuk etkinliği genlik geçirgenliği (SEAT) faktörü X eksenini için 0,818 ile 1,532 arasında, Y eksenini için 0,823 ile 1,704 arasında ve Z eksenini için 0,387 ile 1,705 arasında değişmiştir. Her üç ekseninde de zeminde oluşan titreşim dozerlerin bir kısmında koltukta sönümlenirken, bir kısmında şiddetlenmiştir. Buna göre titreşim; X ekseninde 2 dozerde sönümlenirken 29 dozerde şiddetlenmiş, benzer biçimde Y ekseninde de 1 dozerde sönümlenirken 30 dozerde şiddetlenmiştir. Ancak Z ekseninde zeminde oluşan titreşim 26 dozerde koltukta sönümlenirken 5 dozerde şiddetlenmiştir. Sonuç olarak operatör koltuğu Z ekseninde titreşim sönümlenme yeteneğine sahiptir.



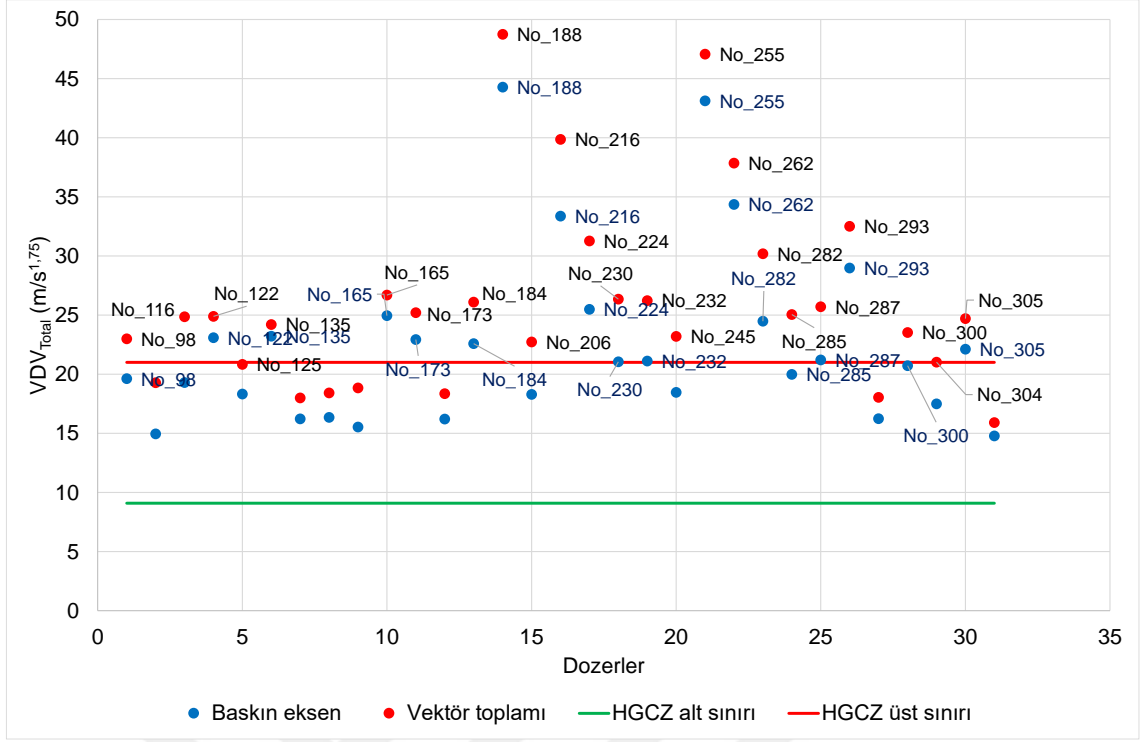
Şekil 6.2 Dozerlerin A(8) değerlerinin 1/3 oktav baskın frekansları

6.2.2 Titreşim dozu üzerinden değerlendirme

Dozerlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT dozu değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde VDV_{Total} , ortalama ve standart sapması $(22,543 \pm 7,298) m/s^{1.75}$ olacak biçimde $14,781 m/s^{1.75}$ ile $44,275 m/s^{1.75}$ arasında değişmiştir. Diğer yandan dozerlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $Vector_{1-3}$, ortalama ve standart sapması $(26,085 \pm 7,864) m/s^{1.75}$ olacak biçimde $15,918 m/s^{1.75}$ ile $48,746 m/s^{1.75}$ arasında değişmiştir.

En yüksek titreşim dozu kaydedilen en kötü durum eksen 13 dozerde X eksen (Ch1), 10 dozerde Y eksen, 8 dozerde ise Z eksen (Ch3) olmuştur. Tüm dozerlerin en kötü durum eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre VDV_{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması Şekil 6.3'de sunulmuştur.

Dozerlerin ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) uyarınca EAV ve ELV sınırları ile ilişkisi incelendiğinde, en kötü durum eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre araçların oldukça büyük bölümünün ELV sınırı üzerinde olduğu görülmektedir. Daha koruyucu eşiklere sahip olan BS 6841 (1987) standardı uyarınca değerlendirme yapıldığında ise dozerlerin hemen tümünün yüksek olumsuz sağlık riski sınırı olan $15 m/s^{1.75}$ üzerindeki bölgede yer aldığı görülmektedir (Çizelge 6.3).



Şekil 6.3 Dozerlerin VDV_{Total} değerleri

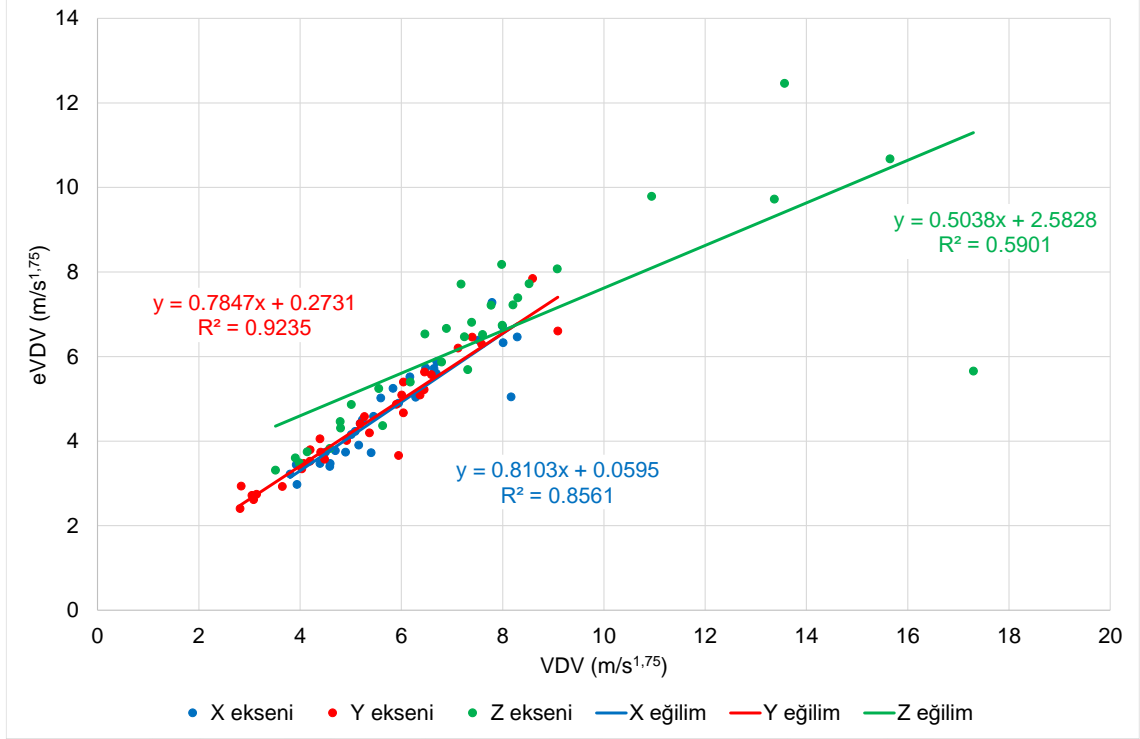
Çizelge 6.3 Dozer operatörlerinin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi

Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)	
	EKDE	VT	EKDE	VT	EKDE	VT
EAV altında	0	0	0	0	2	0
EAV içinde	15	8	7	1	-	-
ELV üstünde	16	23	24	30	29	31

Dozerlerin, BS 6841 (1987) standardı uyarınca kestirilen titreşim dozu değeri de (eVDV, m/s^{1.75}) hesaplanmıştır. Çalışmada örneklenen 31 adet dozerin X ve Y eksenlerinde 30 adedi, Z ekseninde ise 29 adedinde doruk faktörü 6'dan büyük çıkmıştır. Bu durum dozer operasyonlarında şokların büyük etkisinin bulunduğunu göstermektedir. Her üç eksen için VDV – eVDV ilişkisi Şekil 6.4'de verilmiştir. Her üç veri grubu için doğrusal regresyon analizi yapılmış olup, belirlilik katsayıları %59,01 ile %92,35 arasında değişmekte ve regresyon eşitliğinin güçlü olduğuna işaret etmektedir.

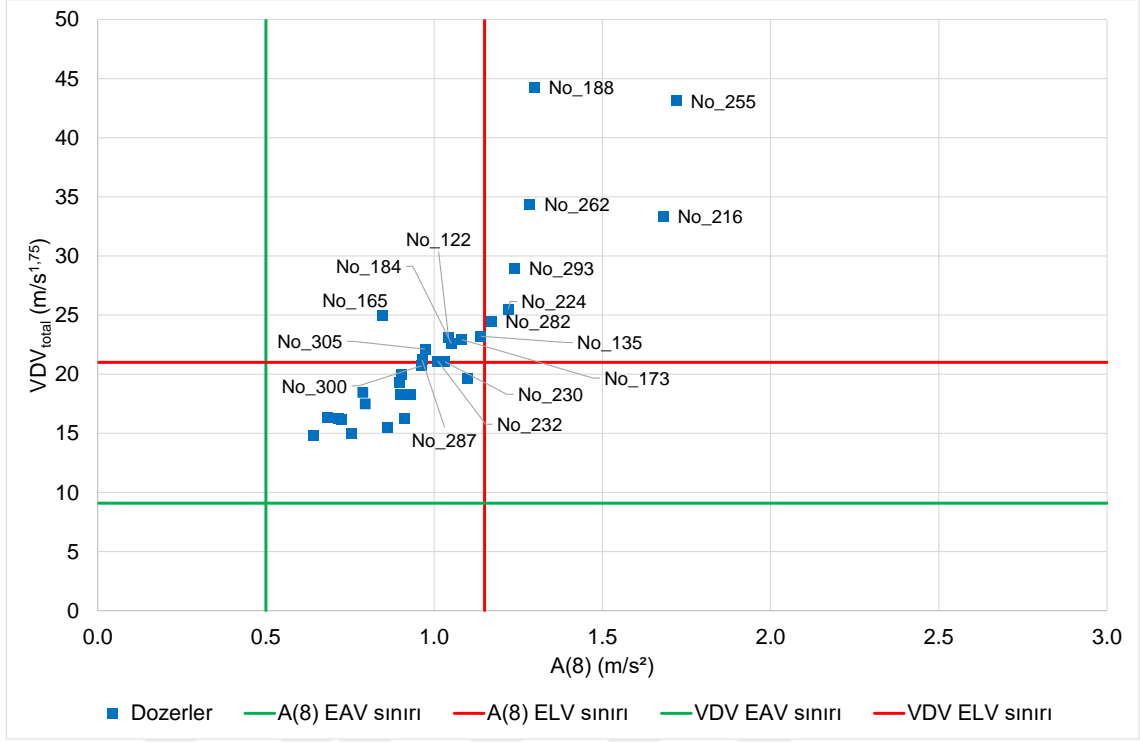
Dozerlerin maruziyet eylem değerine erişim süresi (EAV_{TT(VDV)}), en kötü durum eksenini üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması (00:23:41 ± 00:18:59) sa olacak biçimde 00:00:51 sa ile 01:08:58 sa arasında değişmiştir. Dozerlerin maruziyet sınır değerine erişim süresi (ELV_{TT(VDV)}), en kötü durum eksenini üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması (11:11:31 ± 08:58:12) sa olacak biçimde 00:24:18 sa ile 32:35:57 sa arasında değişmiştir. Bu durumda 31 dozerin tümü de 8 saatlik vardiya süresi bitmeden operatörü maruziyet eylem

değerine ulaştıracak kadar titreşime maruz bırakırken 16 adedi vardiya bitmeden maruziyet sınır değerine erişirmektedir.



Şekil 6.4 Dozerlerin VDV – eVDV ilişkisi

Dozer operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) (A(8)) ile (VDV_{total}) ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 6.5'de sunulmuştur. A(8) ELV sınırını aşan 7 dozer, VDV_{total} üst sınırını aşan 16 dozer ve her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riskini şiddetlendiren 7 dozer bulunmaktadır.



Şekil 6.5 Dozer operatörlerinin A(8) – VDV_{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki

6.2.3 Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme

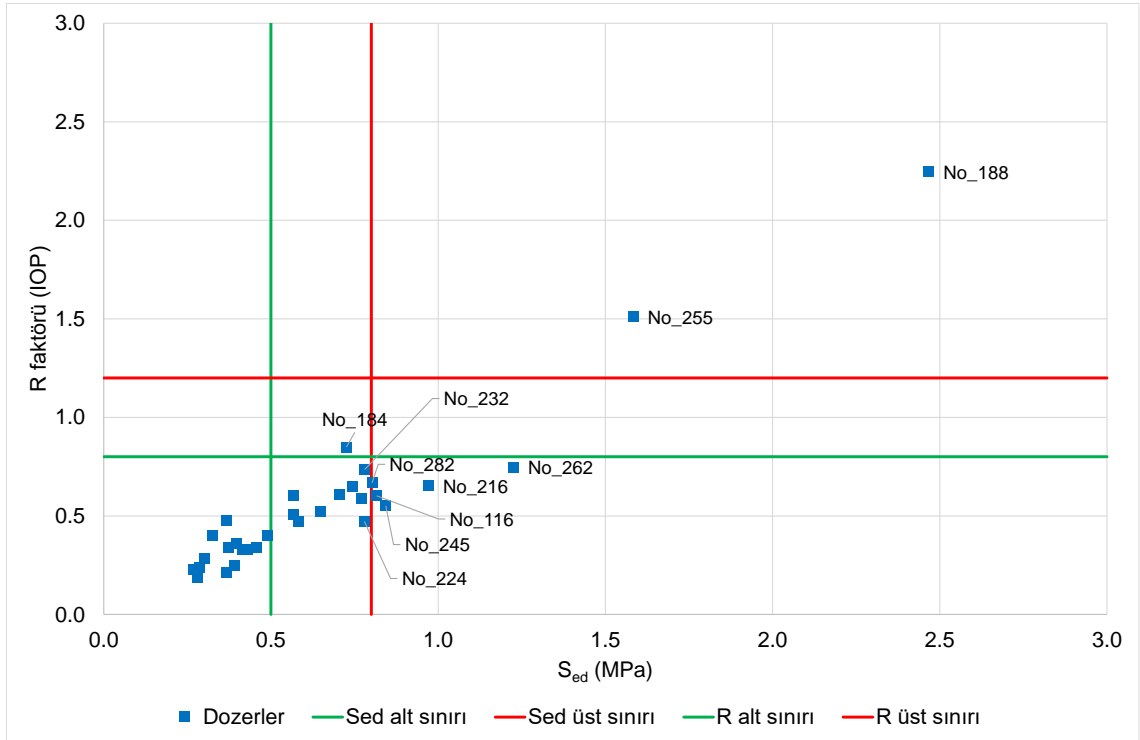
Dozer operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri kullanılarak hesaplanan S_{ed} değerleri ortalama ve standart sapması $(0,664 \pm 0,435)$ MPa olacak biçimde 0,266 MPa ile 2,451 MPa arasında değişmiştir. Diğer yandan dozer operatörlerinin R(IOP) faktörleri, ortalama ve standart sapması $(0,560 \pm 0,397)$ olacak biçimde 0,188 ile 2,247 arasında, R(TOP) faktörleri ortalama ve standart sapması $(0,831 \pm 0,544)$ olacak biçimde 0,332 ile 3,065 arasında değişmiştir.

Tüm dozer operatörleri eşdeğer statik basınç dozu değeri (S_{ed}) ölçütüne göre değerlendirildiğinde; 14 operatör 0,5 MPa'dan düşük basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı düşük, 11 operatör 0,5 MPa – 0,8 MPa arası basınca maruz kaldığından titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı orta ve 6 operatör 0,8 MPa'dan yüksek basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı büyüktür.

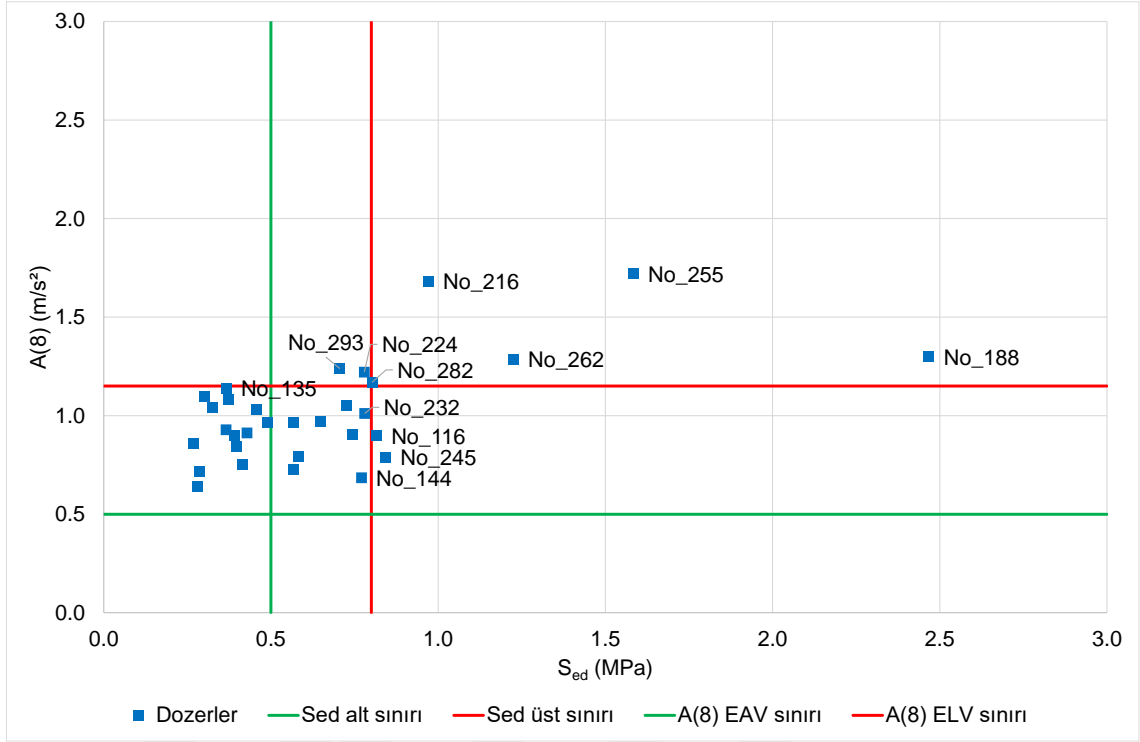
Dozer operatörleri günlük risk faktörü ölçütüne göre değerlendirildiğinde; 28 operatörün R faktörü 0,8'den düşük olup sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığı düşük, 1 operatörün R faktörü 0,8 – 1,2 arası olduğundan sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığı orta ve 2 operatörün R faktörü 1,2'den büyük olduğundan sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığı büyüktür. Dozer operatörlerinin her iki ölçüte göre risk sınırları ile karşılaştırılması Şekil 6.6'da sunulmuştur. Görüleceği üzere her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan 2 adet dozer bulunmaktadır.

Dozer operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 6.7’de sunulmuştur. A(8) ELV sınırını aşan 7 dozer, S_{ed} üst sınırını aşan 6 dozer ve her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan 5 adet dozer bulunmaktadır.

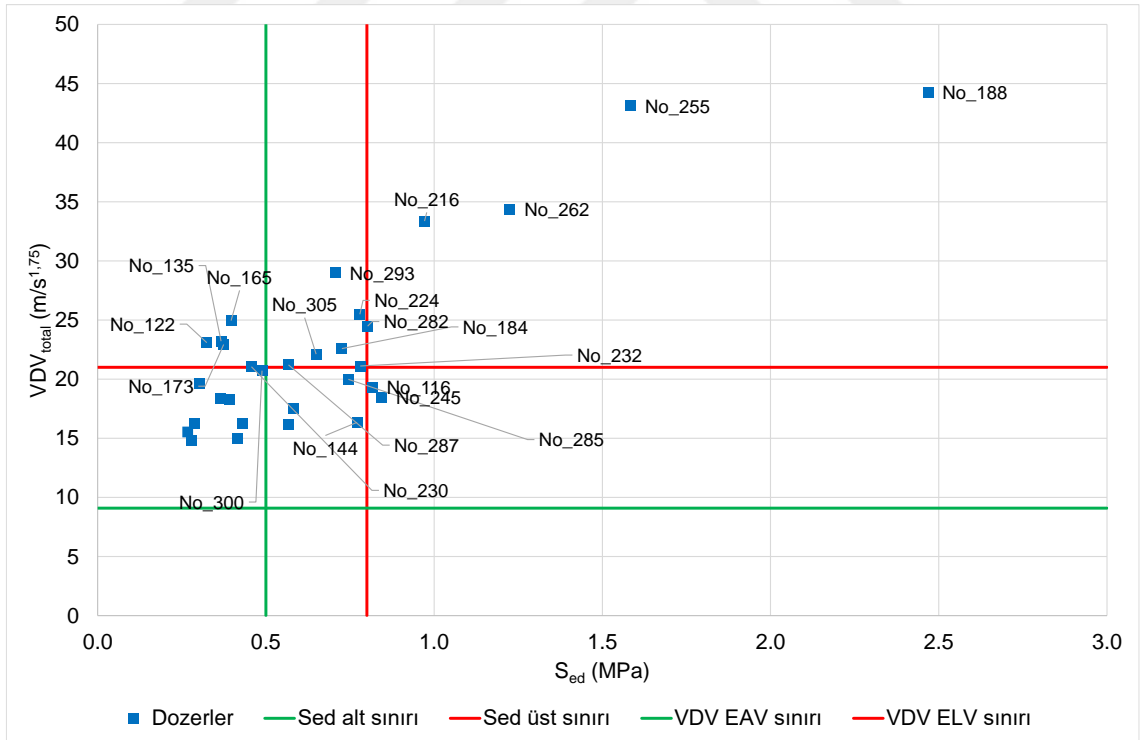
Dozer operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) VDV_{Total} ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 6.8’de sunulmuştur. VDV ELV sınırını aşan 16 dozer, S_{ed} üst sınırını aşan 6 dozer ve her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan 4 adet dozer bulunmaktadır.



Şekil 6.6 Dozer operatörlerinin S_{ed} – R faktörü ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki



Şekil 6.7 Dozer operatörlerinin S_{ed} – $A(8)$ ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki



Şekil 6.8 Dozer operatörlerinin S_{ed} – VDV_{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki

6.3 Evrelerin Değerlendirmesi

6.3.1 Titreşim ivmesi üzerinden tüm evrelerin değerlendirilmesi

Dozerlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $A(8)_{\text{Seat}}$, Vector_{1-3} , EAV ve ELV değerleri evreler bazında Çizelge 6.4'de verilmektedir. Bekleme evresi haricindeki tüm evrelerde günlük eşdeğer ortalama titreşim ivmesinin EU 2002/44/EC direktifi ELV sınırına çok yakın olduğu dikkat çekicidir. Tüm dozerlerin en kötü durum eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre $A(8)_{\text{Seat}}$ değerlerinin EAV ve ELV sınırları ile karşılaştırılması Şekil 6.9a-e'de sunulmuştur.

Dozerlerin EU 2002/44/EC direktifi ve ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca EAV ve ELV sınırları ile ilişkisi incelendiğinde, en kötü durum ölçütü dikkate alındığında araçların büyük bölümünün EAV sınırları (dikkat bölgesi) içinde olduğu ancak vektör toplamı ölçütüne göre dozerlerin oldukça büyük bölümünün ELV sınırları üzerine geçtiği görülmektedir (Çizelge 6.5).

Çizelge 6.4 Dozer döngü evrelerinde titreşim ivmesi parametreleri

Evre	A(8) (m/s ²)				Vektör ₁₋₃ (m/s ²)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Küreme	1,006	0,269	0,543	1,736	1,508	0,415	0,794	2,700
İleri yürüme	1,003	0,290	0,669	1,786	1,508	0,463	0,956	2,841
Geri yürüme	1,090	0,273	0,701	1,772	1,635	0,401	1,039	2,608
Riperleme	0,871	0,163	0,667	1,077	1,357	0,195	1,083	1,625
Bekleme	0,262	0,208	0,014	0,976	0,347	0,268	0,016	1,080
	EAV _{TT(RMS)} (sa)				ELV _{TT(RMS)} (sa)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Küreme	02:27:14	01:26:36	00:39:49	06:46:41	12:58:52	07:38:05	03:30:38	>24
İleri yürüme	02:23:15	01:01:28	00:37:37	04:28:07	12:37:47	05:25:11	03:19:01	23:38:21
Geri yürüme	01:58:35	00:51:15	00:38:13	04:03:55	10:27:21	04:31:05	03:22:10	21:30:21
Riperleme	02:56:04	01:05:48	01:43:32	04:29:44	15:31:24	05:48:04	09:07:41	23:46:52
Bekleme	>24	>24	02:05:58	>24	>24	>24	11:06:24	>24

Çizelge 6.5 Dozer döngü evrelerinde operatörlerin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi

Evre	Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		Bölge	ISO2631-1 HGCZ Bölgesi	
		EKDE	VT	EKDE	VT		EKDE	VT
Küreme (31 araç)	EAV altında	0	0	0	0	HGCZ altında	0	0
	EAV içinde	25	5	9	2	HGCZ içinde	9	2
	ELV üstünde	6	26	22	29	HGCZ üstünde	22	29
İleri yürüme (21 araç)	EAV altında	0	0	0	0	HGCZ altında	0	0
	EAV içinde	17	3	9	0	HGCZ içinde	7	0
	ELV üstünde	4	18	12	21	HGCZ üstünde	14	21
Geri yürüme (30 araç)	EAV altında	0	0	0	0	HGCZ altında	0	0
	EAV içinde	20	3	7	0	HGCZ içinde	6	0
	ELV üstünde	10	27	23	30	HGCZ üstünde	24	30
Riperleme (4 araç)	EAV altında	0	0	0	0	HGCZ altında	0	0
	EAV içinde	4	1	2	0	HGCZ içinde	2	0
	ELV üstünde	0	3	2	4	HGCZ üstünde	2	4
Bekleme (26 araç)	EAV altında	23	20	23	19	HGCZ altında	23	17
	EAV içinde	3	6	2	5	HGCZ içinde	2	7
	ELV üstünde	0	0	1	2	HGCZ üstünde	1	2

En yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum eksenleri küreme, geri yürüme ve ripperleme evrelerinde X eksenleri (Ch1), bekleme evresinde Z eksenleri (Ch3), ileri yürüme evresinde ise X ve Z olmuştur (Çizelge 6.6).

Çalışma sırasında operatörün maruz kaldığı şok yüklemeleri temsil eden doruk faktörü, evreler bazında Çizelge 6.7’de verilmektedir. TVT maruziyetinin düşük olduğu bekleme evresinde dozerlerin büyük bölümü için doruk faktörü 9’dan büyük çıkmış ve şok maruziyetini göstermiştir. Ancak, operatörün yüksek TVT ivmesine maruz kaldığı diğer tüm evrelerde ve tüm eksenlerde doruk faktörü 9’dan küçüktür. Bu durum, bu evrelerde operatöre iletilen TVT ivmesinin dengeli ve kararlı yapıda olduğunu göstermektedir.

Çizelge 6.6 Dozer döngü evrelerinde A(8) değerine göre en kötü durum eksenleri

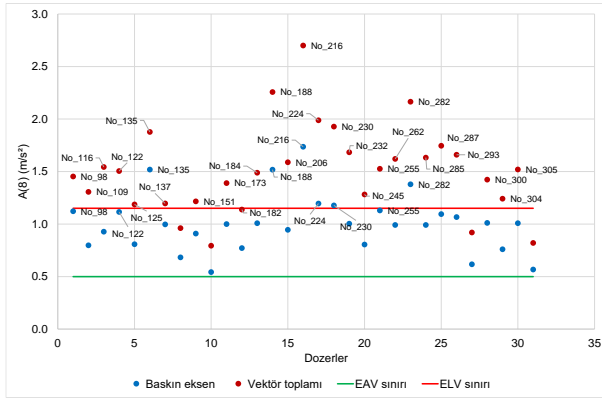
Evre	Dozer adedi		
	X (Ch1)	Y (Ch2)	Z (Ch3)
Küreme	12	11	8
İleri yürüme	9	3	9
Geri yürüme	16	6	8
Ripperleme	3	-	1
Bekleme	6	6	14

Çizelge 6.7 Dozer döngü evrelerinde titreşim ivmesi doruk faktörleri

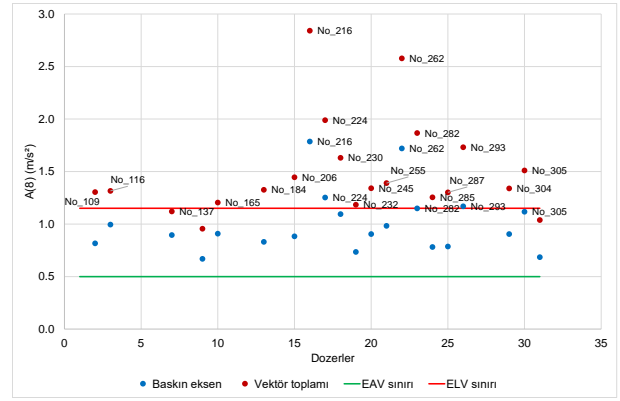
Doruk faktörü	Küreme			İleri yürüme			Geri yürüme		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	4,684	4,506	3,589	4,009	4,217	3,750	5,690	5,110	3,680
En büyük	13,526	22,052	44,264	9,391	11,208	19,890	9,252	12,232	38,346
Ortalama	8,077	8,221	10,036	6,302	6,576	8,313	7,137	7,391	9,594
Std sapma	2,378	3,472	7,655	1,378	1,686	4,145	0,983	1,623	6,095
≥9	9	8	8	1	2	7	3	4	13
<9	22	23	23	20	19	14	27	26	17

Doruk faktörü	Ripperleme			Bekleme		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	4,592	3,931	3,898	3,431	3,556	3,094
En büyük	7,229	10,003	7,288	38,906	17,000	32,550
Ortalama	5,801	6,561	5,745	12,460	8,806	14,583
Std sapma	1,148	2,185	1,276	7,637	3,449	7,859
≥9	0	1	0	17	11	16
<9	4	3	4	9	15	10

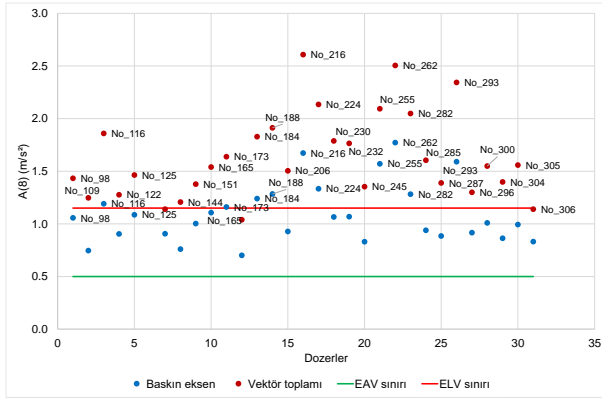
Operatör koltuğunun titreşim sönümlenme özelliğini gösteren koltuk etkinliği genlik geçirgenliği (SEAT) faktörü evreler bazındaki değerleri Çizelge 6.8’de verilmiştir. Tüm evrelerde X ve Y eksenlerinde zeminde oluşan titreşim, dozerlerin hemen tamamının operatör koltuğunda şiddetlenmektedir. Ancak çok düşük düzeyli titreşim oluşan bekleme evresi haricinde Z ekseninde operatör koltuğundaki titreşim, zeminden düşüktür. Operatör koltuğu Z ekseninde titreşim sönümlenici rol oynamaktadır.



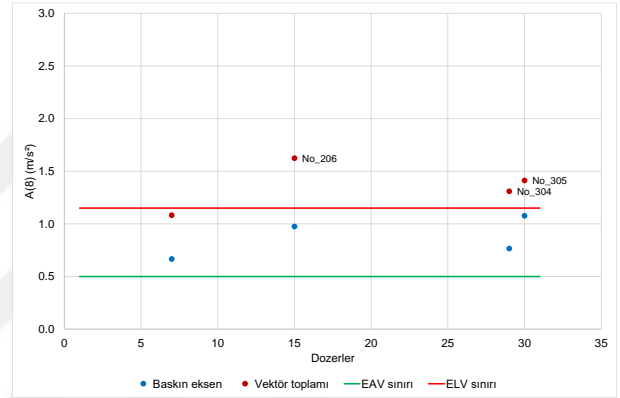
a) Küreme evresi



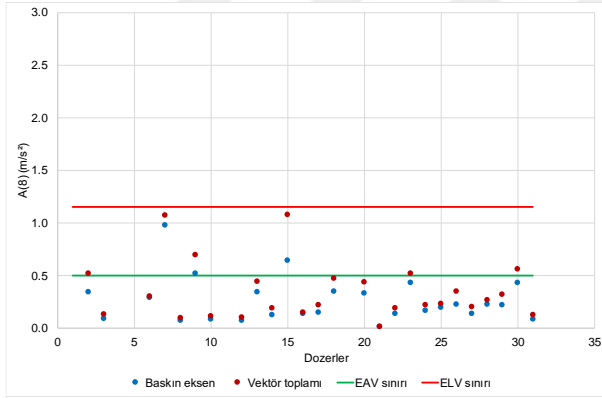
b) İleri yürüme evresi



c) Geri yürüme evresi



d) Riperleme evresi



e) Bekleme evresi

Şekil 6.9 Dozer evrelerinde A(8) değerleri

Çizelge 6.8 Dozer döngü evrelerinde titreşim ivmesi SEAT faktörleri

SEAT faktörü	Küreme			İleri yürüme			Geri yürüme		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	0,780	0,819	0,360	1,096	0,912	0,352	0,765	0,832	0,397
En büyük	1,527	1,645	1,609	1,643	1,526	1,705	1,599	1,869	1,717
<1	2	1	26	0	3	20	2	1	27
≥1	29	30	5	21	18	1	28	29	3

SEAT faktörü	Riperleme			Bekleme		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	1,110	1,176	0,482	0,667	1,286	0,399
En büyük	1,354	1,442	1,049	15,000	15,778	8,151
<1	0	0	3	2	0	7
≥1	4	4	1	24	26	19

6.3.2 Titreşim dozu üzerinden tüm evrelerin değerlendirilmesi

Dozerlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT dozu değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürülmüş ve VDV_{Total}, Vector₁₋₃, EAV ve ELV değerleri Çizelge 6.9'da verilmiştir. En yüksek VDV_{Total} değeri ileri yürüme, geri yürüme ve küreme evresinde meydana gelmekte ve riperleme evresi bu evreleri takip etmektedir. En düşük TVT dozu maruziyeti bekleme evresinde oluşmaktadır. Tüm dozerlerin en kötü durum eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre VDV_{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması Şekil 6.10a-e'de sunulmuştur.

Çizelge 6.9 Dozer döngü evrelerinde titreşim dozu parametreleri

Evre	VDV _{Total} (m/s ^{1,75})				Vektör ₁₋₃ (m/s ²)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Küreme	21,667	7,114	12,390	50,809	25,064	7,787	13,460	54,663
İleri yürüme	21,752	7,030	13,232	43,115	24,902	7,580	14,968	47,068
Geri yürüme	23,108	6,568	14,842	39,852	26,771	7,247	16,962	43,533
Riperleme	18,482	4,503	13,425	25,358	21,748	3,393	17,029	25,926
Bekleme	8,426	6,191	0,545	20,977	8,944	6,565	0,551	22,753

Evre	EAV _{TT(VDV)} (sa)				ELV _{TT(VDV)} (sa)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Küreme	00:29:13	00:29:56	00:00:30	02:19:41	13:48:36	14:09:07	00:14:00	>24
İleri yürüme	00:29:40	00:28:02	00:00:57	01:47:22	14:01:15	13:15:11	00:27:01	>24
Geri yürüme	00:20:28	00:16:22	00:01:18	01:07:50	09:40:35	07:44:18	00:37:01	>24
Riperleme	00:46:30	00:35:38	00:07:58	01:41:20	21:58:54	16:50:33	03:45:46	>24
Bekleme	>24	>24	00:17:00	>24	>24	>24	08:02:05	>24

Dozerlerin evreleri ISO 2631-1 (1997) standartları ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) uyarınca EAV ve ELV sınırları bakımından incelendiğinde, en kötü durum ölçütü dikkate alındığında araçların daha büyük bölümünün ELV sınırı üzerinde olduğu, vektör toplamı ölçütüne göre de bu oranın arttığı görülmektedir (Çizelge 6.10). BS 6841 (1987) standardı uyarınca değerlendirme yapıldığında da bekleme evresi haricinde, dozerlerin hemen tamamının tehlike sınırı olan 15 m/s^{1,75} üzerindeki olumsuz sağlık riskine işaret eden bölgede olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.11'de tüm evrelerde en yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum eksenleri verilmektedir. Operatörün yüksek titreşim dozuna maruz kaldığı tüm evrelerde en kötü durum eksenini X (Ch1), bekleme evresinde ise Z (Ch3), en kötü durum eksenini olmuştur.

Dozerlerin kestirilen titreşim dozu değeri (eVDV, m/s^{1.75}) BS 6841 (1987) standardı uyarınca hesaplanmış, VDV ile arasındaki ilişki ve evrelerdeki doruk faktörleri Çizelge 6.12'de verilmiştir. İleri yürüme dışındaki tüm evrelerde operatörlerin büyük kısmı şoklara maruz kalmaktadır. Belirlilik katsayıları %47 ile %97 arasında güçlü ilişkiye işaret etmektedir. Her üç eksen için VDV – eVDV ilişkisi Şekil 6.11a-e'de verilmiştir.

Çizelge 6.10 Dozer döngü evrelerinde operatörlerin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi

Evre	Ölçüt	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)	
		EKDE	VT	EKDE	VT	EKDE	VT
Küreme	EAV altında	0	0	0	0	3	2
	EAV içinde	17	10	8	3	-	-
	ELV üstünde	14	21	23	28	28	29
İleri yürüme	EAV altında	0	0	0	0	3	1
	EAV içinde	12	6	7	2	-	-
	ELV üstünde	9	15	14	19	18	20
Geri yürüme	EAV altında	0	0	0	0	1	0
	EAV içinde	15	6	4	1	-	-
	ELV üstünde	15	24	26	29	29	30
Riperleme	EAV altında	0	0	0	0	1	0
	EAV içinde	3	2	2	0	-	-
	ELV üstünde	1	2	2	4	3	4
Bekleme	EAV altında	15	15	15	15	20	20
	EAV içinde	11	10	9	7	-	-
	ELV üstünde	0	1	2	4	6	6

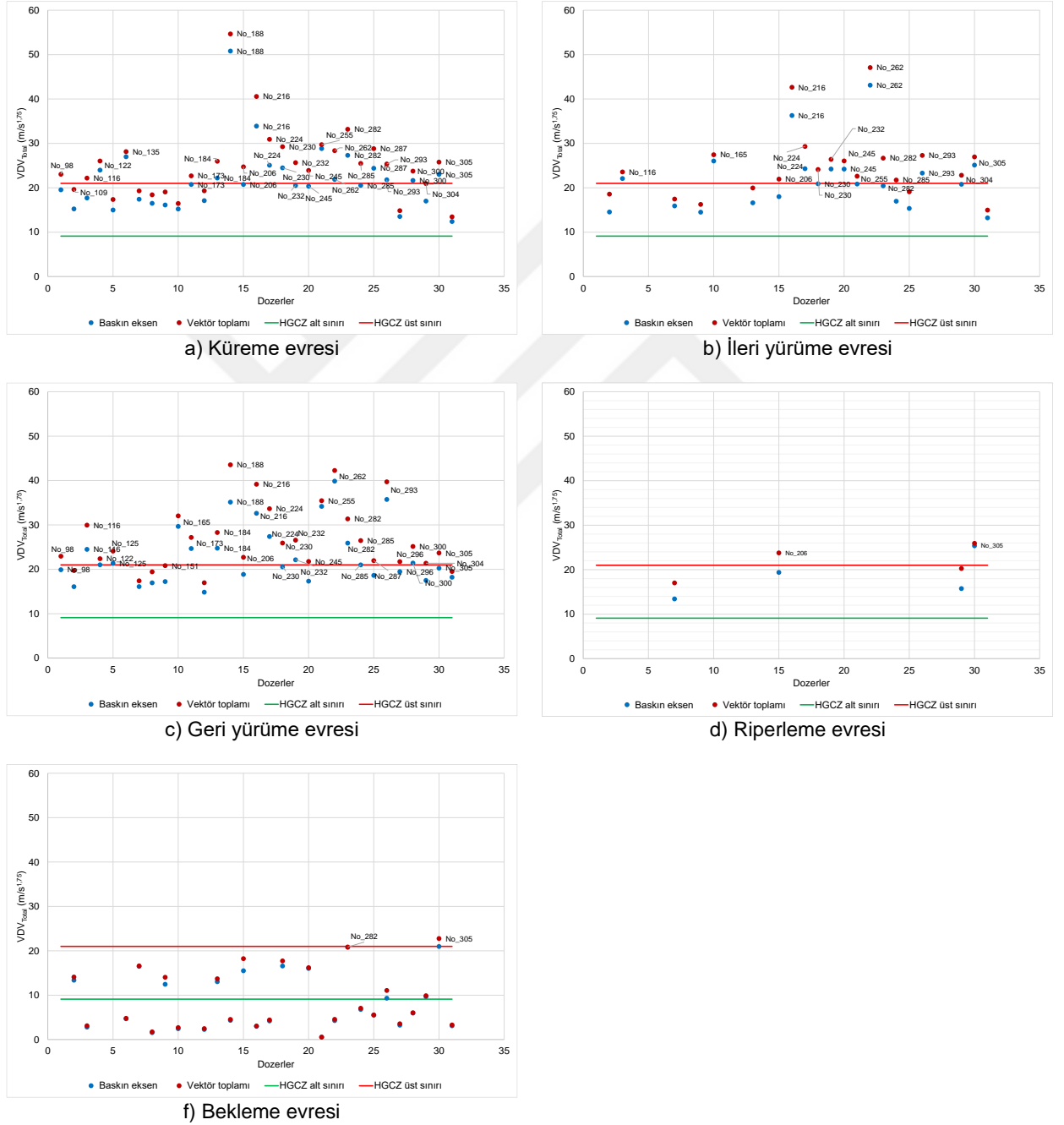
Çizelge 6.11 Dozer döngü evrelerinde VDV_{Total} değerine göre en kötü durum eksenleri

Evre	Dozer adedi		
	X (Ch1)	Y (Ch2)	Z (Ch3)
Küreme	15	10	6
İleri yürüme	10	3	8
Geri yürüme	16	8	6
Riperleme	3	1	-
Bekleme	7	6	13

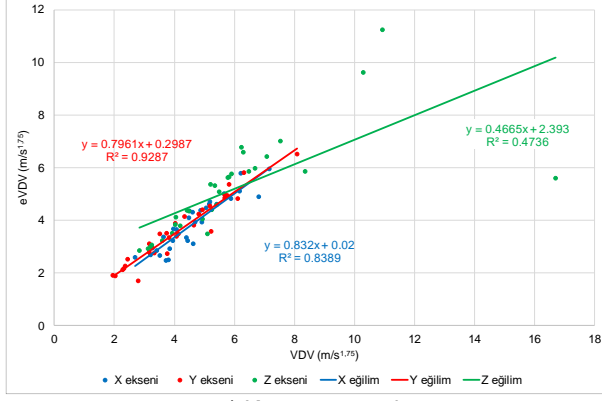
Çizelge 6.12 Dozer döngü evrelerinde titreşim dozu doruk faktörleri

Doruk faktörü	Küreme			İleri yürüme			Geri yürüme		
	VDV _x	VDV _y	VDV _z	VDV _x	VDV _y	VDV _z	VDV _x	VDV _y	VDV _z
≥6	26	25	24	8	12	12	27	23	25
<6	5	6	7	13	9	9	3	7	5
R ²	0,84	0,93	0,47	0,85	0,93	0,88	0,91	0,88	0,72
Doruk faktörü	Riperleme			Bekleme					
	VDV _x	VDV _y	VDV _z	VDV _x	VDV _y	VDV _z			
≥6	2	3	2	21	20	23			
<6	2	1	2	5	6	3			
R ²	0,92	0,71	0,97	0,78	0,93	0,61			

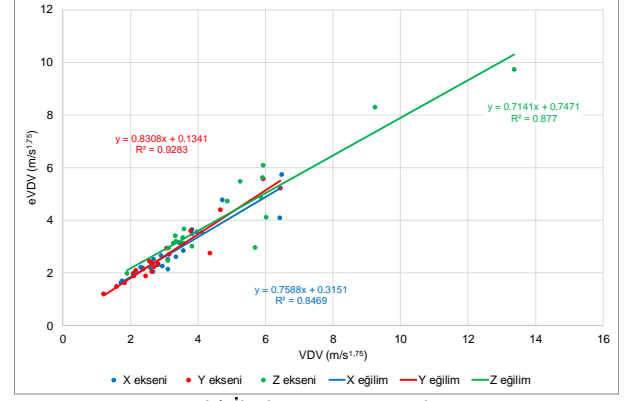
Dozer operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile VDV_{Total} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 6.12'de sunulmuştur. Bekleme, küreme ve ripерleme evrelerinde A(8) ELV ve VDV_{total} üst sınırını birlikte aşarak olumsuz sağlık riski sunan dozer bulunmamaktadır. İleri yürüme evresinde ölçüm alınan dozerlerin 9 adedi A(8) ELV üst sınırının altında kalırken; VDV_{total} alt sınırını sadece 4 dozer aşmıştır. Geri yürüme evresinde ölçüm alınan dozerlerin 10 adedi A(8) ELV üst sınırının altında kalırken; VDV_{total} alt sınırını 15 dozer aşmış ve 10 dozer, her iki sınırı birlikte aşmıştır.



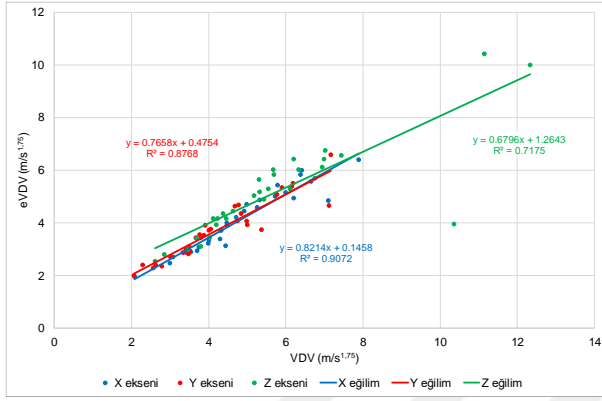
Şekil 6.10 Dozer evrelerinde VDV_{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması



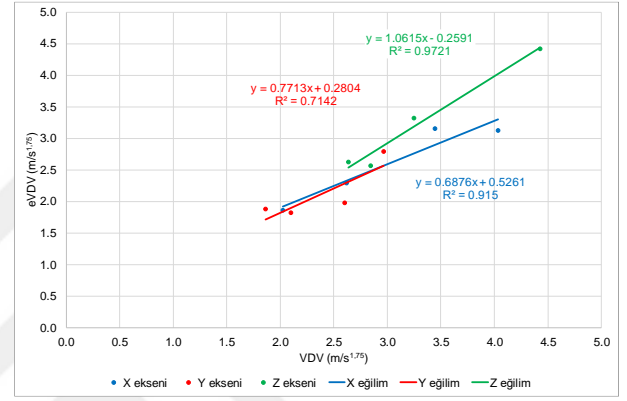
a) Küreme evresi



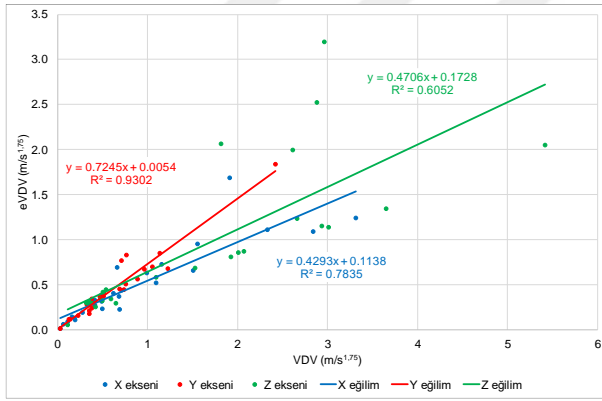
b) İleri yürüme evresi



c) Geri yürüme evresi

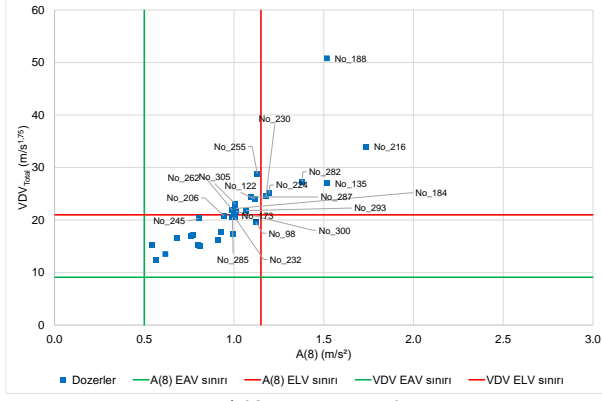


d) Riperleme evresi

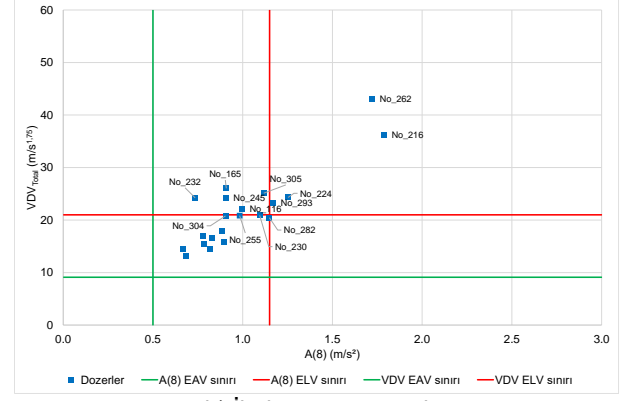


e) Bekleme evresi

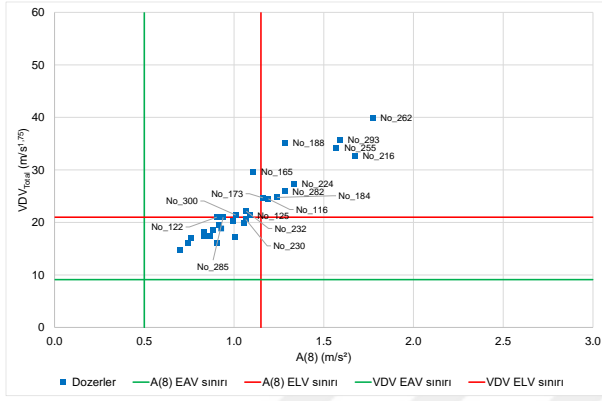
Şekil 6.11 Dozerlerin evrelerdeki VDV – eVDV ilişkisi



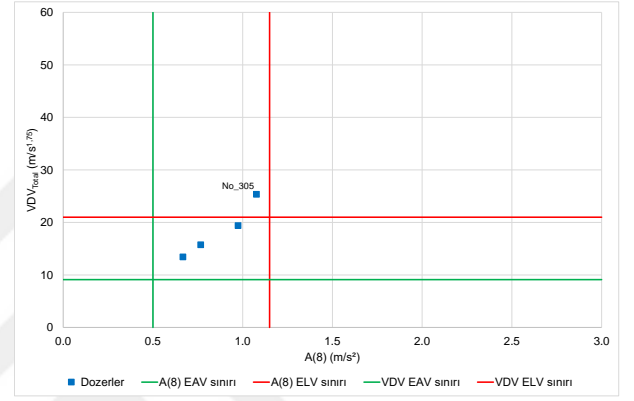
a) Küreme evresi



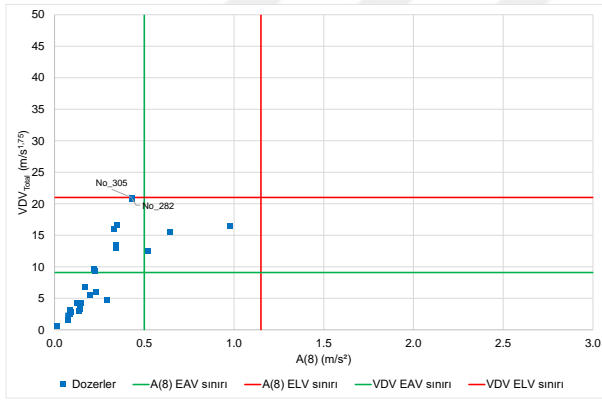
b) İleri yürüme evresi



c) Geri yürüme evresi



d) Riperleme evresi



e) Bekleme evresi

Şekil 6.12 Dozerlerin evrelerdeki A(8) – VDV_{Total} ilişkisi

6.3.3 Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden tüm evrelerin değerlendirilmesi

Dozer operatörlerinin koltukta ölçülen TVT ivmesi değerleri kullanılarak ISO 2631-5 (2004) standardına göre hesaplanan S_{ed} , R(IOP) ve R(TOP) faktörleri değerleri evreler bazında Çizelge 6.13'de verilmiştir. İleri ve geri yürüme, küreme ve riperleme evrelerine ait eşdeğer statik basınç dozu değeri (S_{ed}), 0,5 MPa üzerinde iken bekleme evresi için bu ölçüte göre olumsuz sağlık riski bulunmamaktadır. R(IOP) faktörü dikkate alındığında ise tüm evrelerin ortalamaları 0,8 eşliğinin altında olup, olumsuz sağlık riski olasılığına işaret etmemektedir. Her evrede TVT kaydı alınan dozerlerin S_{ed} değeri ve R faktörüne göre sağlık riski değerlendirme sonuçları Çizelge 6.14'de

verilmektedir. S_{ed} değeri dikkate alındığında operatörlerin çoğunluğu 0,5 MPa'dan düşük basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı düşüktür. R faktörüne göre ise her evrede operatörlerin tamamına yakın kısmı için olumsuz sağlık etkisi olasılığı yoktur.

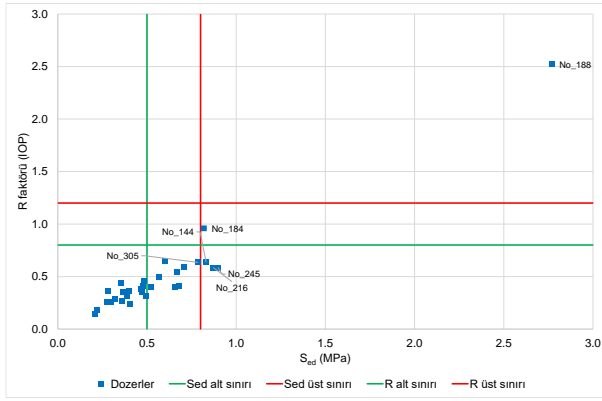
Çizelge 6.13 Dozer operatörlerinin döngü evrelerindeki S_{ed} ve R faktörleri

Evre	S_{ed} (MPa)				R(IOP) faktör				R(TOP) faktör			
	Ort.	Std. Sapma	En küçük	En büyük	Ort.	Std. sapma	En küçük	En büyük	Ort.	Std. sapma	En küçük	En büyük
Küreme	0,574	0,443	0,209	2,749	0,485	0,408	0,142	2,520	0,718	0,554	0,262	3,438
İleri yürü	0,637	0,384	0,219	1,573	0,499	0,269	0,155	1,095	0,797	0,480	0,274	1,967
Geri yürü	0,612	0,367	0,232	2,025	0,513	0,307	0,179	1,856	0,765	0,458	0,290	2,532
Riperleme	0,423	0,105	0,307	0,541	0,318	0,077	0,250	0,441	0,529	0,131	0,384	0,677
Bekleme	0,286	0,271	0,025	1,016	0,230	0,218	0,024	0,852	0,357	0,338	0,031	1,271

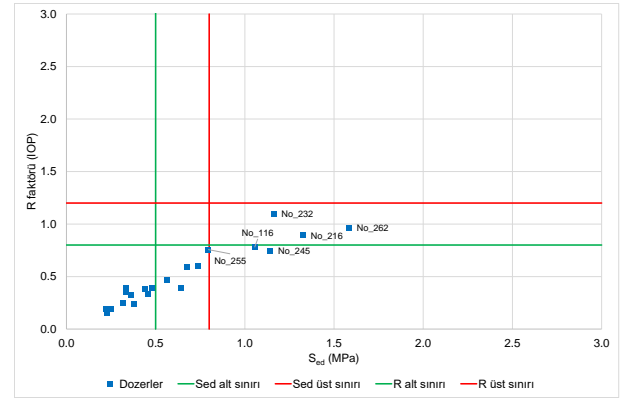
Çizelge 6.14 Dozer döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörüne göre sağlık riski

Evre	S_{ed} (MPa)		
	<0,5	0,5 – 0,8	>0,8
Küreme	18	8	5
İleri yürüme	11	5	5
Geri yürüme	16	7	7
Riperleme	2	2	-
Bekleme	22	2	2
	R faktörü		
	<0,8	0,8 – 1,2	>1,2
Küreme	29	1	1
İleri yürüme	18	3	-
Geri yürüme	28	1	1
Riperleme	4	-	-
Bekleme	25	1	-

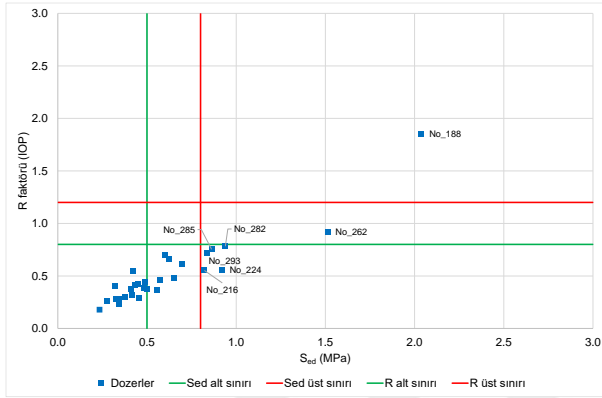
Operatörlerin S_{ed} – R risk sınırları ile karşılaştırılması Şekil 6.13a-e'de sunulmuştur. Hiçbir evrede her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riskine maruz kalan operatör bulunmamaktadır. Operatörlerin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre karşılaştırılması Şekil 6.14a-e'de sunulmuştur. Küreme, ileri yürüme ve geri yürüme evrelerinde A(8) ELV ve S_{ed} üst sınırlarını aşan 1, 1 ve 5 adet dozer bulunmaktadır. Operatörlerin ISO 2631-1 (1997) VDV_{Total} ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre karşılaştırılması Şekil 6.15a-e'de sunulmuştur. Küreme, ileri yürüme ve geri yürüme evrelerinde A(8) ELV ve S_{ed} üst sınırlarını aşan 2, 4 ve 6 adet dozer bulunmaktadır.



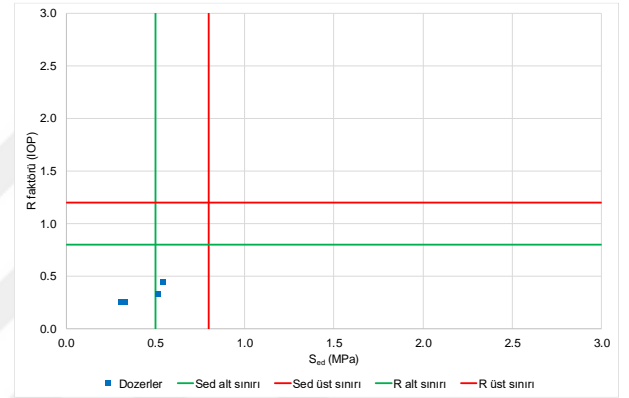
a) Küreme evresi



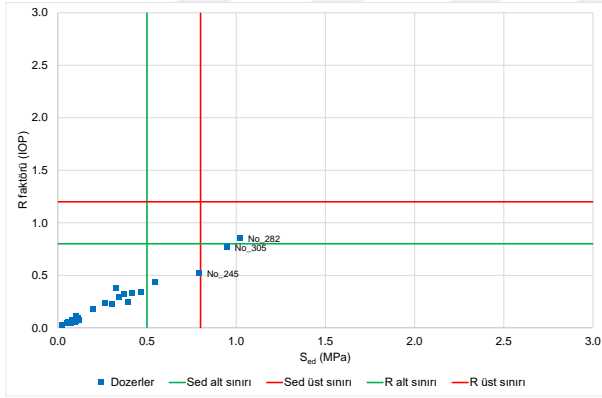
b) İleri yürüme evresi



c) Geri yürüme evresi

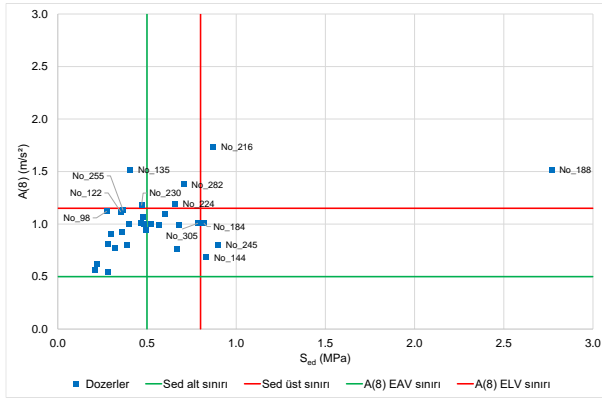


d) Riperleme evresi

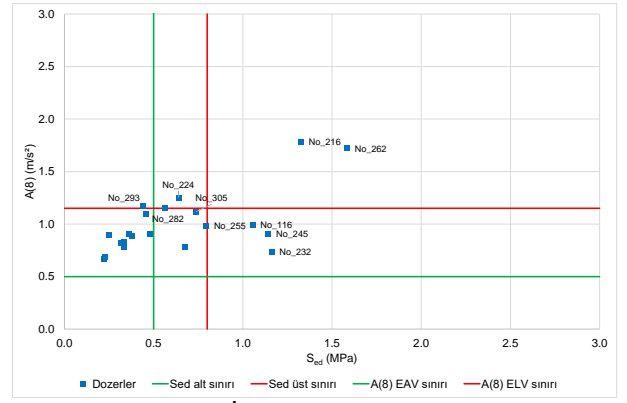


e) Bekleme evresi

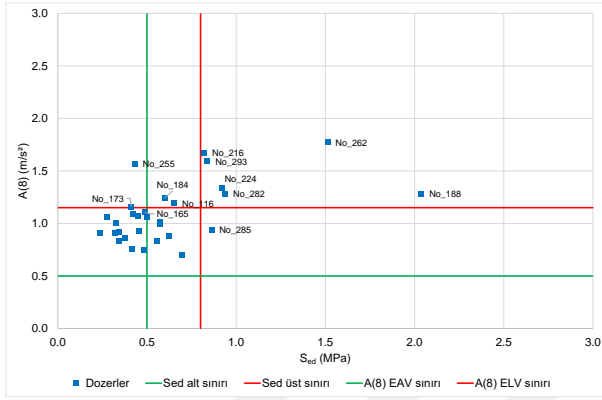
Şekil 6.13 Dozer operatörlerinin evreler bazında S_{ed} – R faktörü ilişkisi



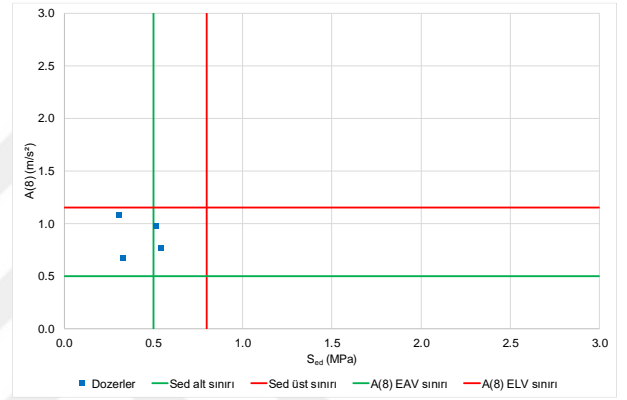
a) Küreme evresi



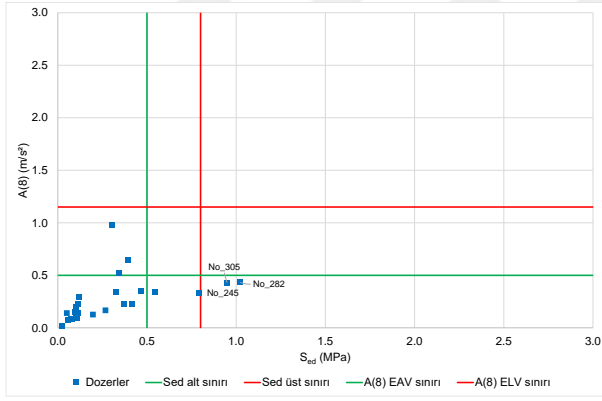
b) İleri yürüme evresi



c) Geri yürüme evresi

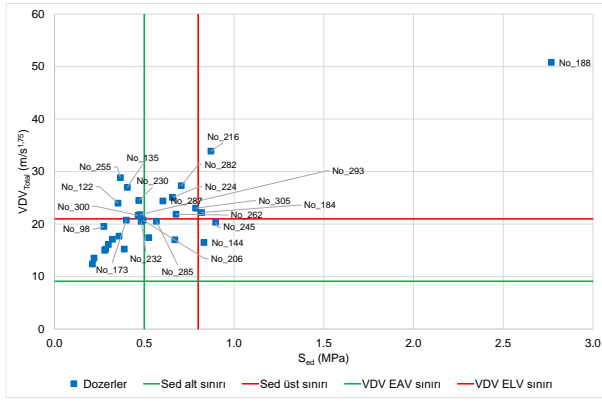


d) Riperleme evresi

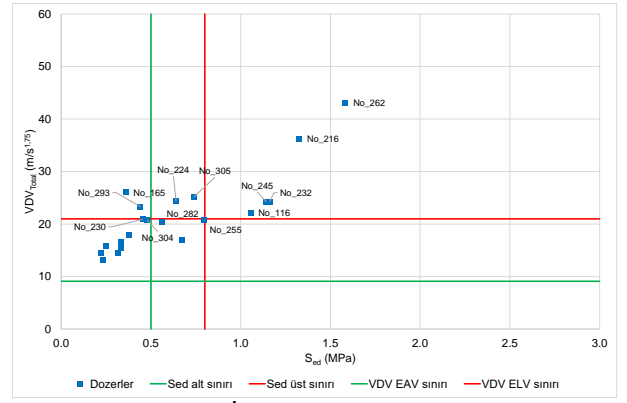


e) Bekleme evresi

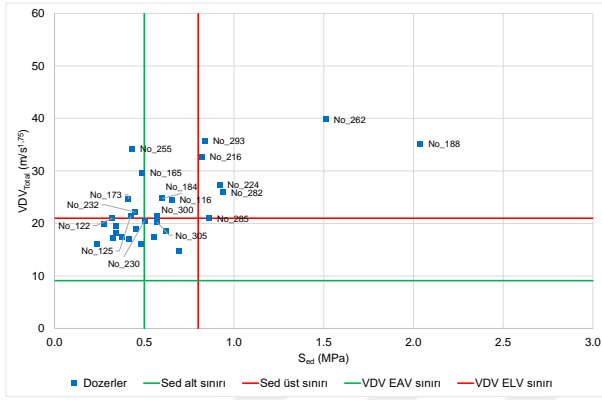
Şekil 6.14 Dozer operatörlerinin evreler bazında S_{ed} – $A(8)$ ilişkisi



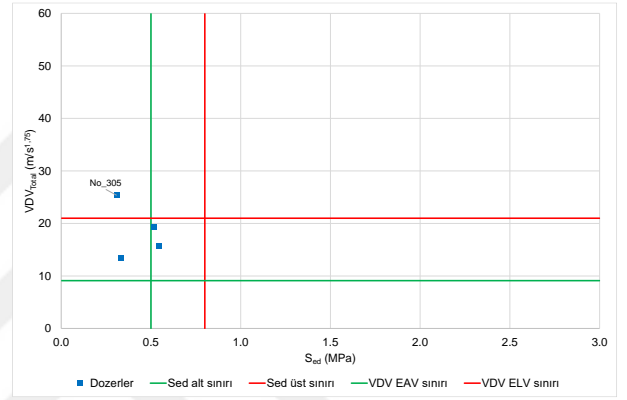
a) Küreme evresi



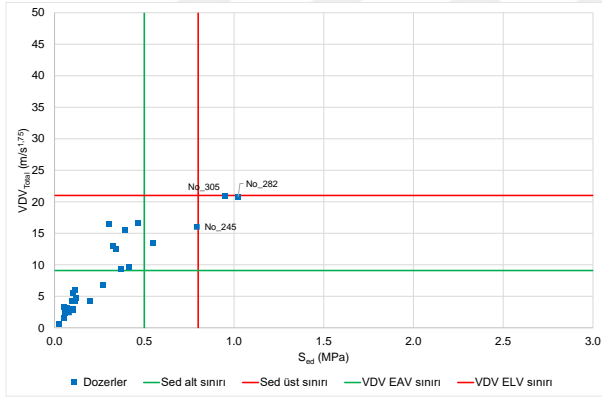
b) İleri yürüme evresi



c) Geri yürüme evresi



d) Riperleme evresi



e) Bekleme evresi

Şekil 6.15 Dozer operatörlerinin evreler bazında S_{ed} – VDV_{Total} ilişkisi

6.4 İstatistiksel Analizler

6.4.1 Döngü evre gruplarının TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Evreler bazında aşağıdaki sayıda dozerden ölçüm alınmıştır: bekleme 26 dozer, küreme 31 dozer, ileri yürüme 21 dozer, geri yürüme 30 dozer, ripperleme 4 dozer. TVT ölçümleri alınan dozerlerle ilgili hesaplanan titreşim ivmesi ve dozu değerlerinin kullanıldığı analizlerde önce betimleyici istatistikler hesaplanmış daha sonra da etkileyici faktörler bazında hipotez testleri yapılmıştır. Çizelge 6.15'de evreler bazında betimleyici istatistikler verilmiştir. Dozer operatörlerinin bekleme ve ripperleme dışındaki evrelerde birbirine yakın titreşim ivmesi ve dozuna maruz kaldığı görülmektedir.

Titreşim ivmesi ve dozu ortalamaları karşılaştırıldığında en büyük maruziyet geri yürüme evresinde oluşurken bu evreyi küreme ve ileri yürüme evreleri takip etmektedir. Operatörler bekleme evresinde en düşük TVT ivmesi ve dozuna maruz kalmaktadırlar.

Çizelge 6.15 Dozer döngüsünü oluşturan evrelerin betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Evre	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	küreme	31	1,00642	,273031	,049038	,543	1,736
	ileri yürüme	21	1,00314	,296658	,064736	,669	1,786
	geri yürüme	30	1,09000	,277720	,050705	,701	1,772
	riperleme	4	,87100	,187693	,093847	,667	1,077
	bekleme	26	,26196	,211987	,041574	,014	,976
VDV _{Total}	küreme	31	21,67735	7,231618	1,298837	12,390	50,809
	ileri yürüme	21	21,75190	7,203066	1,571838	13,232	43,115
	geri yürüme	30	23,10757	6,680199	1,219632	14,842	39,852
	riperleme	4	18,48150	5,199912	2,599956	13,425	25,358
	bekleme	26	8,42596	6,313121	1,238105	,545	20,977

Evreler bazında TVT ivmesi ve dozu değerlerinin evreler bazında anlamlı biçimde değişip değişmediği, hipotez testleri aracılığıyla araştırılmıştır. Evre verisinin normal dağılıma uygunluğu çarpıklık-basıklık değerleri değerlendirilerek yapılmış ve tüm evre verisinin normal dağılıma uygun olduğu belirlenmiştir. Varyansların homojenliği testine göre TVT ivmesi ve dozu grup varyansı homojendir ($Sig_{A(8)} = 0,707$; $Sig_{VDV_{Total}} = 0,926$). TVT ivmesi ve dozu için dozer döngüsünü oluşturan evrelerin ortalamaları arasındaki farklılığın anlamlı olup olmadığı *Tukey* testi ile incelenmiştir (Çizelge 6.16). Çoklu karşılaştırma testi sonucunda titreşim ivmesi ve dozu için bekleme evresi ile diğer tüm evreler arasında anlamlı bir farklılık olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 6.16 Dozer döngüsü evrelerinin çoklu karşılaştırması

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)
TUKEY HSD	küreme	ileri yürüme	,003276	TUKEY HSD	küreme	ileri yürüme	-,074550
		geri yürüme	-,083581			geri yürüme	-1,430212
		riperleme	,135419			riperleme	3,195855
		bekleme	,744458*			bekleme	13,251393*
	ileri yürüme	küreme	-,003276	ileri yürüme	küreme	,074550	
		geri yürüme	-,086857		geri yürüme	-1,355662	
		riperleme	,132143		riperleme	3,270405	
		bekleme	,741181*		bekleme	13,325943*	
	geri yürüme	küreme	,083581	geri yürüme	küreme	1,430212	
		ileri yürüme	,086857		ileri yürüme	1,355662	
		riperleme	,219000		riperleme	4,626067	
		bekleme	,828038*		bekleme	14,681605*	
riperleme	küreme	-,135419	riperleme	küreme	-3,195855		
	ileri yürüme	-,132143		ileri yürüme	-3,270405		
	geri yürüme	-,219000		geri yürüme	-4,626067		
	bekleme	,609038*		bekleme	10,055538		
bekleme	küreme	-,744458*	bekleme	küreme	-13,251393*		
	ileri yürüme	-,741181*		ileri yürüme	-13,325943*		
	geri yürüme	-,828038*		geri yürüme	-14,681605*		
	riperleme	-,609038*		riperleme	-10,055538		

6.4.2 Dozer boyutunun TVT düzeyi üzerindeki etkisi

TVT ivmesi ve dozu düzeylerinin dozer boyutundaki farklılıklar ile anlamlı biçimde değişip değişmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Çalışmada örneklenen dozerler aşağıdaki aralıklara bölünmüştür.

- büyük → 22 adet
- orta → 9 adet

Bu çalışmada örneklem sayısı yeterli düzeyde olduğu için normal dağılıma uygunluk Shapiro-Wilk testi üzerinden değerlendirilmiş ve TVT ivmesi ve dozu değerleri normal dağılıma uygun çıkmamıştır (Sig. < 0,05). Çarpıklık ve basıklık değerlerinin +2,000 ile -2,000 arasında olduğunda verinin normal dağıldığını kabul edilmektedir. TVT ivmesi çarpıklığı 1,181 ve basıklığı 1,795 iken titreşim dozu için 1,693 ile 2,769 olup veri normal dağılıma uygundur.

Dozer boyutu grup ortalamaları arasındaki farklılık bağımsız örneklem t-testi yöntemi ile incelenmiş ve grup istatistikleri Çizelge 6.17'de verilmiştir. Çizelge 6.18 incelendiğinde, A(8) ve VDV_{Total} için grup varyanslarının eşit olduğunu kabul eden önem derecesi değerleri 0,05'ten küçük olduğundan t-testi için varyansların eşit olmadığı önem değerleri kontrol edilmiş ve iki-yönlü önem değeri, tek-yönlü değer iki katı olduğundan t-testi değeri ikiye bölünmüştür (Sig_{A(8)} = 0,0355, Sig_{VDV_{Total}} = 0,0525). Her iki değer de 0,05'ten küçük olduğundan H₁ hipotezi doğru kabul edilmiş olup grup ortalamaları arasında farklılık vardır. Böylece büyük dozerlerin orta boyutlu dozerlere göre daha az titreşim ivmesi ve dozuna maruz bıraktığı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 6.17 Dozer boyutu grupları için varyansların grup istatistikleri

Bağımlı değişken	Dozer boyutu	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata
A(8)	Büyük	22	,93876	,166601	,035519
	Orta	9	1,18558	,348776	,116259
VDV _{Total}	Büyük	22	20,64464	4,638264	,988881
	Orta	9	27,29389	10,693333	3,564444

Çizelge 6.18 Dozer boyutu için bağımsız örneklem testi

Bağımlı değişken	Varyanslar	Varyansların eşitliği		Ortalamaların eşitliği				
		Levene testi		t-testi				
		F	Önem	t	Serb. Dere.	Önem (2 kuyr.)	Ortalama-ların farkı	Farkın standart hatası
A(8)	Eşit	5,698	,024	-2,693	29	,012	-,246814	,091655
	Eşit değil			-2,030	9,532	,071	-,246814	,121564
VDV _{Total}	Eşit	11,565	,002	-2,448	29	,021	-6,649253	2,716214
	Eşit değil			-1,798	9,258	,105	-6,649253	3,699074

6.4.3 Dozer yürüme tipinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi

TVT ivmesi ve dozu düzeylerinin yürüme tipindeki farklılıklar ile anlamlı biçimde değişip değişmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Bu analizde örneklenen dozerler aşağıdaki aralıklara bölünmüştür.

- Paletli → 28 adet
- Lastik tekerlekli → 3 adet

Yürüme tipi grup ortalamaları arasındaki farklılık bağımsız örneklem t-testi yöntemi ile incelenmiş ve grup istatistikleri Çizelge 6.19'da verilmiş olup ortalamaların birbirine yakın olduğu göze çarpmaktadır. Çizelge 6.20'de, grup varyanslarının eşit olduğunu kabul eden önem derecesi değerleri 0,05'ten büyük olduğundan t-testi için varyansların eşit olduğu önem değerleri kontrol edilmiş ve iki-yönlü önem değeri, tek-yönlü değer iki katı olduğundan t-testi değeri ikiye bölünmüştür ($Sig_{A(8)} = 0,368$, $Sig_{VDV_{Total}} = 0,325$). Her iki değer de 0,05'ten büyük olduğundan H_0 hipotezi doğru kabul edilmiş olup grup ortalamaları arasında farklılık yoktur. Böylece dozerlerin yürüme tipindeki farklılıkların titreşim ivmesi ve dozu üzerinde etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 6.19 Dozer yürüme aksamı gruplarının istatistikleri

Bağımlı değişken	Yürüme aksamı	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata
A(8)	Paletli	28	1,00524	,262465	,049601
	Lastik tekerlekli	3	1,05880	,196675	,113550
VDV _{Total}	Paletli	28	22,37236	7,422652	1,402749
	Lastik tekerlekli	3	24,46700	8,645173	4,991293

Çizelge 6.20 Dozer yürüme aksamı için bağımsız örneklem testi

Bağımlı değişken	Varyanslar	Varyansların eşitliği Levene testi		Ortalamaların eşitliği t-testi				
		F	Önem	t	Serb. Dere. (2 kuyr.)	Önem	Ortalama-ların farkı	Farkın stan-dart hatası
A(8)	Eşit	,180	,674	-,341	29	,735	-,053564	,157016
	Eşit değil			-,432	2,828	,696	-,053564	,123911
VDV _{Total}	Eşit	,241	,627	-,459	29	,650	-2,094643	4,564308
	Eşit değil			-,404	2,327	,720	-2,094643	5,184661

6.4.4 Dozer hizmet süresinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi

TVT ölçümünün alındığı tarih itibarıyla hesaplanmış olan dozer hizmet sürelerinin TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Hizmet süresi 5 yıllık gruplara ayrılmış ve aşağıdaki şekilde oluşmaktadır;

- 1-5 → 4 dozer
- 6-10 → 4 dozer
- 11-15 → 4 dozer
- 16-20 → 4 dozer
- 21-25 → 3 dozer
- 26-30 → 12 dozer

Varyansların homojenliği testi sonucuna göre titreşim ivmesi ve dozu grup varyanslarının homojen olduğu belirlenmiştir ($Sig_{A(8)} = 0,168$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,223$). Dozer hizmet süresi 5 yıllık gruplarının betimleyici istatistikleri Çizelge 6.21'de verilmiştir. 6-10, 16-20 ve 26-30 yıllık hizmet süresi olan dozerlerin TVT ivmesi ve dozunun diğer gruplara göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.21 Dozer hizmet süresi gruplarının betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Hizmet süresi	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	1-5	4	,90370	,168181	,084090	,725	1,051
	6-10	4	1,06650	,175173	,087587	,897	1,298
	11-15	4	,90990	,159054	,079527	,685	1,032
	16-20	4	1,09925	,179284	,089642	,861	1,285
	21-25	3	,97093	,151296	,087351	,846	1,139
	26-30	12	1,04107	,357267	,103134	,641	1,720
VDV _{Total}	1-5	4	19,84325	3,500985	1,750493	16,210	23,085
	6-10	4	26,33000	12,029617	6,014808	19,300	44,275
	11-15	4	18,93725	3,089160	1,544580	16,223	22,118
	16-20	4	24,32600	7,742509	3,871254	15,532	34,354
	21-25	3	22,16200	3,430753	1,980746	18,330	24,948
	26-30	12	22,96625	8,486582	2,449865	14,781	43,115

5 yıllık hizmet süresi grupları tek yönlü varyans analizi kullanılarak incelendiğinde; H_0 hipotezi kabul edilerek ve %95 güvenle grupların ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna varılmıştır ($Sig_{A(8)} = 0,840$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,763$). Dozer hizmet süresi grubu ortalamaları arasındaki farklılık çoklu karşılaştırma tablosunda TVT ivmesi ve dozu için *Tukey testi* baz alınarak ikilik gruplar arasında Çizelge 6.22'de incelenmiş ve titreşim ivmesi ile

dozu için gruplar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna varılmıştır. Böylece TVT ivmesi ve dozu dozer hizmet süresinden etkilenmemekte olup, ondan bağımsızdır.

Çizelge 6.22 Paletli dozer hizmet süresi grupları için çoklu karşılaştırma sonuçları

Bağımlı değişken	Test	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	Bağımlı değişken	Test	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)
A(8)	TUKEY HSD	1-5	6-10	-,162800	VDV _{Total}	TUKEY HSD	1-5	6-10	-6,486750
			11-15	-,006200				11-15	,906000
			16-20	-,195550				16-20	-4,482750
			21-25	-,067233				21-25	-2,318750
			26-30	-,137367				26-30	-3,123000
		6-10	1-5	,162800			6-	1-5	6,486750
			11-15	,156600			10	11-15	7,392750
			16-20	-,032750			16-20	2,004000	
			21-25	,095567			21-25	4,168000	
			26-30	,025433			26-30	3,363750	
		11-15	1-5	,006200			11-	1-5	-,906000
			6-10	-,156600			15	6-10	-7,392750
			16-20	-,189350			16-20	-5,388750	
			21-25	-,061033			21-25	-3,224750	
			26-30	-,131167			26-30	-4,029000	
		16-20	1-5	,195550			16-	1-5	4,482750
			11-15	,032750			20	11-15	-2,004000
			16-20	,189350			16-20	5,388750	
			21-25	,128317			21-25	2,164000	
			26-30	,058183			26-30	1,359750	
		21-25	1-5	,067233			21-	1-5	2,318750
			6-10	-,095567			25	6-10	-4,168000
			11-15	,061033			11-15	3,224750	
			16-20	-,128317			16-20	-2,164000	
			26-30	-,070133			26-30	-,804250	
		26-30	1-5	,137367			26-	1-5	3,123000
			6-10	-,025433			30	6-10	-3,363750
			11-15	,131167			11-15	4,029000	
16-20	-,058183		16-20	-1,359750					
21-25	,070133		21-25	,804250					

6.4.5 Operatör yaşının TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Operatör yaşının TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Bu analizde, operatör yaşları 10 yıllık kategorilere ayrılmıştır. Buna göre yaş aralıklarında aşağıdaki sayıda operatör bulunmaktadır;

- 20-30 → 7 operatör
- 31-40 → 15 operatör
- 41-50 → 6 operatör
- ≥51 → 3 operatör

Varyansların homojenliği testi sonucuna göre titreşim ivmesi için ($Sig_{A(8)} = 0,416$) grup varyanslarının homojen olduğu kabul edilirken titreşim dozu değeri için varyansların homojen olmadığı sonucuna varılmıştır ($Sig_{VDV_{Total}} = 0,002$). Operatör yaşının 10 yıllık gruplarına ait betimleyici istatistikler Çizelge 6.23'de verilmiştir. 41-50 yaş grubu operatörlerin en yüksek titreşim ivmesi ve dozuna maruz kaldığı görülmektedir.

Çizelge 6.23 Operatör yaşı gruplarının betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Operatör yaşı	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	20-30	7	,98997	,227599	,086024	,685	1,285
	31-40	15	,96837	,258233	,066675	,641	1,681
	41-50	6	1,14083	,334585	,136594	,754	1,720
	≥51	3	1,00753	,068833	,039741	,928	1,051
VDV _{Total}	20-30	7	21,76871	6,550192	2,475740	16,223	34,354
	31-40	15	21,20973	5,203914	1,343645	14,781	33,371
	41-50	6	27,54967	12,752396	5,206144	14,957	44,275
	≥51	3	21,33400	2,613429	1,508864	18,330	23,085

Tek yönlü varyans analizi sonuçlarına göre titreşim ivmesi ve dozu için H_0 hipotezi kabul edilmiş ve grupların ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna varılmıştır ($Sig_{A(8)} = 0,588$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,350$). Operatör yaş grubu ortalamaları arasındaki farklılık çoklu karşılaştırma tablosunda titreşim ivmesi için *Tukey* testi, titreşim dozu için de *Tamhane* testi baz alınarak ikilik gruplar arasındaki incelenmiştir (Çizelge 6.24). Buna göre, titreşim ivmesi ve dozu için tüm gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur.

Çizelge 6.24 Operatör yaşı gruplarının için çoklu karşılaştırması

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)
TUKEY	20-30	31-40	,021598	TAMHANE	20-30	31-40	,558981
		41-50	-,150862			41-50	-5,780952
	≥51	≥51	-,017562		≥51	,434714	
		31-40	20-30		-,021598	31-40	20-30
HSD	31-40	41-50	-,172460	31-40	41-50	-6,339933	
		≥51	-,039160		≥51	-,124267	
		≥51	20-30		,150862	≥51	20-30
HSD	≥51	31-40	,172460	≥51	31-40	6,339933	
		41-50	,133300		41-50	6,215667	

6.4.6 Operatör deneyiminin TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Operatör deneyiminin TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Bu bölümde, 5 yıllık operatör deneyimi grupları için tek yönlü varyans analizi yapılmıştır. Buna göre yaş aralıklarında aşağıdaki sayıda operatör bulunmaktadır;

- 1-5 → 10 operatör
- 6-10 → 7 operatör
- 11-15 → 9 operatör
- 16-20 → 2 operatör
- 21-25 → 3 operatör

Titreşim ivmesi ve dozu değerinin homojen olduğu kabul edilmiştir ($Sig_{A(8)} = 0,063$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,161$). Operatör deneyiminin 5 yıllık gruplarının betimleyici istatistikleri Çizelge 6.25'de verilmiştir.

16-20 yıl deneyime sahip operatörlerin en yüksek titreşim ivmesi ve dozuna maruz kaldığı görülmektedir.

Çizelge 6.25 Operatör deneyimi gruplarının betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Deneyim grubu	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	1-5	10	1,03384	,308669	,097610	,641	1,681
	6-10	7	,97754	,209702	,079260	,685	1,298
	11-15	9	,93724	,175846	,058615	,717	1,239
	16-20	2	1,34200	,534573	,378000	,964	1,720
	21-25	3	1,00753	,068833	,039741	,928	1,051
VDV _{Total}	1-5	10	22,32650	6,917795	2,187599	14,781	34,354
	6-10	7	23,29457	9,799527	3,703873	16,223	44,275
	11-15	9	20,57478	4,469057	1,489686	15,532	28,975
	16-20	2	32,16250	15,489174	10,952500	21,210	43,115
	21-25	3	21,33400	2,613429	1,508864	18,330	23,085

Tek yönlü varyans analizi sonuçlarına göre H_0 hipotezi kabul edilmiş ve grupların ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna varılmıştır ($Sig_{A(8)} = 0,378$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,402$). Operatör deneyimi grup ortalamaları arasındaki farklılık çoklu karşılaştırma tablosunda titreşim ivmesi ve dozu için *Tukey* testi baz alınarak ikilik gruplar arasındaki incelenmiştir (Çizelge 6.26). Buna göre, titreşim ivmesi ve dozu için tüm gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur.

Çizelge 6.26 Operatör deneyimi 5 yıllık grupları için çoklu karşılaştırma sonuçları

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)
TUKEY HSD	1-5	6-10	,056297	TUKEY	1-5	6-10	-,968071
		11-15	,096596			11-15	1,751722
		16-20	-,308160			16-20	-9,836000
		21-25	,026307			21-25	,992500
		6-10	1-5			-,056297	6-10
		11-15	,040298		11-15	2,719794	
		16-20	-,364457		16-20	-8,867929	
		21-25	-,029990		21-25	1,960571	
		11-15	1-5	-,096596	11-15	1-5	-1,751722
			6-10	-,040298		6-10	-2,719794
			16-20	-,404756		16-20	-11,587722
			21-25	-,070289		21-25	-,759222
		16-20	1-5	,308160	16-20	1-5	9,836000
			6-10	,364457		6-10	8,867929
			11-15	,404756		11-15	11,587722
			21-25	,334467		21-25	10,828500
		21-25	1-5	-,026307	21-25	1-5	-,992500
			6-10	,029990		6-10	-1,960571
			11-15	,070289		11-15	,759222
			16-20	-,334467		16-20	-10,828500

6.4.7 Zemin tipinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Zemin tipinin TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Bu analizde zemin, gevşek ve sıkı olmak üzere 2 gruba ayrılmıştır. Buna göre malzeme grupları aşağıdakilerden oluşmaktadır;

- a) Gevşek zemin
 - a. Toprak yol
 - b. Liçleme yığını
 - c. Kil tumba
 - d. Kil basamak
- b) Sıkı zemin
 - a. Sıkıştırılmış ayrılmış kayaç tumba
 - b. Sıkıştırılmış ayrılmış kayaç yol
 - c. Sıkıştırılmış ayrılmış kayaç basamak
 - d. Sıkıştırılmış toprak yol
 - e. Sıkıştırılmış toprak basamak
 - f. Sıkıştırılmış az ayrılmış kayaç basamak

Gevşek ve sıkıştırılmış zemin grup ortalamaları arasındaki farklılık bağımsız örneklem t-testi yöntemi ile incelenmiştir. Grupların istatistikleri Çizelge 6.27’de verilmiştir. Grup varyanslarının eşit olduğunu kabul eden önem derecesi değerleri 0,05’ten büyük olduğundan t-testi için varyansların eşit olduğu önem değerleri kontrol edilmiş ve iki-yönlü önem değeri, tek-yönlü değerlerin iki katı olduğundan t-testi değeri ikiye bölünmüştür ($Sig_{A(8)} = 0,302$, $Sig_{VDV_{total}} = 0,064$) (Çizelge 6.28). Her iki değer de 0,05’ten büyük olduğundan H_0 hipotezi kabul edilmiş olup grup ortalamaları arasında farklılık yoktur. Böylece operatörler zemin türünden bağımsız olarak benzer düzeyde titreşim ivmesi ve dozuna maruz kalmakta olup Çizelge 6.27’de verildiği gibi gevşek zemin, operatörleri daha yüksek titreşim ivmesi ve dozuna maruz bırakmaktadır.

Çizelge 6.27 Zemin tipi grupları için varyansların grup istatistikleri

Bağımlı değişken	Zemin tipi	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata
A(8)	gevşek	4	1,07325	,185676	,092838
	sıkı	27	1,00111	,264834	,050967
VDV _{Total}	gevşek	4	27,85825	11,159221	5,579611
	sıkı	27	21,79237	6,642459	1,278342

Çizelge 6.28 Zemin tipi grupları için bağımsız örneklem testi

Bağımlı değişken	Varyanslar	Varyansların eşitliği		Ortalamaların eşitliği				
		Levene testi		t-testi				
		F	Önem	t	Serb. Dere.	Önem (2 kuyr.)	Ortalama-ların farkı	Farkın stan-dart hatası
A(8)	Eşit	,555	,462	,522	29	,605	,072139	,138105
	Eşit değil			,681	5,028	,526	,072139	,105908
VDV _{Total}	Eşit	1,897	,179	1,563	29	,129	6,065880	3,879724
	Eşit değil			1,060	3,322	,360	6,065880	5,724178

6.4.8 Çalışma bölgesi zemininin TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Dozer operatörlerinin basamak ve harmanda çalışmalarının maruz kaldıkları TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Bu analizde zemin, basamak ve tumba olmak üzere 2 gruba ayrılmıştır. Buna göre çalışma bölgesi gruplarında aşağıdaki sayıda operatör bulunmaktadır;

- Basamak → 21 operatör
- Harman → 10 operatör

Basamak ve harman zemini grup ortalamaları arasındaki farklılık bağımsız örneklem t-testi yöntemi ile incelenmiştir. Grupların istatistikleri Çizelge 6.29'da verilmiştir. Çizelge 6.30 incelendiğinde, A(8) ve VDV_{Total} için grup varyanslarının eşit olduğunu kabul eden önem derecesi değerleri 0,05'ten büyük olduğundan t-testi için varyansların eşit olduğu önem değerleri kontrol edilmiştir ($Sig_{A(8)} = 0,135$, $Sig_{VDV_{Total}} = 0,349$). Her iki değer de 0,05'ten büyük olduğundan H_0 hipotezi kabul edilmiş olup grup ortalamaları arasında farklılık yoktur. Böylece operatörler çalışma bölgesinden bağımsız olarak benzer düzeyde titreşim ivmesi ve dozuna maruz kalmakta olup Çizelge 6.29'da verildiği gibi basamak zemini, operatörleri daha yüksek titreşim ivmesi ve dozuna maruz bırakmaktadır.

Çizelge 6.29 Çalışma bölgesi zemini grupları için varyansların homojenliği testi sonuçları

Bağımlı değişken	Çalışma bölgesi	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata
A(8)	basamak	21	1,04578	,278490	,060771
	harman	10	,93616	,186362	,058933
VDV_{Total}	basamak	21	22,93924	6,981720	1,523536
	harman	10	21,81030	8,598645	2,719130

Çizelge 6.30 Çalışma bölgesi zemini grupları için bağımsız örneklem testi

Bağımlı değişken	Varyanslar	Varyansların eşitliği Levene testi		Ortalamaların eşitliği t-testi				
		F	Önem	Serb. Dere.	Önem (2 kuyr.)	Ortalama-ların farkı	Farkın standart hatası	
A(8)	Eşit	1,051	,314	1,125	29	,270	,109621	,097401
	Eşit değil			1,295	25,40	,207	,109621	,084654
VDV_{Total}	Eşit	,026	,873	,391	29	,699	1,128938	2,889590
	Eşit değil			,362	14,88	,722	1,128938	3,116863

6.4.9 Bazı evrelerin TVT düzeyi bakımından karşılaştırılması

TVT ivmesi ve dozu düzeylerinin küreme ve ileri yürüme, küreme ve geri yürüme ile ileri ve geri yürüme evreleri arasında anlamlı biçimde değiştirip değişmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Normal dağılıma uygunluk Shapiro-Wilk testi ve çarpıklık-basıklık değerleri ile değerlendirilmiş ve normal dağılıma uygunluk çıkmamıştır. Bu analizlerde parametrik olmayan grupların karşılaştırılmasında kullanılan *Mann-Whitney U* testi uygulanmıştır. Bu testlerin sonucuna göre tüm gruplar arasında operatörlerin maruz kaldığı TVT ivmesi ve düzeyi bakımından anlamlı bir fark bulunamamıştır.

7 YÜKLEYİCİLERİN TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ ve DEĞERLENDİRİLMESİ

7.1 Genel

Bu çalışma kapsamında farklı kapasite, marka ve modelde toplam 28 adet lastik tekerlekli yükleyiciden TVT maruziyeti ölçümleri alınmış ve analiz edilmiştir. Yükleyici iş döngüsünün aşağıdaki evrelerden oluştuğu kabul edilerek, ölçümlerin yükleyicilerin çok sayıda döngüsünü kapsamasına dikkat edilmiş tüm yükleyicilerin iş döngüsünü temsil edecek süre boyunca kayıt alınmıştır.

- a) Tüm kayıt (Whole data); Yükleyicilerin tipik iş döngüsündeki tüm evreleri kapsayacak biçimde, araç hareketi öncesi ve döngü bitişi sonrası durağan haller de dahil olmak üzere alınan tüm kaydın brüt TVT maruziyetini göstermektedir. Operatör TVT maruziyeti hesaplarında kullanılmamaktadır.
- b) Net kayıt (RECORD); Yükleyicilerin tipik iş döngüsündeki tüm evreleri kapsamakta ve bu süredeki TVT maruziyetini göstermektedir. Hareketin başında sürücünün koltuğa yerleşme ve hareketin sonunda koltuktan kalkma çabaları sırasında koltuk üzerindeki disk tipi ivmeölçer ile kabin zeminindeki ivmeölçere şok etkilerinden kaynaklanabilen çok yüksek titreşim ivmeleri ayıklanarak, analizlerden çıkartılmaktadır. Operatörün genel TVT maruziyetini temsil etmekte ve hesaplarda kullanılmaktadır.
- c) Yükleme (LOAD); Yükleyici kovasını yığına batırarak doldurma hareketi yaparken maruz kalınan titreşimi temsil etmek için kaydedilmektedir.
- d) Taşıma (HAUL); Yükleyici kovası dolu ve yukarı bakar durumda iken önce geri sonra da kamyonu doğru ileri yönlü hareketi sırasında maruz kalınan titreşimi temsil etmek için kaydedilmektedir.
- e) Boşaltma (DUMP); Yükleyici kovasını kamyon kasasına kaldırarak boşaltma hareketi yaptığı sırada maruz kalınan titreşimi temsil etmek için kaydedilmektedir.
- f) Dönüş (RETURN); Yükleyici kovası boş ve zemin seviyesine indirilmiş durumda iken önce geri sonra da yığına doğru ileri yönlü hareketi sırasında maruz kalınan titreşimi temsil etmek için kaydedilmektedir.
- g) Tesviye (LEVEL); Yükleyici kovasının tabanını kullanarak kamyon kasasındaki yığına düzeltmek ya da kovasını zemin seviyesine indirerek zemini sıyırmak için yaptığı ileri veya geri yönlü hareket sırasında maruz kalınan titreşimi temsil etmek için kaydedilmektedir.
- h) İleri yürüme (FORWARD); Yükleyici kovası boş ve zeminden belirli bir mesafe yukarıda ileri yönlü ilerleme hareketi yaparken maruz kalınan titreşimi temsil etmek için kaydedilmektedir.
- i) Manevra (MANEUVER); Yükleyici, diğer evrelerden belirgin biçimde ayırt edilebilecek biçimde konum değiştirme durumunda kaldığında, ayrı bir evre olarak alınmakta ve bu sırada maruz kalınan titreşim kaydedilmektedir.

- j) Bekleme (WAIT); Yükleyici herhangi bir evre içerisinde iken durmak ve motor devinimi askıda iken beklemek durumunda kaldığında, ayrı bir evre olarak alınmakta ve bu sırada maruz kalınan titreşim kaydedilmektedir.

Yükleyicilerin 2 adedi küçük, 15 adedi orta, 9 adedi büyük, 2 adedi çok büyük kapasiteye sahiptir. Tümü lastik tekerlekli olan 28 yükleyicinin 22 adedi zincirsiz, 4 adedi çift zincirli ve 2 adedi de ön teker zincirli olup yükleyicilerin 3 adedine blok tutamak kolu takılıdır. Çizelge 7.1'de TVT ölçümü alınan yükleyicilerin işletmelere dağılımı ile temel çalışma özellikleri verilmiştir.

Yükleyicilerin TVT maruziyeti ölçümleri, üç adedi koltuktan (Seat_x, Seat_y, Seat_z), üç adedi de kabin zemininden (Floor_x, Floor_y, Floor_z) olmak üzere toplam altı kanaldan, aracın çok sayıda tam çevrimini kapsayacak biçimde gerçekleştirilmiştir. Titreşim analizörü ile frekans ağırlıklı ivme (a_w), titreşim dozu (VDV), maksimum geçici titreşim değeri (MTVV), tepe titreşim ivmesi (PEAK) ve tepe-tepe titreşim ivmesi (P-P) ölçülerek, değerlendirilmiştir. Kayıt süreleri 05 dakika 33 saniye ile 18dakika 11 saniye arasında değişmiştir. ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca TVT maruziyeti değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılan parametrelerin değerleri, koltuk ve zemin için hesaplanmıştır.

Çizelge 7.1 Yükleyicilere ait temel bilgiler

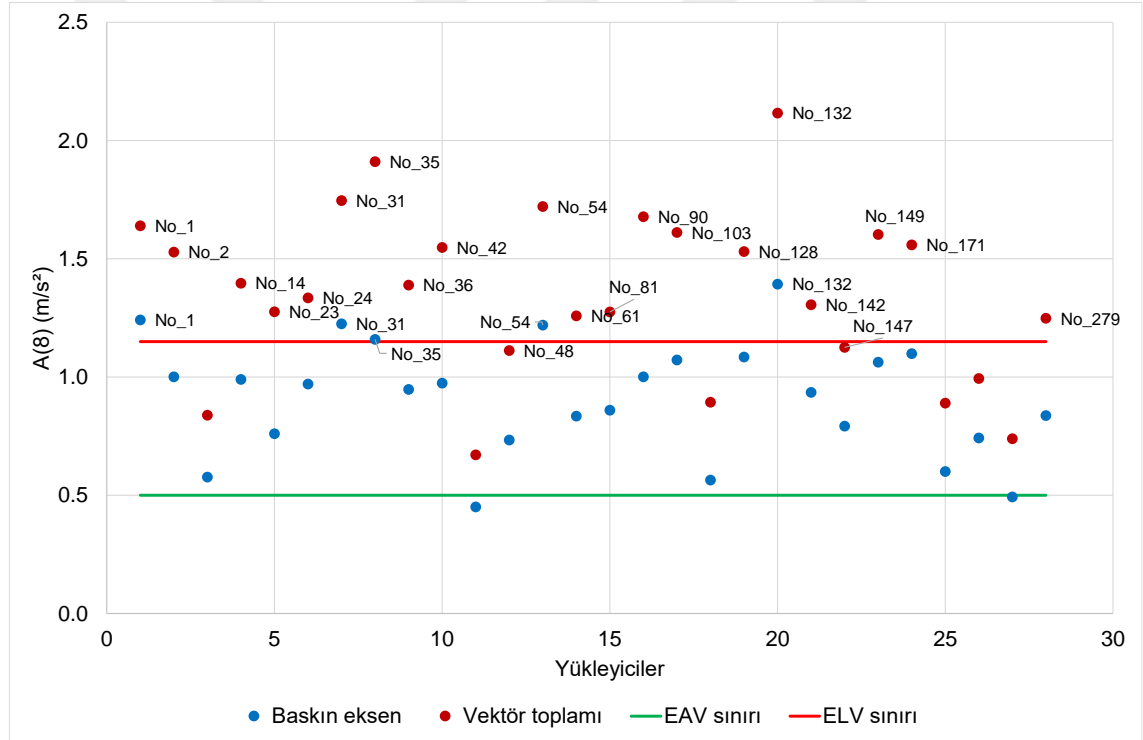
İşletme	Yükleyici	Hizmete giriş	Malzeme sınıfı	Lastik koruma zinciri	Kapasite (m ³)
Alçı ocağı	No_1	2011	Ufak_bloklu_jips	Zincirsiz	2-4
Alçı ocağı	No_2	2011	Ufak_bloklu_jips	Zincirsiz	2-4
Hazır Beton İşletmesi	No_11	2013	Agrega	Zincirsiz	2-4
Kireçtaşı ocağı	No_14	2014	Bloklu_toprak	Ön teker zincirli	2-4
Yol inşaatı	No_23	1995	Toprak_üstü	Ön teker zincirli	4-6
Yol inşaatı	No_24	2012	Agrega_üstü	Zincirsiz	0-2
Kalker İşletmesi	No_31	2012	Agrega	Zincirsiz	2-4
Mermer İşletmesi	No_35	2005	Blok_mermer	Çift zincirli	4-6
Hurda demir tesisi	No_36	2010	Demir_curuf	Zincirsiz	2-4
Mermer İşletmesi	No_42	2010	Ufak_bloklu_mermer	Çift zincirli	2-4
Mermer İşletmesi	No_45	2012	Blok_mermer	Çift zincirli	4-6
Mermer İşletmesi	No_48	2000	Blok_mermer	Çift zincirli	4-6
Hazır Beton İşletmesi	No_54	2006	Agrega	Zincirsiz	2-4
Yol inşaatı	No_61	2011	Toprak_üstü	Zincirsiz	2-4
Hazır Beton İşletmesi	No_81	1997	Agrega	Zincirsiz	0-2
Hazır Beton İşletmesi	No_90	1994	Agrega	Zincirsiz	2-4
Kireçtaşı ocağı	No_103	2014	Toprak	Zincirsiz	2-4
Kireçtaşı ocağı	No_105	2008	Yığın_klinker_tasfiye	Zincirsiz	2-4
Kömür İşletmesi	No_128	2008	Ayrıışmış_kayaç	Zincirsiz	2-4
Kömür İşletmesi	No_132	2006	Ayrıışmış_kayaç	Zincirsiz	4-6
Demir İşletmesi	No_142	2011	Bloklu_toprak	Zincirsiz	2-4
Cevher Hazırlama Tesisi	No_147	2010	Agrega_demir_cevheri	Zincirsiz	2-4
Altın İşletmesi	No_149	2011	Az_ayıışmış_kayaç_tumba_üstü	Zincirsiz	4-6
Altın İşletmesi	No_171	2011	Az_ayıışmış_kayaç	Zincirsiz	4-6
Altın İşletmesi	No_180	2006	Az_ayıışmış_kayaç_tumba_üstü	Zincirsiz	4-6
Demir İşletmesi	No_200	2010	Bloklu_cevher	Zincirsiz	4-6
Kömür İşletmesi	No_231	1998	Yığın_kömür_tasfiye	Zincirsiz	6-20
Kömür İşletmesi	No_279	2013	Ayrıışmış_kayaç	Zincirsiz	6-20

7.2 Net Kayıt (RECORD) Evresi

7.2.1 Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme

Yükleyicilerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $A(8)_{\text{Seat}}$, ortalama ve standart sapması $(0,915 \pm 0,237)$ m/s² olacak biçimde 0,451 m/s² ile 1,393 m/s² arasında değişmiştir. Diğer yandan yükleyicilerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $Vector_{1-3}$, ortalama ve standart sapması $(1,355 \pm 0,351)$ m/s² olacak biçimde 0,671 m/s² ile 2,116 m/s² arasında değişmiştir.

En yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum eksenini 17 yükleyicide X eksenini (Ch1), 10 yükleyicide Y eksenini (Ch2), 1 yükleyicide ise Z eksenini (Ch3) olmuştur. Tüm yükleyicilerin en kötü durum eksenini ve vektör toplamını ölçütlerine göre $A(8)_{\text{Seat}}$ değerlerinin EAV ve ELV sınırları ile karşılaştırılması Şekil 7.1'de sunulmuştur.



Şekil 7.1 Yükleyicilerin A(8) değerleri

Yükleyiciler, en kötü durum eksenini ölçütüne göre ELV sınırının biraz altında, vektör toplamı ölçütüne göre de ELV sınırının biraz üzerinde ortalama TVT ivmesi değerine sahiptir. Operatörlerin TVT maruziyeti EU 2002/44/EC direktifi uyarınca EAV ve ELV sınırları üzerinden incelendiğinde, EKDE ölçütü dikkate alındığında araçların oldukça büyük bölümünün EAV sınırları içinde olduğu ancak VT ölçütüne göre büyük kısmının ELV sınırı üzerine geçtiği

görülmektedir (Çizelge 7.2). Benzer davranış ile ISO 2631-1 (1997) standardı ve HGCZ bölgesi bakımından değerlendirme yapıldığında da karşılaşılmaktadır.

Çizelge 7.2 Yükleyici operatörlerinin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi

Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		Bölge	ISO2631-1 HGCZ Bölgesi	
	EKDE	VT	EKDE	VT		EKDE	VT
EAV altında	2	0	0	0	HGCZ altında	0	0
EAV içinde	21	8	12	5	HGCZ içinde	12	3
ELV üstünde	5	20	16	23	HGCZ üstünde	16	25

Yükleyicilerin maruziyet eylem değerine erişim süresi ($EAV_{TT(RMS)}$), en kötü durum eksenini üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması (03:05:19 ± 02:08:29) sa olacak biçimde 01:01:50 sa ile 09:50:29 sa arasında değişmiştir. Diğer yandan yükleyicilerin maruziyet sınır değerine erişim süresi ($ELV_{TT(RMS)}$), en kötü durum eksenini üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması (16:20:19 ± 11:19:40) sa olacak biçimde 05:27:08 sa ile 52:03:42 sa arasında değişmiştir. Bu durumda toplam 28 yükleyiciden 26 adedi 8 saatlik vardiya süresi bitmeden operatörü maruziyet eylem değerine ulaştıracak kadar titreşime maruz bırakırken 5 adedi maruziyet sınır değerine erişmektedir.

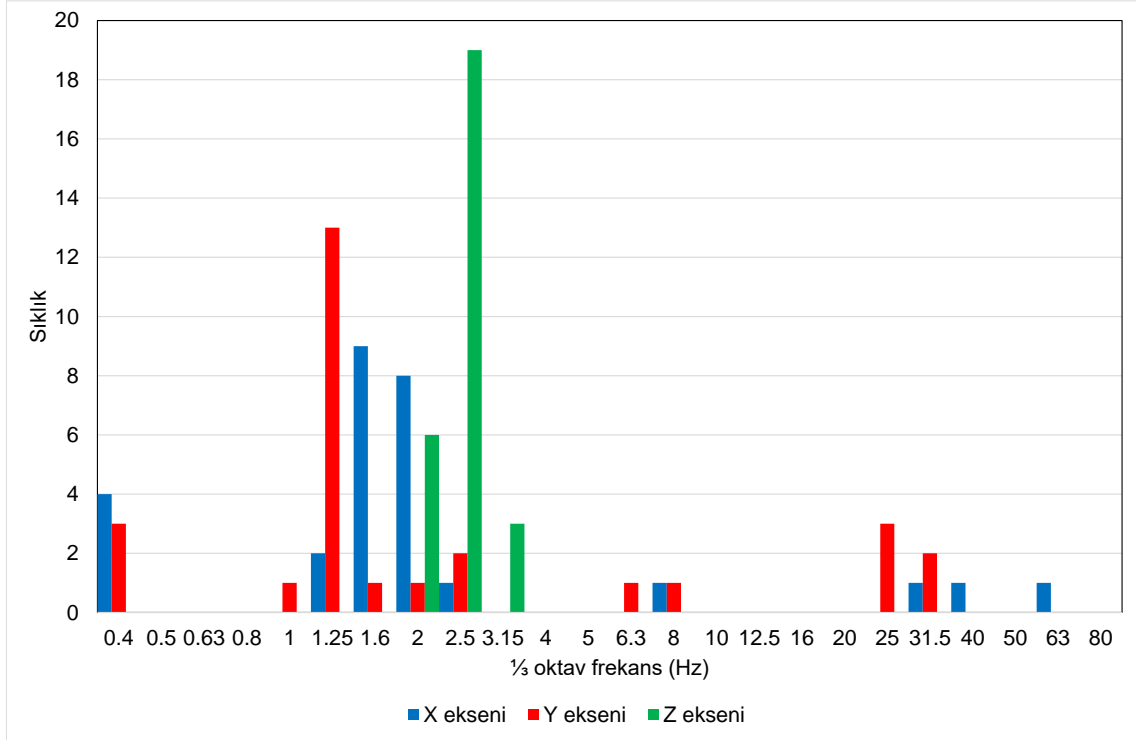
Net kayıt evresinde operatör koltuğunda X, Y ve en kötü durum Z ekseninde sırasıyla 7, 4 ve 21 yükleyicinin doruk faktörü 9'dan büyük çıkmıştır.

Doruk faktörü	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	4,849	4,792	5,913
En büyük	20,501	11,707	87,601
Ortalama	8,015	7,258	19,367
Standart sapma	2,879	1,557	17,822
≥9	7	4	21
<9	21	24	7

Yükleyici operatörlerinin maruz kaldığı TVT ivmesine ait frekans spektrumu 1/3 oktav bant dağılımı ile değerlendirildiğinde 0,4 Hz ile 80 Hz arasındaki merkez bant frekanslarına göre her ikisi de yatay düzlemdeki ortogonal eksenler boyunca oluşan titreşimin X ekseninde 1,25 Hz – 2,5 Hz aralığına, Y ekseninde 1 Hz – 2,5 Hz aralığına yoğunlaştığı görülmektedir. Diğer yandan, Z eksenini incelendiğinde baskın frekans 2 Hz – 3,15 Hz aralığındadır. Her üç eksenindeki TVT ivmelerine ait baskın frekans dağılımı Şekil 7.2'de verilmiştir.

Operatör koltuğunun titreşim sönümlenme özelliğini gösteren koltuk etkinliği genlik geçirgenliği (SEAT) faktörü X eksenini için 0,955 ile 1,452 arasında, Y eksenini için 0,916 ile 1,491 arasında ve Z eksenini için 0,409 ile 1,613 arasında değişmiştir. Her üç ekseninde de kabin zemininde oluşan titreşim yükleyicilerin bir kısmında koltukta sönümlenirken, bir kısmında şiddetlenmiştir. Buna göre titreşim; X ekseninde 1 yükleyicide sönümlenirken 27 yükleyicide şiddetlenmiş, benzer biçimde Y ekseninde de 1 yükleyicide sönümlenirken 27 yükleyicide şiddetlenmiştir. Ancak Z

ekseninde kabin zemininde oluşan titreşim 15 yükleyicide koltukta sönümlenirken 13 yükleyicide şiddetlenmiştir. Operatör koltuğu X ve Y eksenlerinde titreşimi artırarak iletirken, Z ekseninde sönümleyebilmektedir.



Şekil 7.2 Yükleyicilerin A(8) değerlerinin 1/3 oktav baskın frekansları

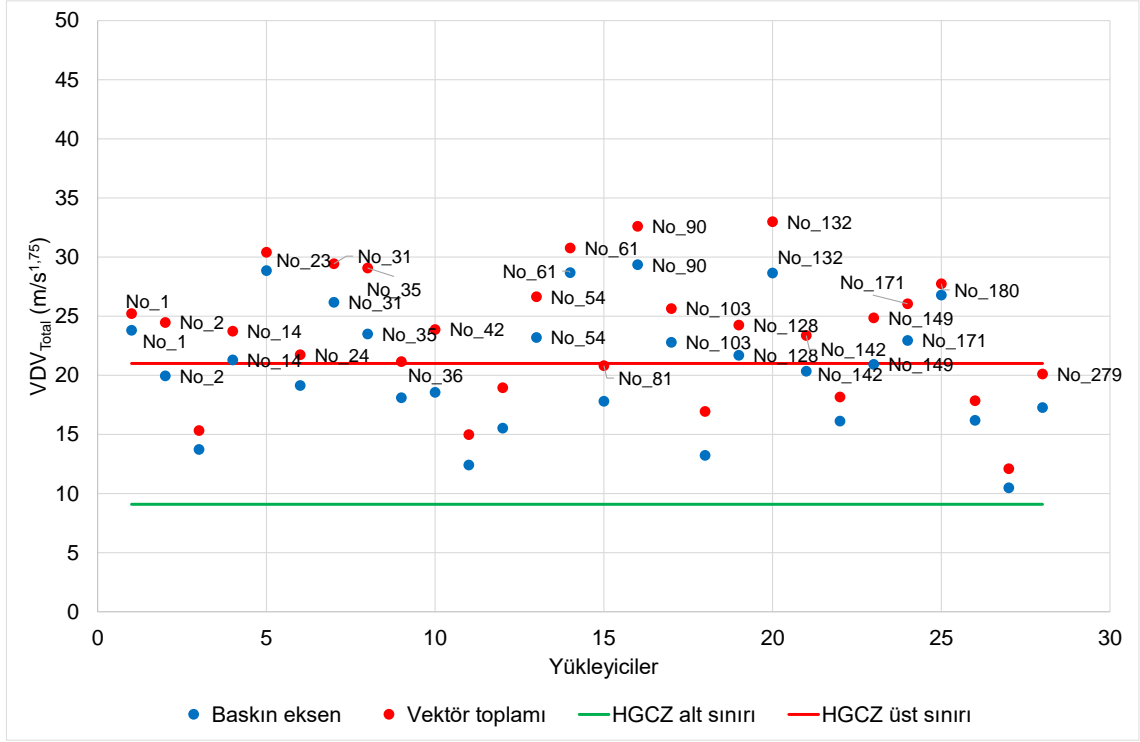
7.2.2 Titreşim dozu üzerinden değerlendirme

Yükleyicilerin operatör koltuğunda ölçülen TVT dozu değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde VDV_{Total} , ortalama ve standart sapması $(20,629 \pm 5,173)$ $m/s^{1.75}$ olacak biçimde $10,489 m/s^{1.75}$ ile $29,355 m/s^{1.75}$ arasında değişmiştir. Diğer yandan yükleyicilerin operatör koltuğunda ölçülen TVT dozu değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $Vector_{1-3}$, ortalama ve standart sapması $(23,546 \pm 5,363)$ $m/s^{1.75}$ olacak biçimde $12,105 m/s^{1.75}$ ile $32,989 m/s^{1.75}$ arasında değişmiştir.

En yüksek titreşim dozu kaydedilen en kötü durum eksen 12 yükleyicide X eksen (Ch1), 10 yükleyicide Y eksen, 6 yükleyicide ise Z eksen (Ch3) olmuştur. Tüm yükleyicilerin en kötü durum eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre VDV_{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması Şekil 7.3'de sunulmuştur.

Yükleyicilerin, daha toleranslı olan EU 2002/44/EC direktifi (2002) uyarınca EAV ve ELV sınırları ile ilişkisi incelendiğinde, en kötü durum eksen ölçütü dikkate alındığında araçların büyük bölümünün EAV bölgesi içinde ancak vektör toplamına göre daha büyük bölümünün ELV sınırı

üzerinde olduğu görülmektedir. Ölçütlere göre bölgeler arasındaki bu geçiş, ortalama TVT dozu değerlerinin ELV sınırı civarında olması neden olmaktadır. Daha koruyucu sağlık riski eşiklerine sahip ISO 2631-1 (1997) ve BS 6841 (1987) standartlarına göre ise EKDE ve VT ölçütlerinin her ikisinde de yükleyicilerin oldukça büyük bölümü ELV sınırları üzerinde yer almaktadır (Çizelge 7.3).

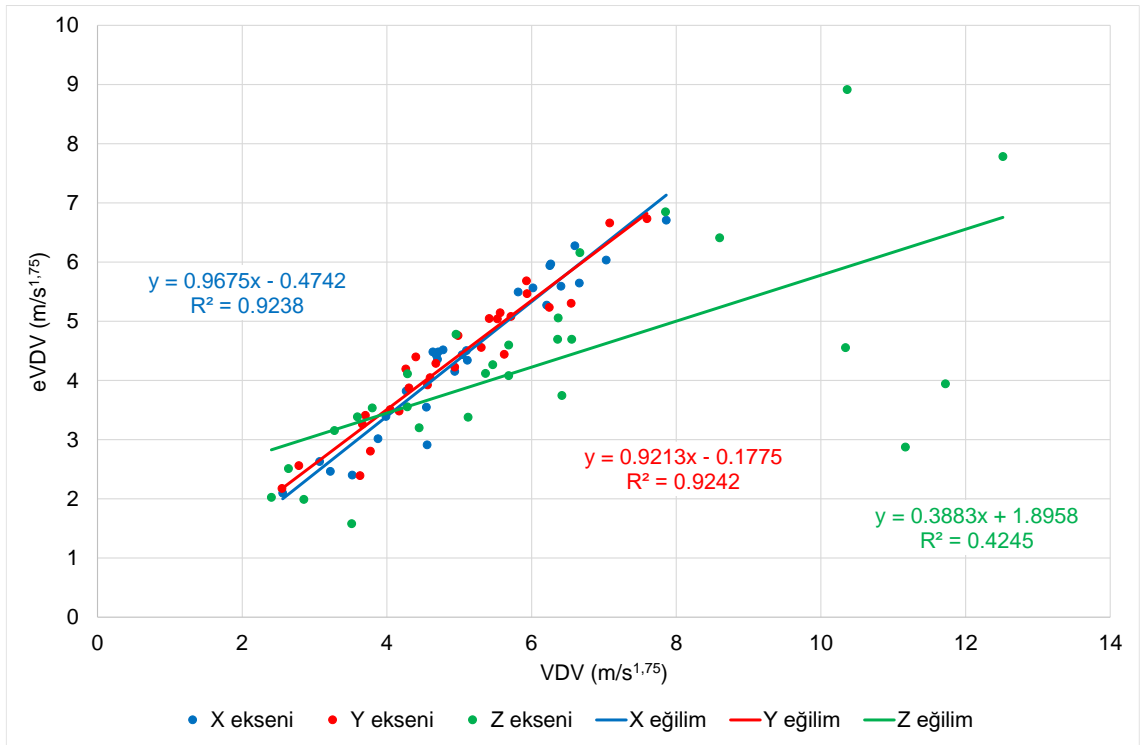


Şekil 7.3 Yükleyicilerin VDV_{Total} değerleri

Çizelge 7.3 Yükleyici operatörlerinin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi

Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)	
	EKDE	VT	EKDE	VT	EKDE	VT
EAV altında	0	0	0	0	4	2
EAV içinde	15	9	7	4	-	-
ELV üstünde	13	19	21	24	24	26

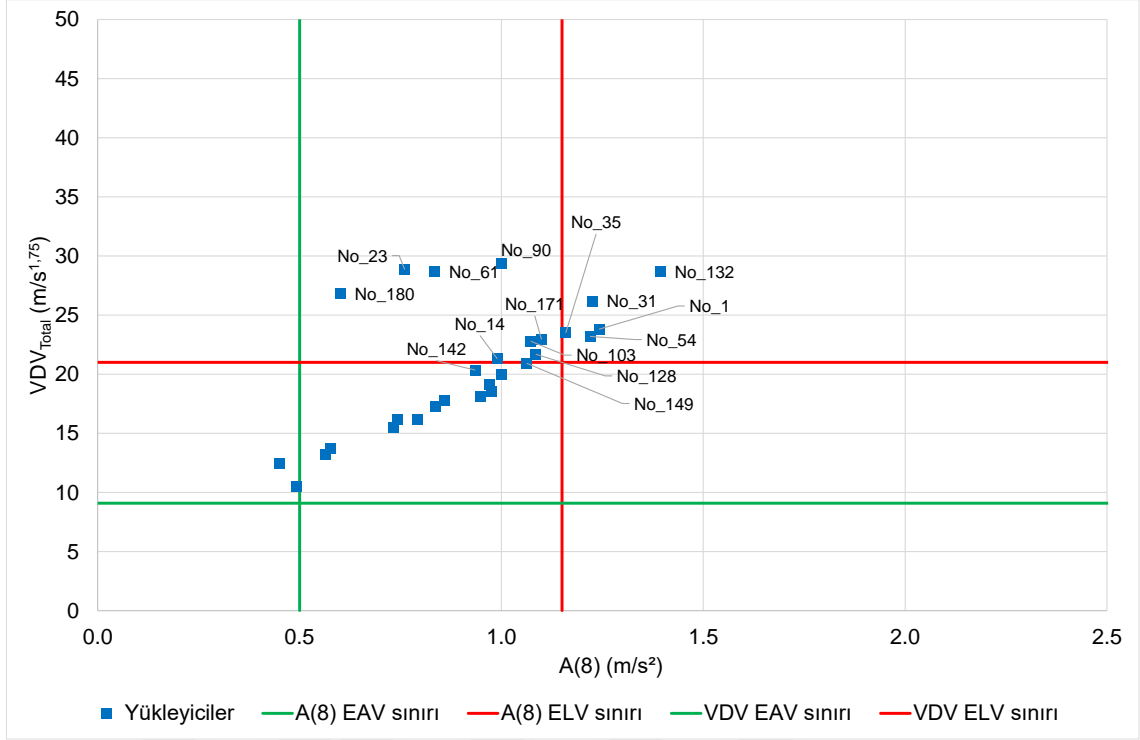
Yükleyicilerin kestirilen titreşim dozu değeri ($eVDV$, $m/s^{1.75}$) BS 6841 (1987) standardı uyarınca hesaplanmıştır. Çalışmada örneklenen 28 adet yükleyicinin X ekseninde 24 adedi, Y ekseninde 25 adedi, Z ekseninde ise 27 adedinde doruk faktörü 6'dan büyük çıkmıştır. Bu durum yükleyici operasyonlarında şokların büyük etkisinin bulunduğunu göstermektedir. Yine de, VDV ile RMS üzerinden kestirilen $eVDV$ arasındaki ilişkiyi göstermek amacıyla $eVDV$ değerleri hesaplanmıştır. Sonuçta oluşan tabloda, her üç eksen için VDV – $eVDV$ ilişkisi Şekil 7.4'de verilmiştir. Her üç veri grubu için doğrusal regresyon analizi yapılmış olup, belirlilik katsayıları %42,45 ile %92,42 arasında değişmekte ve beklendiği gibi, regresyon eşitliğinin güçlü olduğuna işaret etmektedir.



Şekil 7.4 Yükleyicilerin VDV – eVDV ilişkisi

Yükleyicilerin maruziyet eylem değerine erişim süresi ($EAV_{TT(VDV)}$), en kötü durum eksenini üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması ($00:39:01 \pm 00:55:16$) sa olacak biçimde $00:04:26$ sa ile $04:31:59$ sa arasında değişmiştir. Diğer yandan yükleyicilerin maruziyet sınır değerine erişim süresi ($ELV_{TT(VDV)}$), en kötü durum eksenini üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması ($18:26:19 \pm 26:07:18$) sa olacak biçimde $02:05:42$ sa ile $128:33:25$ sa arasında değişmiştir. Bu durumda 28 yükleyicinin tümü 8 saatlik vardiya süresi bitmeden operatörü maruziyet eylem değerine ulaştıracak kadar titreşime maruz bırakırken 13 adedi vardiya bitmeden maruziyet sınır değerine erişirmektedir.

Yükleyici operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile VDV_{total} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 7.5'de sunulmuştur. A(8) ELV sınırını aşan 5 yükleyici, VDV_{total} üst sınırını aşan 13 yükleyici ve her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan 5 adet yükleyici bulunmaktadır.



Şekil 7.5 Yükleyici operatörlerinin A(8) – VDV_{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki

7.2.3 Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme

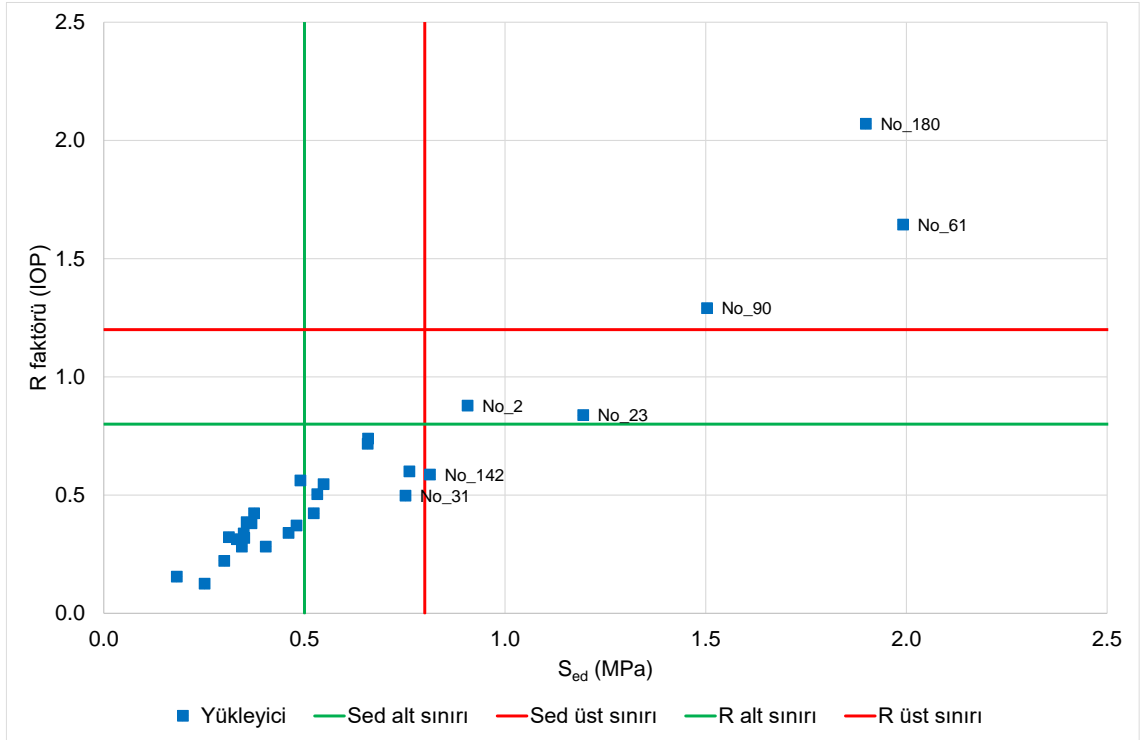
Yükleyici operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri kullanılarak hesaplanan S_{ed} değerleri ortalama ve standart sapması $(0,642 \pm 0,457)$ MPa olacak biçimde 0,181 MPa ile 1,978 MPa arasında değişmiştir. Diğer yandan yükleyici operatörlerinin R(IOP) faktörleri, ortalama ve standart sapması $(0,577 \pm 0,433)$ olacak biçimde 0,126 ile 2,071 arasında, R(TOP) faktörleri ortalama ve standart sapması $(0,803 \pm 0,571)$ olacak biçimde 0,226 ile 2,474 arasında değişmiştir.

Tüm yükleyici operatörleri eşdeğer statik basınç dozu değeri (S_{ed}) ölçütüne göre değerlendirildiğinde; 15 operatör 0,5 MPa'dan düşük basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı düşük, 7 operatör 0,5 MPa – 0,8 MPa arası basınca maruz kaldığından titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı orta ve 6 operatör 0,8 MPa'dan yüksek basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı büyüktür.

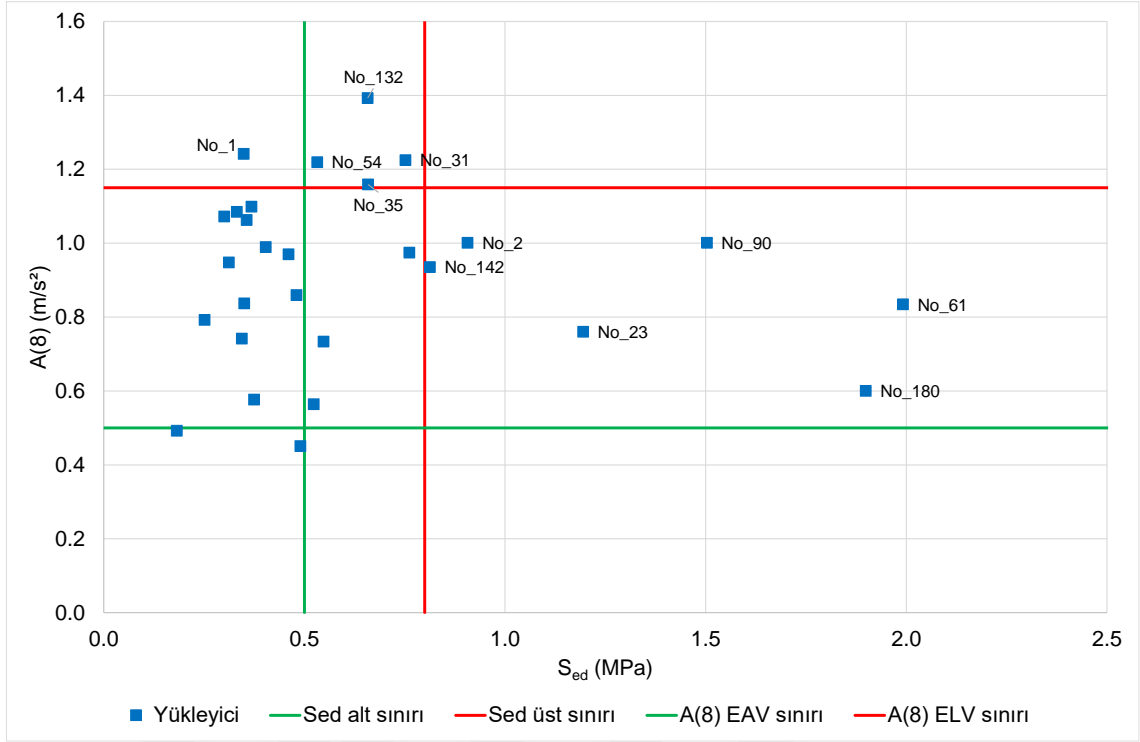
Yükleyici operatörleri günlük risk faktörü ölçütüne göre değerlendirildiğinde; 23 operatörün R faktörü 0,8'den düşük olup sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığı düşük, 2 operatörün R faktörü 0,8 – 1,2 arası olduğundan sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığı orta ve 3 operatörün R faktörü 1,2'den büyük olduğundan sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığı büyüktür. Yükleyici operatörlerinin her iki ölçüte göre risk sınırları ile karşılaştırılması Şekil 7.6'da sunulmuştur. R(IOP) ELV sınırını aşan 3 yükleyici, S_{ed} üst sınırını aşan 6 yükleyici varken her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan 3 yükleyici bulunmaktadır.

Yükleyici operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 7.7’de sunulmuştur. A(8) ELV sınırını aşan 5 yükleyici, S_{ed} üst sınırını aşan 6 yükleyici varken her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan yükleyici bulunmamaktadır.

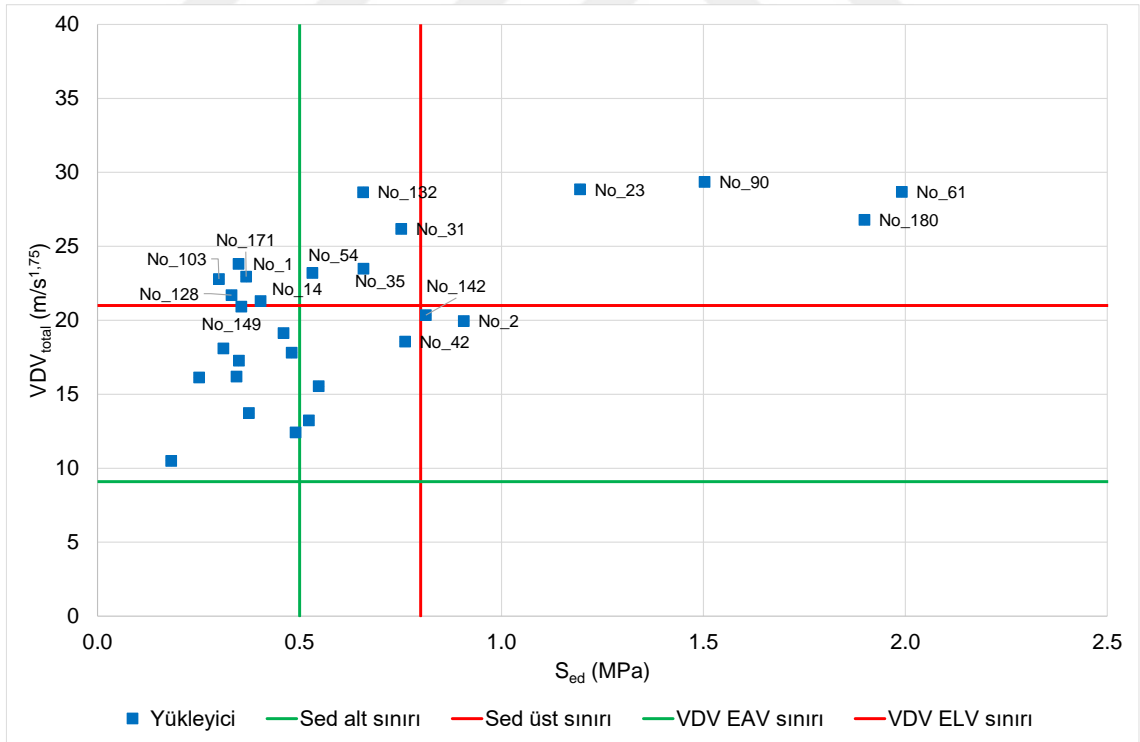
Yükleyici operatörlerinin ISO 2631-5 (2004) (S_{ed}) ile ISO 2631-1 (1997) VDV_{Total} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 7.8’de sunulmuştur. VDV_{Total} ELV sınırını aşan 13 yükleyici, S_{ed} üst sınırını aşan 6 yükleyici ve her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan 4 adet yükleyici bulunmaktadır.



Şekil 7.6 Yükleyici operatörlerinin S_{ed} – R faktörü ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki



Şekil 7.7 Yükleyici operatörlerinin S_{ed} – $A(8)$ ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki



Şekil 7.8 Yükleyici operatörlerinin S_{ed} – VDV_{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki

7.3 Evrelerin Değerlendirilmesi

7.3.1 Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme

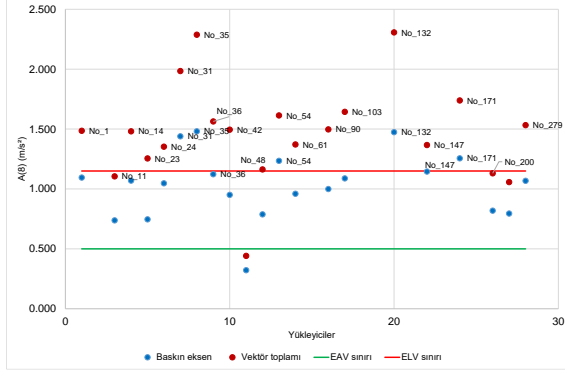
Yükleyicilerin evreler bazında operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $A(8)_{\text{Seat}}$, Vector_{1-3} , EAV ve ELV değerleri Çizelge 7.4'de verilmektedir. Operatörler, çok düşük düzeyli TVT ivmesi kaydedilen bekleme evresi dışındaki tüm evrelerde yaklaşık aynı düzeyde titreşime maruz kalmıştır. Tüm yükleyicilerin en kötü durum eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre $A(8)_{\text{Seat}}$ değerlerinin EAV ve ELV sınırları ile karşılaştırılması Şekil 7.9a-h'de sunulmuştur.

Yükleyicilerin EU 2002/44/EC direktifi (2002) uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum ölçütü dikkate alındığında araçların büyük bölümü EAV bölgesi içinde olmakta ancak vektör toplamı ölçütüne göre yükleyicilerin büyük kısmı ELV sınırı üzerine geçmektedir. Daha koruyucu eşiklere sahip olan ISO 2631-1 (1997) standardı HGCZ bölgesi ölçütünde aynı eğilim belirginleşmektedir (Çizelge 7.5). Yükleyicilerin ölçütlere göre EAV-ELV bölgeleri arasındaki geçişinin nedeni, evre ortalamalarının ELV sınırı civarında yoğunlaşmasından kaynaklanmaktadır.

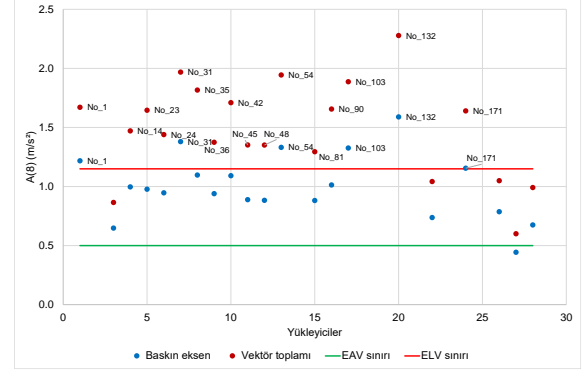
Çizelge 7.6'da en yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum ekseninin tüm evreler için değerleri verilmektedir. Diğerlerine göre biraz daha yüksek TVT ivmesi kaydedilen yükleme, taşıma, boşaltma ve dönüş evrelerinde en kötü durum eksen X (Ch1); dönüş, ileri yürüme ve tesviye gibi biraz daha düşük TVT ivmesi kaydedilen evrelerde ise Y (Ch2), en kötü durum eksen olmuştur. Çok düşük düzeyli TVT maruziyeti yaşanan bekleme evresinde ise baskın eksen bulunmamaktadır.

Çizelge 7.4 Yükleyici döngü evrelerinde titreşim ivmesi parametreleri

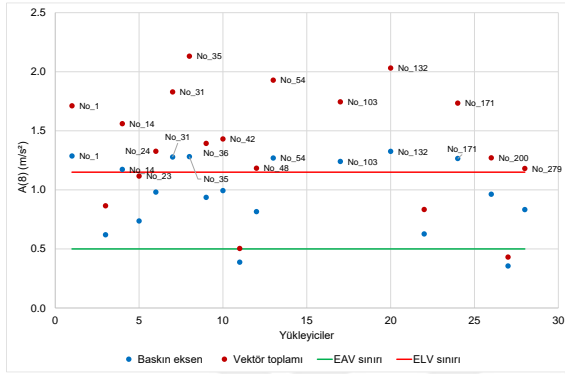
Evre	A(8) (m/s ²)				Vektör ₁₋₃ (m/s ²)					
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük		
Yükleme	1,030	0,270	0,322	1,481	1,470	0,404	0,442	2,307		
Taşıma	1,000	0,267	0,444	1,589	1,479	0,402	0,601	2,278		
Boşaltma	0,967	0,305	0,356	1,326	1,380	0,475	0,432	2,132		
Dönüş	0,940	0,222	0,560	1,345	1,356	0,345	0,786	2,059		
Tesviye	0,916	0,210	0,470	1,254	1,301	0,304	0,668	1,854		
İleri yürüme	0,810	0,267	0,459	1,460	1,179	0,394	0,681	2,162		
Manevra	1,054	0,128	0,925	1,182	1,478	0,201	1,277	1,680		
Bekleme	0,124	0,074	0,049	0,368	0,168	0,104	0,053	0,536		
		EAV _{TT(RMS)} (sa)					ELV _{TT(RMS)} (sa)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük		
Yükleme	02:49:56	03:46:19	00:54:42	19:17:22	14:58:55	19:57:13	04:49:20	>24		
Taşıma	02:36:21	01:58:45	00:47:32	10:09:16	13:47:05	10:28:13	04:11:25	>24		
Boşaltma	03:33:17	03:59:04	01:08:16	15:48:59	18:48:15	21:04:39	06:01:09	>24		
Dönüş	02:43:19	01:27:33	01:06:18	06:22:39	14:23:56	07:43:09	05:50:42	>24		
Tesviye	02:56:56	01:57:33	01:16:16	09:02:19	15:36:01	10:21:52	06:43:26	>24		
İleri yürüme	04:10:24	02:43:18	00:56:18	09:29:05	22:04:36	14:23:54	04:57:48	>24		
Manevra	01:53:02	00:27:05	01:25:57	02:20:08	09:57:58	02:23:18	07:34:40	12:21:16		
Bekleme	>24	>24	14:45:09	>24	>24	>24	>24	>24		



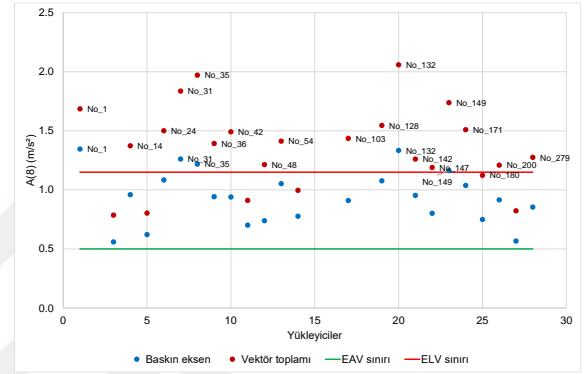
a) Yükleme evresi



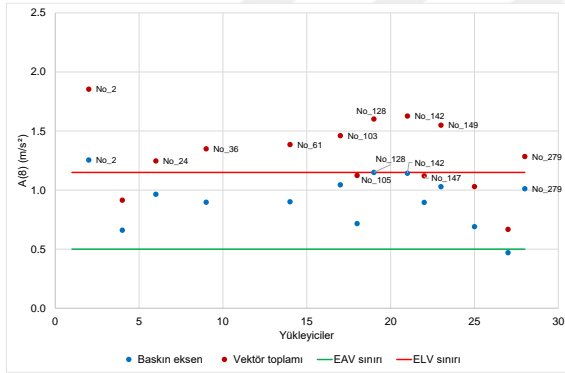
b) Taşıma evresi



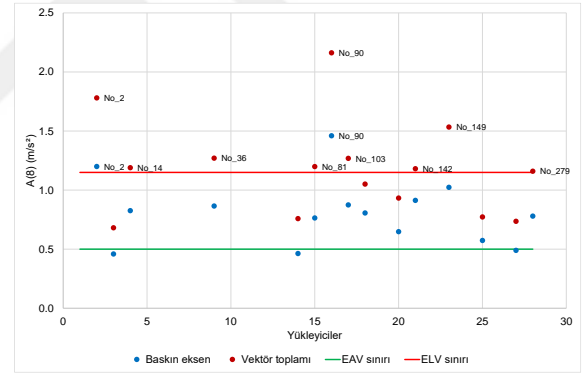
c) Boşaltma evresi



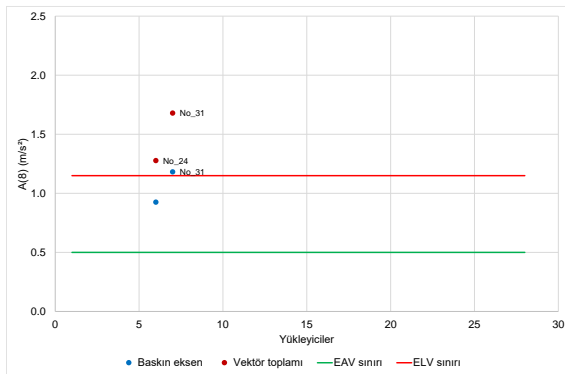
d) Dönüş evresi



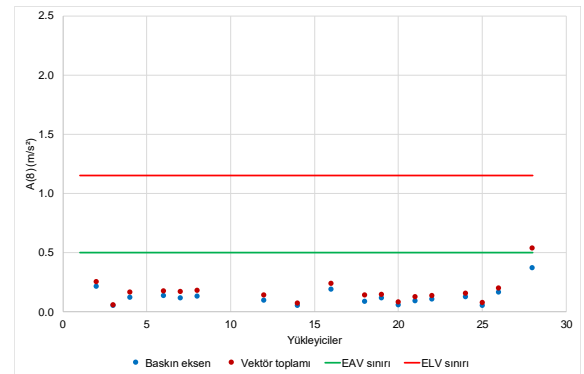
e) Tesviye evresi



f) İleri yürüme evresi



g) Manevra evresi



h) Bekleme evresi

Şekil 7.9 Yüklejici evrelerinde A(8) değerleri

Çizelge 7.5 Yükleyici döngü evrelerinde operatörlerin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi

Evre	Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		Bölge	ISO2631-1 HGCZ Bölgesi	
		EKDE	VT	EKDE	VT		EKDE	VT
Yükleme (21 araç)	EAV altında	1	1	1	1	HGCZ altında	1	0
	EAV içinde	15	3	5	0	HGCZ içinde	5	1
	ELV üstünde	5	17	15	20	HGCZ üstünde	15	20
Taşıma (21 araç)	EAV altında	1	0	1	0	HGCZ altında	0	0
	EAV içinde	14	5	7	2	HGCZ içinde	5	2
	ELV üstünde	6	16	13	19	HGCZ üstünde	16	19
Boşaltma (19 araç)	EAV altında	2	1	2	1	HGCZ altında	2	1
	EAV içinde	9	4	5	3	HGCZ içinde	5	3
	ELV üstünde	8	14	12	15	HGCZ üstünde	12	15
Dönüş (24 araç)	EAV altında	0	0	0	0	HGCZ altında	0	0
	EAV içinde	19	6	9	3	HGCZ içinde	9	3
	ELV üstünde	5	18	15	21	HGCZ üstünde	15	21
Tesviye (14 araç)	EAV altında	1	0	0	0	HGCZ altında	0	0
	EAV içinde	12	5	6	1	HGCZ içinde	4	1
	ELV üstünde	1	9	8	13	HGCZ üstünde	10	13
İleri yürüme (15 araç)	EAV altında	3	0	0	0	HGCZ altında	0	0
	EAV içinde	10	6	11	4	HGCZ içinde	10	4
	ELV üstünde	2	9	4	11	HGCZ üstünde	5	11
Manevra (2 araç)	EAV altında	0	0	0	0	HGCZ altında	0	0
	EAV içinde	1	0	0	0	HGCZ içinde	0	0
	ELV üstünde	1	2	2	2	HGCZ üstünde	2	2
Bekleme (18 araç)	EAV altında	18	17	18	17	HGCZ altında	18	17
	EAV içinde	0	1	0	1	HGCZ içinde	0	1
	ELV üstünde	0	0	0	0	HGCZ üstünde	0	0

Çizelge 7.6 Yükleyici döngü evrelerinde A(8) değerine göre en kötü durum eksenleri

Evre	Yükleyici adedi		
	X (Ch1)	Y (Ch2)	Z (Ch3)
Yükleme	12	9	-
Taşıma	11	10	-
Boşaltma	11	8	-
Dönüş	9	14	1
Tesviye	5	9	-
Manevra	2	-	-
İleri yürüme	5	9	1
Bekleme	6	7	5

Doruk faktörünün eksenler ve evreler bazında değerleri Çizelge 7.7'de verilmektedir. Bekleme evresi haricindeki tüm evrelerde doruk faktörü 9'dan küçük çıkmıştır. Böylece yükleyici çalışma döngüsünde operatörün, daha durağan ve kararlı bir TVT maruziyeti olduğu ortaya çıkmıştır.

SEAT faktörünün eksenler ve evreler bazında değerleri Çizelge 7.8'de verilmektedir. Operatör koltuğu, tüm evrelerde yatay X ve Y eksenlerinde kabin zeminindeki titreşimi şiddetlendirerek, operatöre iletmiştir. Z ekseninde ise yalnızca ileri yürüme ve tesviye evrelerinde daha fazla sayıda yükleyicinin kabin zeminindeki titreşim operatör koltuğunda sönümlenmiştir. Bu açıdan bakıldığında operatör koltuğu Z ekseninde de titreşim sönümlenme gücüne sahip değildir.

Çizelge 7.7 Yükleyici döngü evrelerinde titreşim ivmesi doruk faktörleri

Doruk faktörü	Yükleme			Taşıma			Boşaltma		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	3,241	3,577	4,673	2,780	3,077	3,139	3,879	3,285	3,722
En büyük	11,107	11,570	45,347	8,834	9,721	19,299	7,617	7,286	19,648
Ortalama	5,584	5,894	10,617	5,949	5,371	9,184	4,942	4,965	7,758
Std sapma	1,594	1,680	8,326	1,404	1,519	4,430	0,936	1,075	3,572
≥9	1	1	11	0	1	7	0	0	6
<9	20	20	10	21	20	14	19	19	13
Doruk faktörü	Dönüş			Tesviye			İleri yürüme		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	3,107	3,432	4,349	4,087	3,943	4,262	3,844	3,419	4,477
En büyük	11,693	7,960	16,108	17,968	7,544	72,299	9,075	10,510	18,224
Ortalama	6,046	5,386	8,694	6,460	5,758	16,435	5,684	5,920	9,069
Std sapma	1,732	0,986	3,314	3,409	1,095	20,538	1,570	1,706	3,302
≥9	2	0	9	1	0	4	1	1	5
<9	22	24	15	13	14	10	14	14	10
Doruk faktörü	Manevra			Bekleme					
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z			
En küçük	5,493	5,728	8,470	3,860	4,727	3,873			
En büyük	6,290	5,805	11,666	25,233	19,575	66,495			
Ortalama	5,892	5,766	10,068	11,236	10,056	18,127			
Std sapma	0,399	0,038	1,598	5,964	4,168	15,988			
≥9	0	0	1	11	9	12			
<9	2	2	1	7	9	6			

Çizelge 7.8 Yükleyici döngü evrelerinde titreşim ivmesi SEAT faktörleri

SEAT faktörü	Yükleme			Taşıma			Boşaltma		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	1,070	1,129	0,605	0,905	0,802	0,450	1,000	1,000	0,591
En büyük	1,413	1,514	1,623	1,552	1,504	1,759	1,589	1,601	1,652
<1	0	0	7	1	1	8	1	1	9
≥1	21	21	14	20	20	13	18	18	10
SEAT faktörü	Dönüş			Tesviye			İleri yürüme		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	0,975	0,933	0,558	0,966	1,054	0,606	0,581	0,514	0,332
En büyük	1,704	1,473	1,554	1,373	1,501	1,398	1,540	4,465	1,414
<1	1	2	11	1	0	10	2	2	8
≥1	23	22	13	13	14	4	13	13	7
SEAT faktörü	Manevra			Bekleme					
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z			
En küçük	1,166	1,234	1,041	0,768	1,015	0,337			
En büyük	1,355	1,429	1,386	10,333	13,667	14,000			
<1	0	0	0	1	0	8			
≥1	2	2	2	17	18	10			

7.3.2 Titreşim dozu üzerinden tüm evrelerin değerlendirilmesi

Yükleyicilerin operatör koltuğunda ölçülen TVT dozu değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde VDV_{Total}, Vector₁₋₃, EAV ve değerleri Çizelge 7.9'da verilmektedir. Operatörler, bekleme haricindeki evrelerde birbirine yakın düzeyde TVT dozuna maruz kalmıştır. Tüm yükleyicilerin en kötü durum eksenini ve vektör toplamı ölçütlerine göre VDV_{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması Şekil 7.10a-h'de sunulmuştur.

Çizelge 7.9 Yükleyici döngü evrelerinde titreşim dozu parametreleri

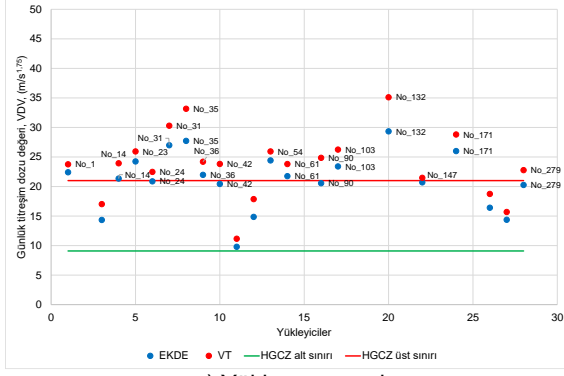
Evre	VDV _{Total} (m/s ^{1,75})				Vektör ₁₋₃ (m/s ^{1,75})				
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	
Yükleme	21,060	4,786	9,792	29,335	23,671	5,517	11,159	35,103	
Taşıma	21,146	7,077	7,753	38,096	24,164	7,445	8,952	39,640	
Boşaltma	18,961	6,057	6,859	27,461	21,583	7,052	7,040	31,286	
Dönüş	19,112	3,816	10,508	26,946	21,733	4,486	12,264	31,243	
Tesviye	20,485	6,008	10,289	32,915	22,810	5,965	11,675	34,613	
İleri yürü	17,572	6,842	9,756	39,154	19,901	7,136	11,680	41,383	
Manevra	21,380	2,227	19,153	23,607	24,261	2,907	21,354	27,168	
Bekleme	4,977	4,056	1,296	17,787	5,214	4,118	1,332	17,802	
		EAV _{TT(VDV)} (sa)				ELV _{TT(VDV)} (sa)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	
Yükleme	00:39:28	01:14:40	00:04:27	05:58:01	18:39:15	>24	02:06:03	>24	
Taşıma	01:12:06	03:09:55	00:01:34	15:11:07	>24	>24	00:44:19	>24	
Boşaltma	02:29:26	05:46:20	00:05:47	>24	>24	>24	02:44:10	>24	
Dönüş	00:40:06	00:51:24	00:06:15	04:29:56	18:57:22	>24	02:57:04	>24	
Tesviye	00:47:50	01:13:50	00:02:48	04:53:45	22:36:31	>24	01:19:32	>24	
İleri yürü	01:30:56	01:43:31	00:01:24	06:03:21	>24	>24	00:39:43	>24	
Manevra	00:17:32	00:06:56	00:10:36	00:24:28	08:17:10	03:16:34	05:00:36	11:33:44	
Bekleme	>24	>24	00:32:53	>24	>24	>24	15:32:41	>24	

Yükleyicilerin EU 2002/44/EC direktifi (2002) uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum eksenini ölçütü dikkate alındığında çoğunluğu EAV bölgesi içinde bulunmaktadır. Evre ortalamaları ELV sınırı civarında yoğunlaştığından, vektör toplamı ölçütüne göre ise çoğunluk ELV sınırını üzerine geçmektedir (Çizelge 7.10). Daha koruyucu eşiklere sahip olan ISO 2631-1 (1997) ve BS 6841 (1987) standartlarına göre yükleyicilerin oldukça büyük bölümü ELV bölgesi üzerindedir.

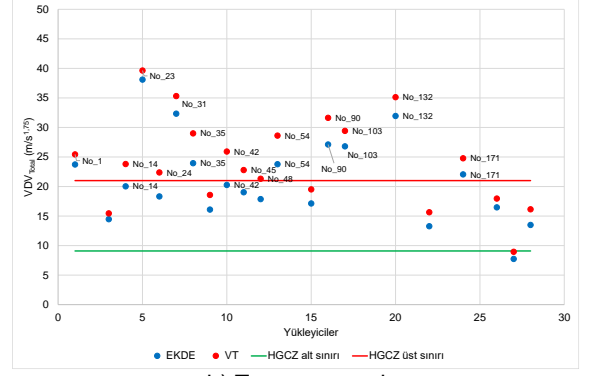
En yüksek titreşim dozu kaydedilen en kötü durum eksenini tüm evreler için Çizelge 7.11'de verilmektedir. Düşük titreşim dozu kaydedilen bekleme dışında evrelerin hemen tümünde X (Ch1) ve Y eksenleri (Ch2) birlikte en kötü durum eksenini olmuştur.

Yükleyicilerin BS 6841 (1987) standardı uyarınca kestirilen titreşim dozu değerleri (eVDV, m/s^{1,75}) hesaplanmış ve evrelerdeki doruk faktörleri Çizelge 7.17'de verilmiştir. Doruk faktörü tüm evrelerde 6'dan büyük olan Z eksenini, şokların etkisi altındadır. Yatay düzlemdeki X eksenini çoğu evrede, Y eksenini ise hemen tüm evrelerde 6'dan küçük doruk faktörü değerine sahip olduğundan, her iki eksen de istikrarlı ve büyük değişiklik göstermeyen TVT maruziyetine sahiptir. Belirli katsayıları %48 ile %98 arasında güçlü ilişkiye işaret etmektedir. Her üç eksen için VDV – eVDV ilişkisi Şekil 7.11a-h'de verilmiştir.

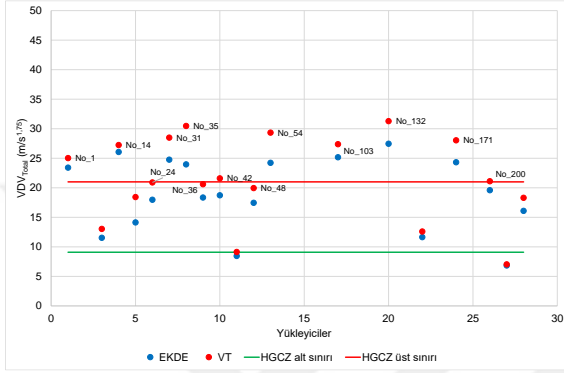
Yükleyici operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile VDV_{total} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 7.12'de sunulmuştur. İleri yürüme evresinde her iki ölçütün ELV sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan 2, tesviye evresinde 1, yükleme evresinde 5, taşıma evresinde 5, boşaltma evresinde 7, dönüş evresinde 5 ve manevra evresinde 1 adet yükleyici bulunmaktadır.



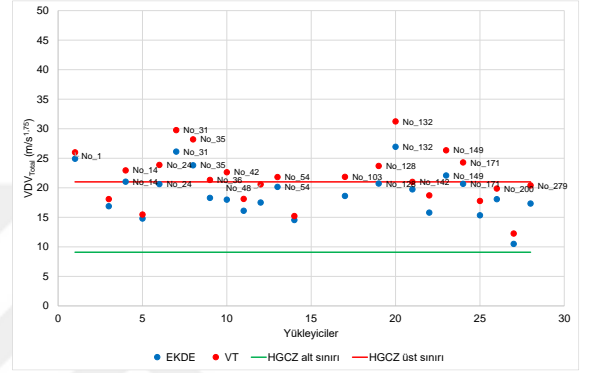
a) Yükleme evresi



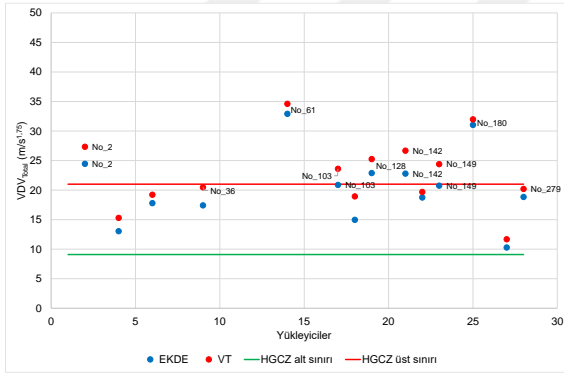
b) Taşıma evresi



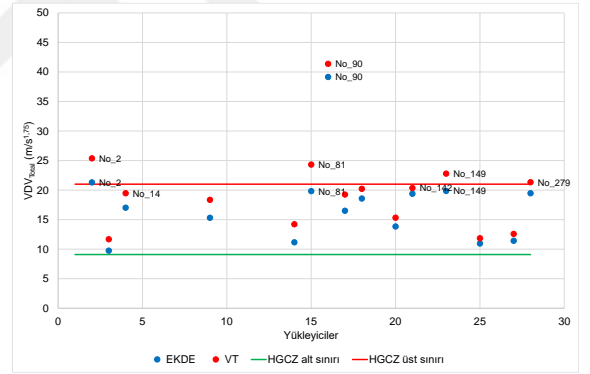
c) Boşaltma evresi



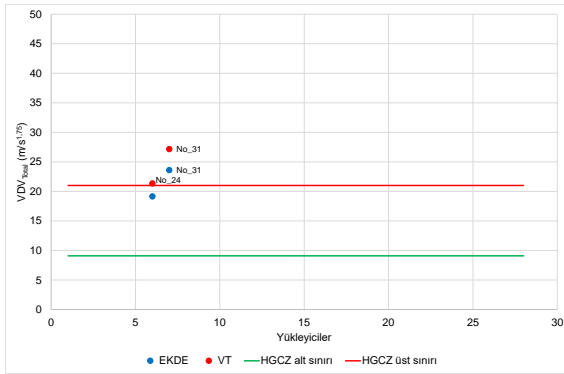
d) Dönüş evresi



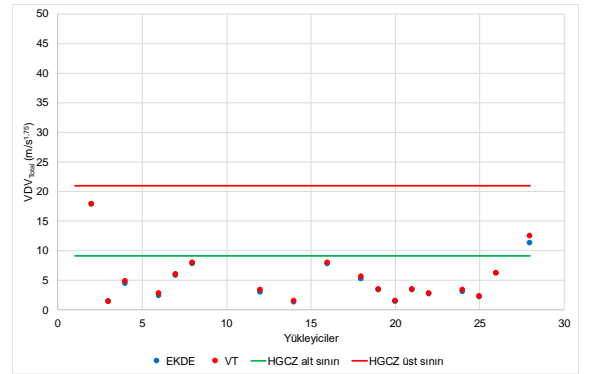
e) Tesviye evresi



f) İleri yürüme evresi



g) Manevra evresi



h) Bekleme evresi

Şekil 7.10 Yükleyici evrelerinde VDV_{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması

Çizelge 7.10 Yükleyici döngü evrelerinde operatörlerin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi

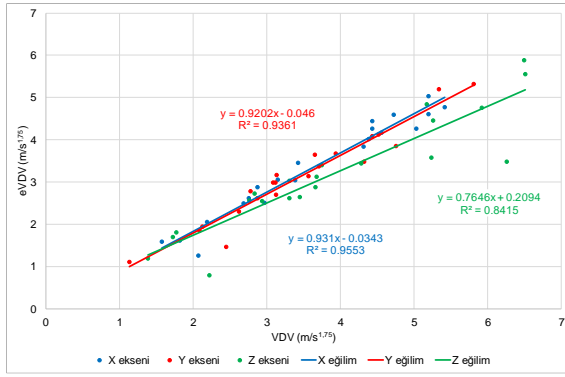
Evre	Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)	
		EKDE	VT	EKDE	VT	EKDE	VT
Yükleme	EAV altında	0	0	0	0	4	1
	EAV içinde	10	5	5	2	-	-
	ELV üstünde	11	16	16	19	17	20
Taşıma	EAV altında	1	1	1	0	4	1
	EAV içinde	11	6	5	4	-	-
	ELV üstünde	9	14	15	17	17	20
Boşaltma	EAV altında	2	1	2	1	5	4
	EAV içinde	9	8	4	3	-	-
	ELV üstünde	8	10	13	15	14	15
Dönüş	EAV altında	0	0	0	0	3	1
	EAV içinde	18	10	7	3	-	-
	ELV üstünde	6	14	17	21	21	23
Tesviye	EAV altında	0	0	0	0	3	1
	EAV içinde	9	7	3	2	-	-
	ELV üstünde	5	7	11	12	11	13
İleri yürüme	EAV altında	0	0	0	0	5	4
	EAV içinde	13	10	7	5	-	-
	ELV üstünde	2	5	8	10	10	11
Manevra	EAV altında	0	0	0	0	0	0
	EAV içinde	1	2	2	2	-	-
	ELV üstünde	1	2	2	2	2	2
Bekleme	EAV altında	16	16	16	16	17	17
	EAV içinde	2	2	1	1	-	-
	ELV üstünde	0	0	1	1	1	1

Çizelge 7.11 Yükleyici döngü evrelerinde VDV_{Total} değerine göre en kötü durum eksenleri

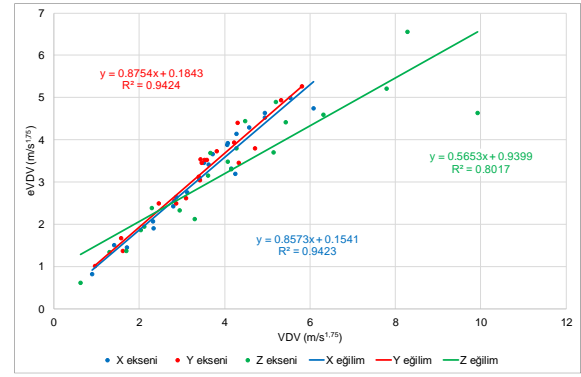
Evre	Yükleyici adedi		
	X (Ch1)	Y (Ch2)	Z (Ch3)
Yükleme	11	8	2
Taşıma	8	10	3
Boşaltma	11	8	-
Dönüş	10	12	2
Tesviye	6	6	2
İleri yürüme	6	8	1
Manevra	2	-	-
Bekleme	4	7	7

Çizelge 7.12 Yükleyici döngü evrelerinde titreşim dozu doruk faktörleri

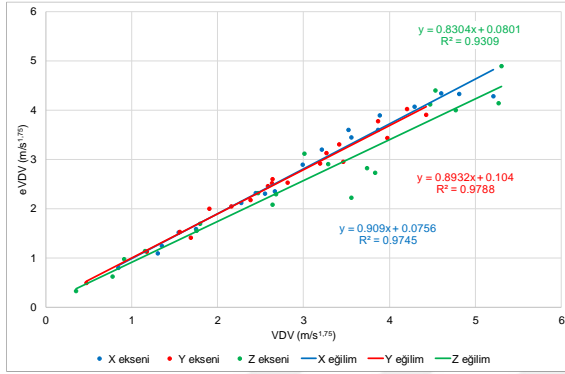
Doruk faktörü	Yükleme			Taşıma			Boşaltma		
	VDV_x	VDV_y	VDV_z	VDV_x	VDV_y	VDV_z	VDV_x	VDV_y	VDV_z
≥ 6	7	7	18	11	8	16	3	3	13
< 6	14	14	3	10	13	5	16	16	6
R^2	0,96	0,94	0,84	0,94	0,94	0,80	0,97	0,98	0,93
Doruk faktörü	Dönüş			Tesviye			İleri yürüme		
	VDV_x	VDV_y	VDV_z	VDV_x	VDV_y	VDV_z	VDV_x	VDV_y	VDV_z
≥ 6	10	4	18	6	5	10	5	5	13
< 6	9	15	1	8	9	4	10	10	2
R^2	0,95	0,96	0,93	0,89	0,98	0,48	0,92	0,91	0,96
Doruk faktörü	Manevra			Bekleme					
	VDV_x	VDV_y	VDV_z	VDV_x	VDV_y	VDV_z			
≥ 6	1	0	2	15	16	16			
< 6	1	2	0	3	2	2			
R^2	-	-	-	0,93	0,87	0,72			



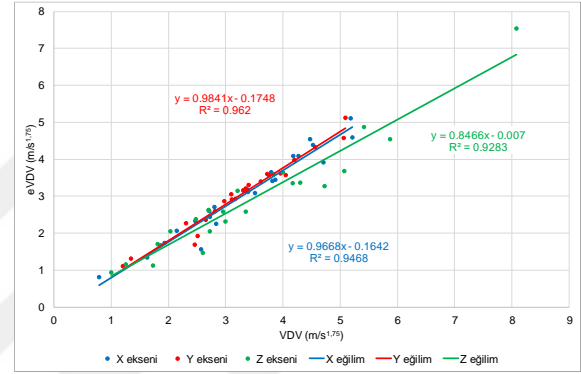
a) Yükleme evresi



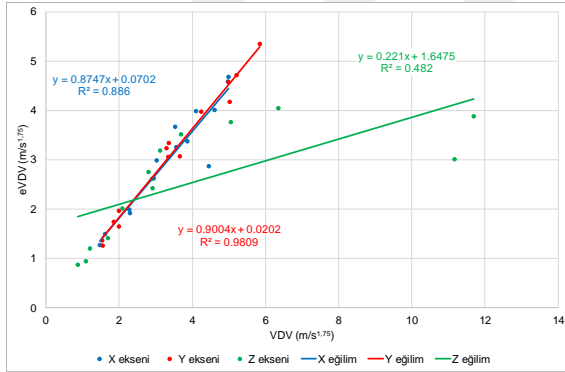
b) Taşıma evresi



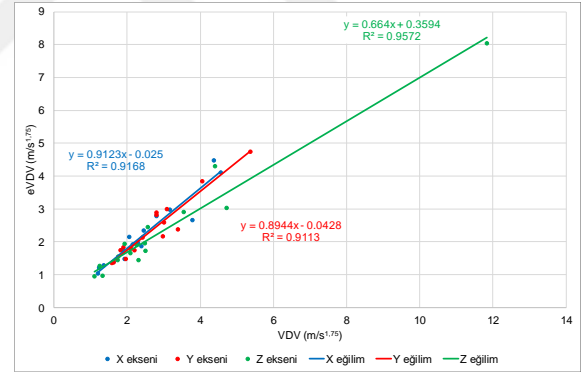
c) Boşaltma evresi



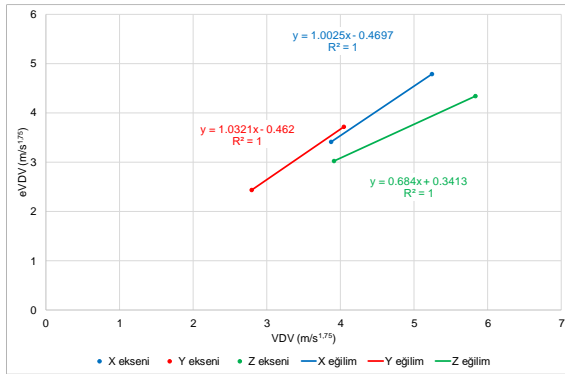
d) Dönüş evresi



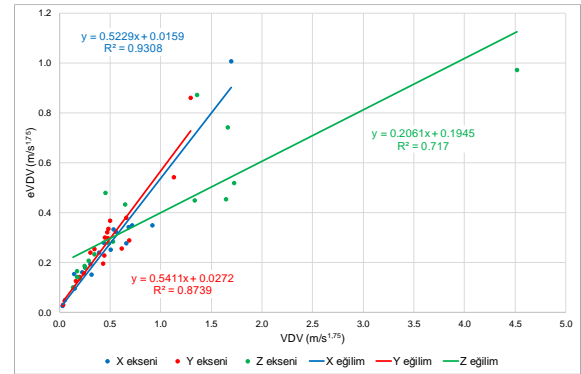
e) Tesviye evresi



f) İleri yürüme evresi

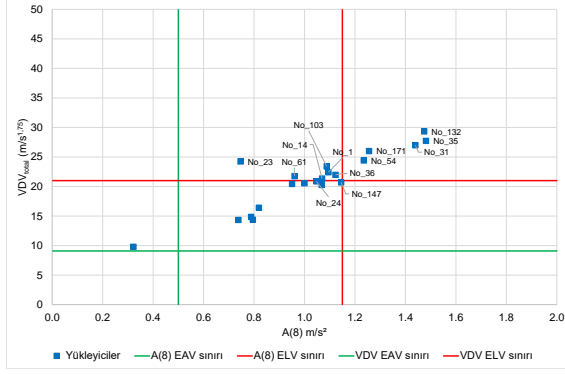


g) Manevra evresi

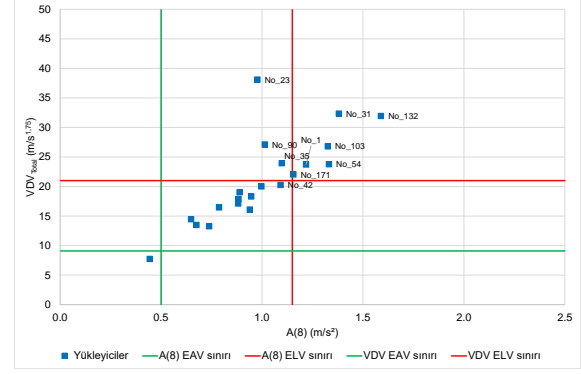


h) Bekleme evresi

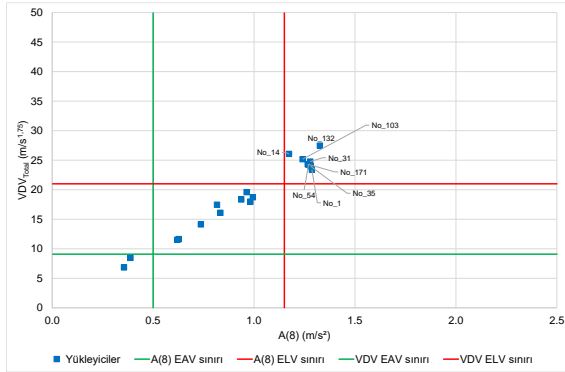
Şekil 7.11 Yükleyici döngü evrelerindeki VDV – eVDV ilişkisi



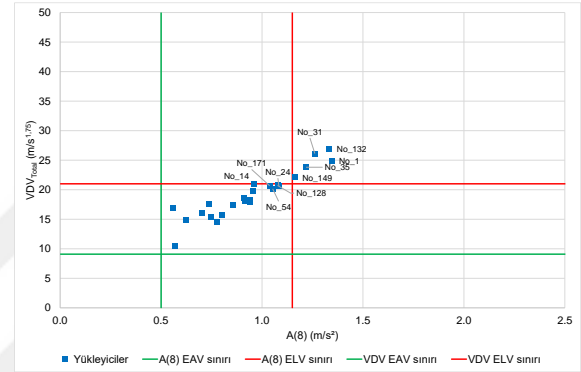
a) Yükleme evresi



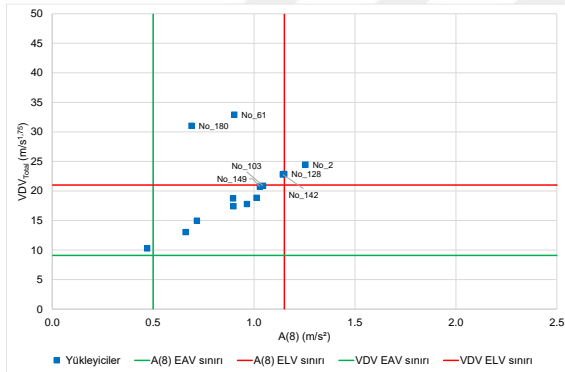
b) Taşıma evresi



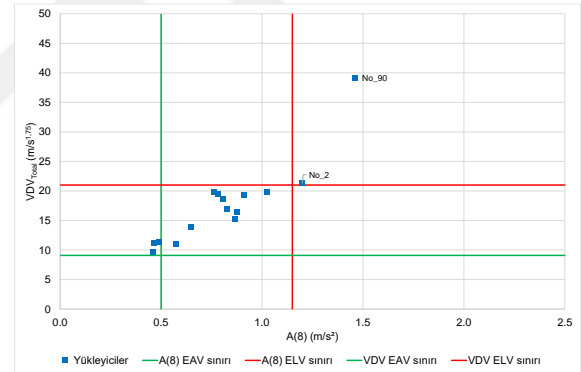
c) Boşaltma evresi



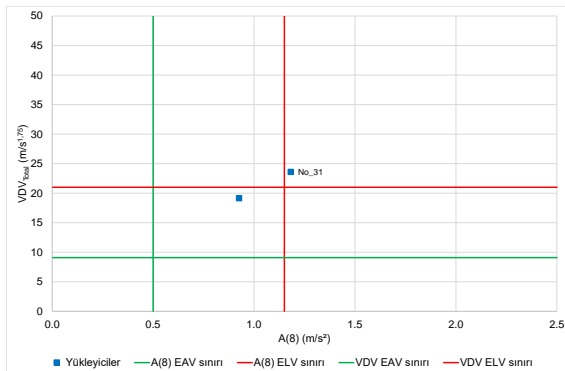
d) Dönüş evresi



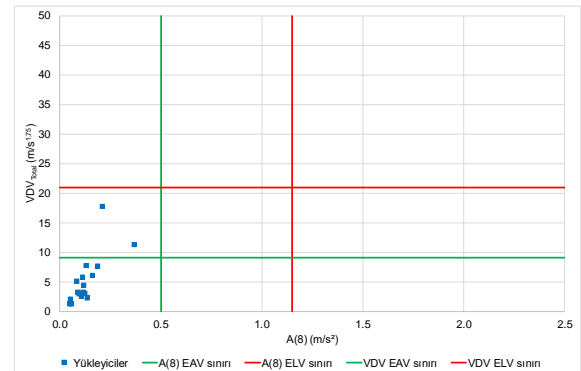
e) Tesviye evresi



f) İleri yürüme evresi



g) Manevra evresi



h) Bekleme evresi

Şekil 7.12 Yükleyci döngü evrelerindeki A(8) – VDV_{Total} ilişkisi

7.3.3 Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden evrelerin değerlendirilmesi

Yükleyici operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri kullanılarak hesaplanan günlük eşdeğer statik basınç dozu (S_{ed}) değerleri ile risk faktörleri R(IOP) ve R(TOP) Çizelge 7.13'de verilmektedir. S_{ed} ve R(IOP) bakımından en yüksek değerler tesviye, taşıma, manevra, yükleme ve ileri yürüme evrelerinde oluşmakta, boşaltma ve dönüş evreleri bu grubu izlemektedir.

Tüm yükleyici operatörlerinin eşdeğer statik basınç dozu değeri (S_{ed}) ve risk faktörü (R(IOP)) ölçütlerine göre olumsuz sağlık riski bakımından değerlendirme sonuçları Çizelge 7.14'de verilmektedir. Tüm evrelerde operatörlerin büyük bölümü titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı düşük olduğu 0,5 MPa'dan düşük bölgede yer almaktadır. Yükleme, taşıma, boşaltma ve dönüş evrelerinde operatörlerin küçük bir bölümü de sağlık riski bakımından dikkat bölgesinde bulunmaktadır. Tesviye, yükleme ve taşıma evrelerinde ise 0,8 MPa'dan yüksek basınca maruz kalarak olumsuz sağlık riski taşıyan 3, 2 ve 4 operatör bulunmaktadır.

Operatörlerin günlük sağlık risklerini değerlendiren R faktörü bakımından değerlendirme yapıldığında tüm evrelerde operatörlerin hemen tümünün R faktörünün 0,8'den düşük olduğu ve sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığının düşük olacağı belirlenmiştir. Sadece tesviye ve ileri yürüme evrelerinde birer operatörün R faktörü 1,2'den büyük olduğundan sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığı büyüktür.

Yükleyici operatörlerinin S_{ed} ve R ölçütlerinin risk sınırlarına göre birlikte karşılaştırılması Şekil 7.13'de sunulmuştur. Boşaltma, dönüş ve manevra evrelerinde her iki ölçüt bakımından yüksek risk bölgesinde kalan operatör bulunmamaktadır. Görece yüksek titreşime maruz kalınan tesviye ve ileri yürüme evrelerinde de sırasıyla, 1 ve 2 adet operatör her iki ölçüt bakımından yüksek risk bölgesinde çıkmıştır.

Çizelge 7.13 Yükleyici döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörleri

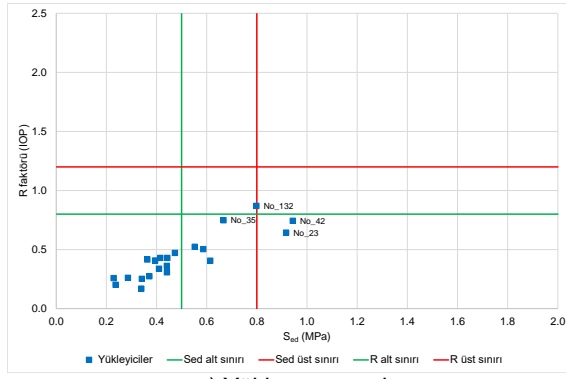
Evre	S_{ed} (MPa)				R(IOP) faktör				R(TOP) faktör			
	Ort.	Std. Sapma	En küçük	En büyük	Ort.	Std. sapma	En küçük	En büyük	Ort.	Std. sapma	En küçük	En büyük
Yükleme	0,485	0,196	0,227	0,937	0,430	0,185	0,170	0,870	0,607	0,245	0,285	1,171
Taşıma	0,540	0,350	0,118	1,467	0,472	0,288	0,102	1,059	0,676	0,438	0,148	1,835
Boşaltma	0,401	0,178	0,070	0,737	0,358	0,174	0,060	0,763	0,501	0,222	0,088	0,921
Dönüş	0,419	0,149	0,173	0,718	0,383	0,165	0,121	0,792	0,524	0,186	0,216	0,899
Tesviye	0,639	0,631	0,166	2,172	0,572	0,623	0,117	2,284	0,799	0,790	0,208	2,716
İleri yürü	0,464	0,399	0,172	1,878	0,410	0,342	0,189	1,624	0,580	0,500	0,215	2,349
Manevra	0,493	0,125	0,368	0,618	0,343	0,069	0,274	0,412	0,617	0,157	0,460	0,773
Bekleme	0,184	0,247	0,027	1,106	0,168	0,243	0,023	1,079	0,230	0,309	0,034	1,384

Çizelge 7.14 Yükleyici döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörüne göre sağlık riski

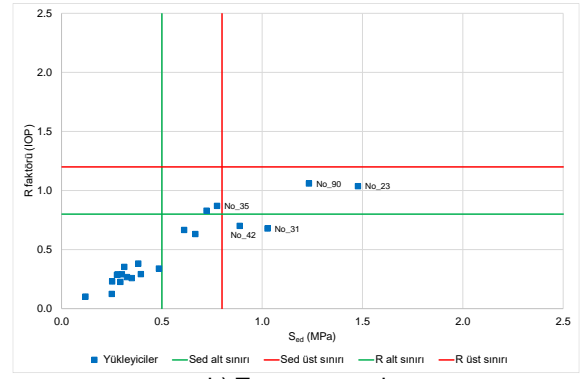
Evre	S_{ed} (MPa)		
	<0,5	0,5 – 0,8	>0,8
Yükleme	14	5	2
Taşıma	13	4	4
Boşaltma	14	5	-
Dönüş	18	6	-
Tesviye	10	1	3
İleri yürüme	12	2	1
Manevra	1	1	-
Bekleme	17	-	1

	R faktörü		
	<0,8	0,8 – 1,2	>1,2
Yükleme	20	1	-
Taşıma	17	4	-
Boşaltma	19	-	-
Dönüş	24	-	-
Tesviye	12	-	2
İleri yürüme	14	-	1
Manevra	2	-	-
Bekleme	17	1	-

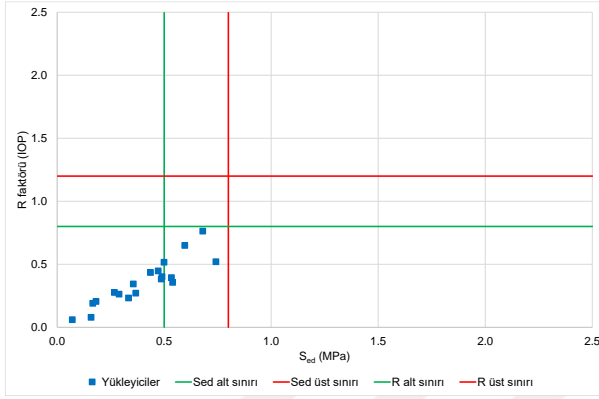
Yükleyici operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 7.14'de sunulmuştur. İleri yürüme ve taşıma evrelerinde her iki ölçütü birlikte aşarak olumsuz sağlık riski potansiyeli barındıran birer adet yükleyici bulunmaktadır. Diğer taraftan, yükleyici operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) VDV_{Total} ve ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması da Şekil 7.15'de sunulmuştur. İleri yürüme, tesviye, taşıma ve yükleme evrelerinde her iki ölçüte göre de yüksek olumsuz sağlık riski bölgesi içinde kalan 1, 3, 3 ve 1 adet yükleyici bulunmaktadır. Titreşim dozu bakımından daha fazla yükleyicinin olumsuz sağlık riskine işaret etmesi, yükleyici çalışmasında şokların etkisine işaret etmektedir.



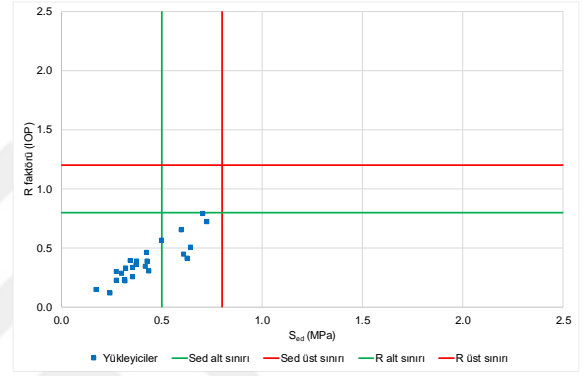
a) Yükleme evresi



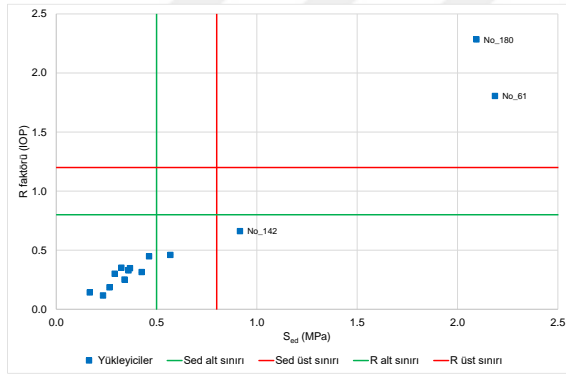
b) Taşıma evresi



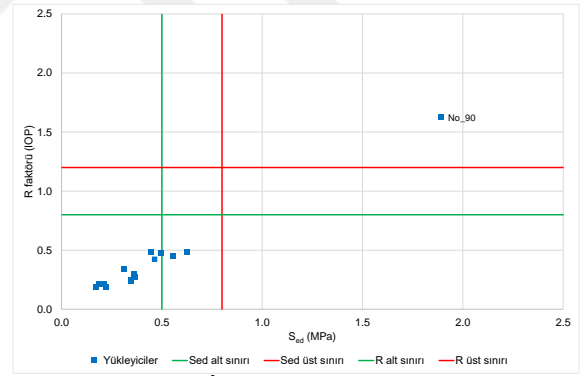
c) Boşaltma evresi



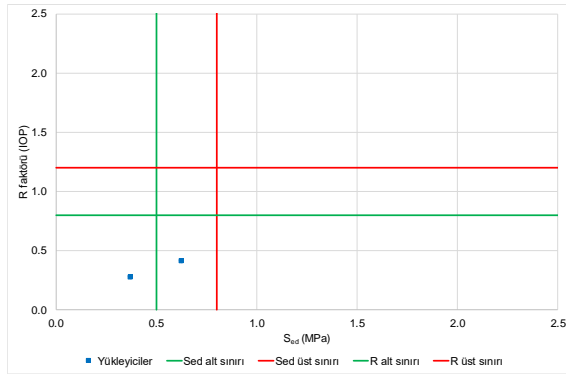
d) Dönüş evresi



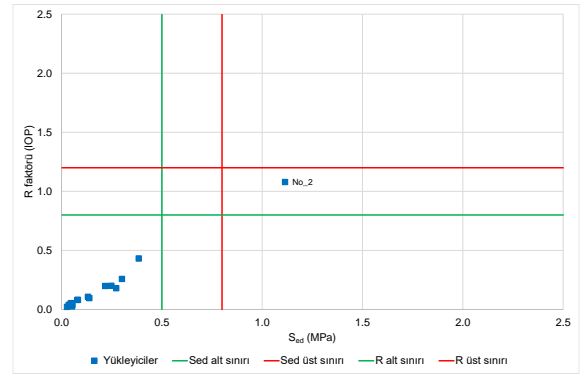
e) Tesviye evresi



f) İleri yürüme evresi

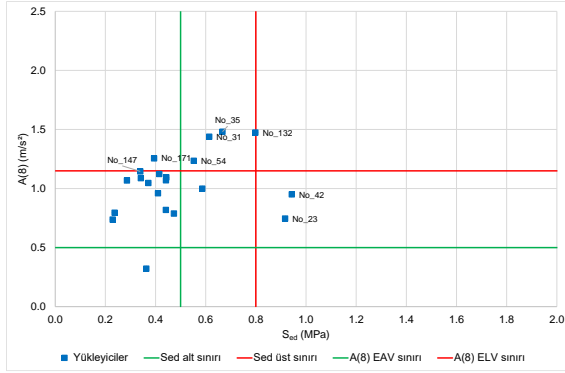


g) Manevra evresi

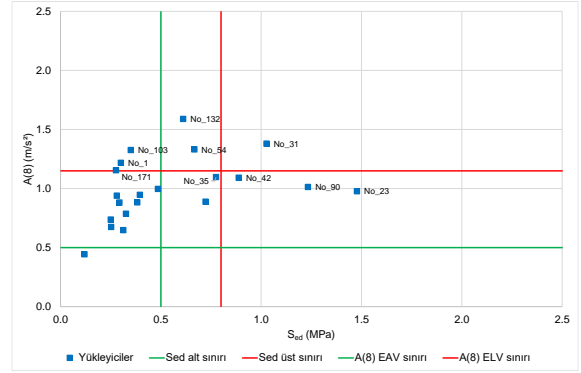


h) Bekleme evresi

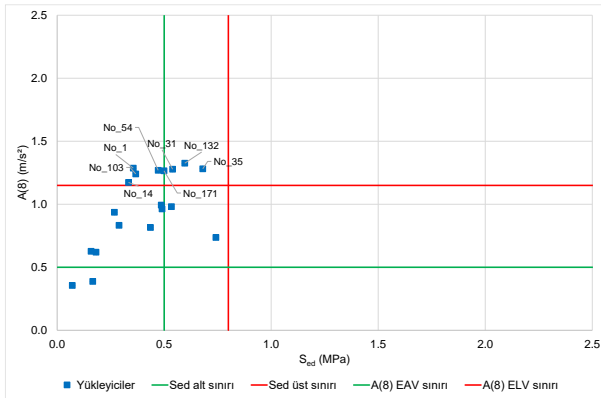
Şekil 7.13 Yükleyici operatörlerinin evreler bazında S_{sed} – R faktörü ilişkisi



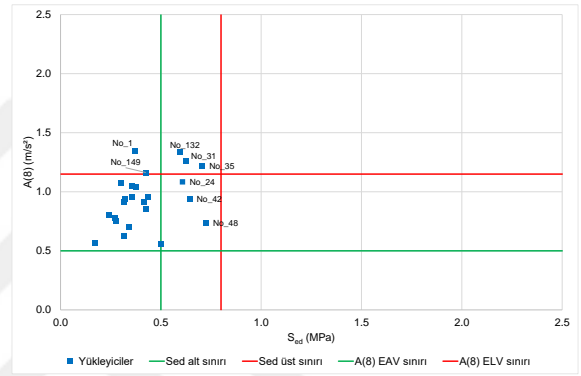
a) Yükleme evresi



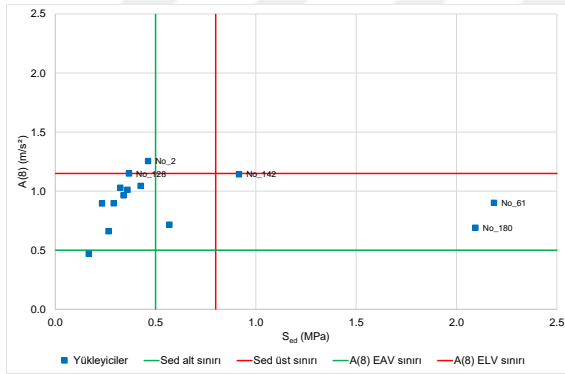
b) Taşıma evresi



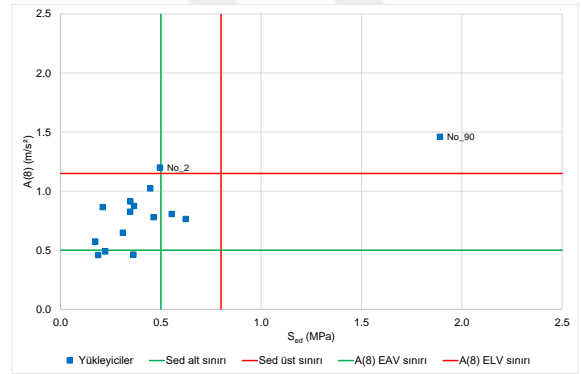
c) Boşaltma evresi



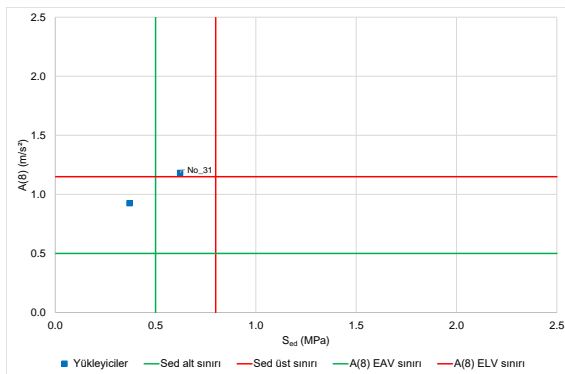
d) Dönüş evresi



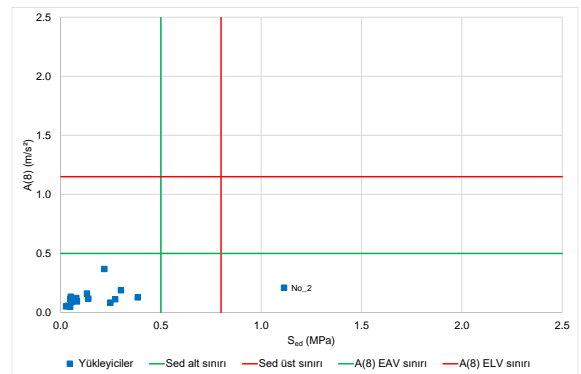
e) Tesviye evresi



f) İleri yürüme evresi

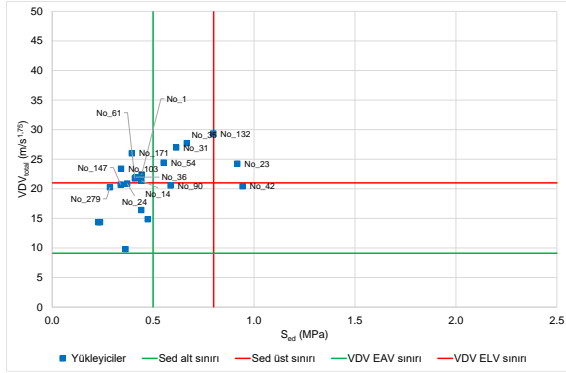


g) Manevra evresi

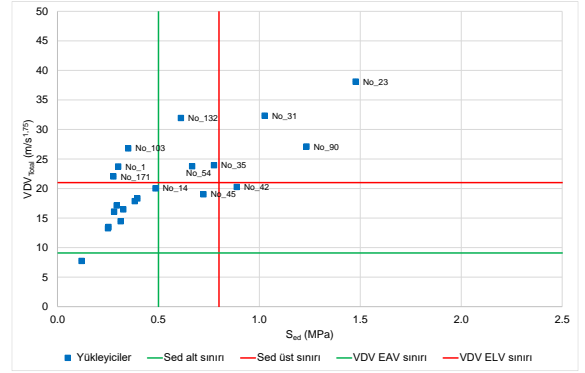


h) Bekleme evresi

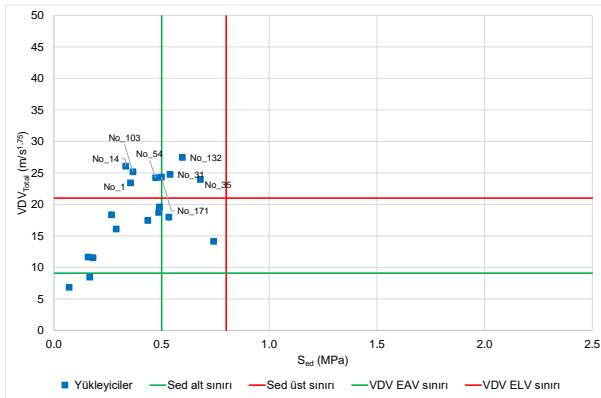
Şekil 7.14 Yükleyici operatörlerinin evreler bazında $S_{ed} - A(8)$ ilişkisi



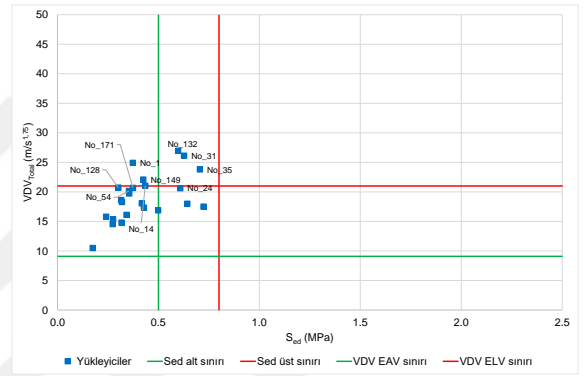
a) Yükleme evresi



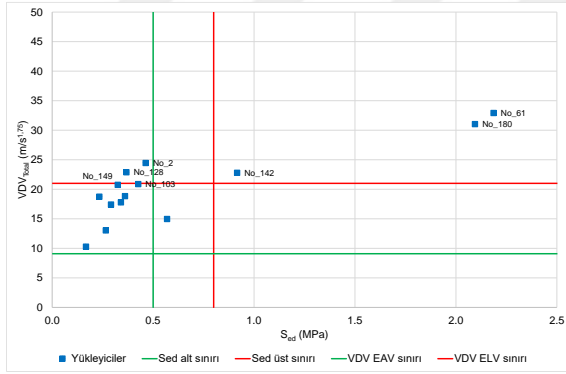
b) Taşıma evresi



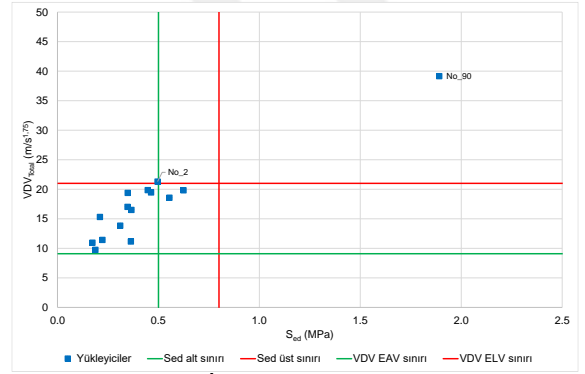
c) Boşaltma evresi



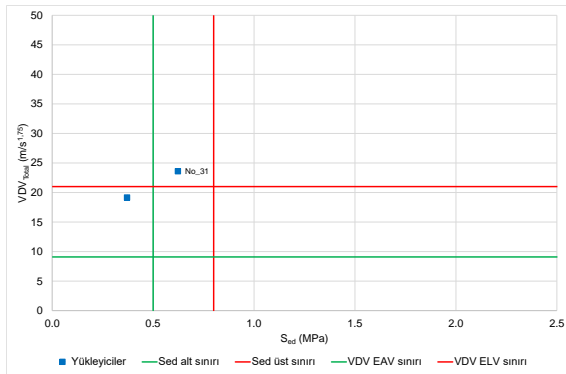
d) Dönüş evresi



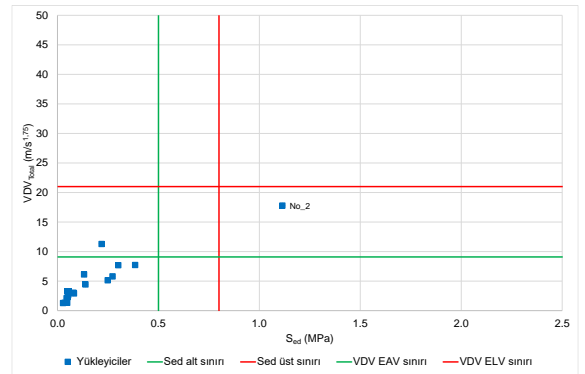
e) Tesviye evresi



f) İleri yürüme evresi



g) Manevra evresi



h) Bekleme evresi

Şekil 7.15 Yükleyici operatörlerinin evreler bazında S_{sed} – VDV_{Total} ilişkisi

7.4 İstatistiksel Analizler

7.4.1 Döngü evre gruplarının TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Evreler bazında aşağıdaki sayıda yükleyiciden ölçüm alınmıştır: ileri yürüme 15 yükleyici, bekleme 18 yükleyici, tesviye 14 yükleyici, geri dönüş 24 yükleyici, yükleme 21 yükleyici, taşıma 21 yükleyici, boşaltma 19 yükleyici ve manevra 2 yükleyici. TVT ölçümleri alınan yükleyicilerle ilgili hesaplanan titreşim ivmesi ve dozu değerlerinin kullanıldığı analizlerde önce betimleyici istatistikler hesaplanmış, daha sonra da etkileyici faktörler bazında hipotez testleri yapılmıştır. Çizelge 7.15’de evreler bazında verilen betimleyici istatistiklere göre yükleyici operatörleri bekleme dışındaki evrelerde benzer titreşim ivmesi ile dozuna maruz kalmakta, en yüksek maruziyet manevra evresinde oluşmakta, bu evreyi yükleme ve taşıma evreleri takip etmektedir. Operatörler bekleme evresinde en düşük TVT ivmesi ve dozuna maruz kalmaktadırlar.

Çizelge 7.15 Yükleyici döngüsünü oluşturan evrelerin betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Evre	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	ileri yürüme	15	,80973	,276336	,071350	,459	1,460
	taşıma	21	1,00038	,273565	,059697	,444	1,589
	tesviye	14	,91629	,217672	,058175	,470	1,254
	yükleme	21	1,03048	,276699	,060381	,322	1,481
	manevra	2	1,05350	,181726	,128500	,925	1,182
	dönüş	24	,94008	,226953	,046327	,560	1,345
	bekleme	18	,12433	,075698	,017842	,049	,368
	boşaltma	19	,96695	,313165	,071845	,356	1,326
VDV _{Total}	ileri yürüme	15	17,57173	7,082047	1,828577	9,756	39,154
	taşıma	21	21,14648	7,251362	1,582377	7,753	38,096
	tesviye	14	20,48536	6,234393	1,666212	10,289	32,915
	yükleme	21	21,05976	4,903983	1,070137	9,792	29,335
	manevra	2	21,38000	3,149454	2,227000	19,153	23,607
	dönüş	24	19,11154	3,897912	,795658	10,508	26,946
	bekleme	18	4,97656	4,173182	,983628	1,296	17,787
	boşaltma	19	18,96126	6,223300	1,427723	6,859	27,461

Evreler bazında ortalaması alınmış TVT ivmesi ve dozu değerlerinin yükleyici döngüsünü oluşturan evreler bazında anlamlı biçimde değişip değişmediği, hipotez testleri aracılığıyla araştırılmıştır. Evre verisinin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testi yapılarak değerlendirilmiş ve TVT ivmesi için bekleme ve manevra (veri sayısı az olduğundan test yapılmamıştır), TVT dozu için ilaveten ileri yürüme evreleri dışındaki tüm evre verisinin normal dağılıma uygun olduğu belirlenmiştir (Sig. > 0,05). Varyansların homojenliği testine göre TVT ivmesi grup varyansı homojen olmayıp (Sig_{A(8)} = 0,009), TVT dozu grup varyansı homojendir (Sig_{VDV_{Total}} = 0,167). TVT ivmesi için yükleyici döngüsünü oluşturan evrelerin ortalamaları arasındaki farklılığın anlamlı olup olmadığı *Tamhane* testi ile TVT dozu için ise *Tukey* testi ile incelenmiştir. Çizelge 7.16’da verilen çoklu karşılaştırma testine göre titreşim ivmesi ve dozu için bekleme ile diğer tüm evreler arasındaki farklılık istatistiksel olarak anlamlıdır.

Çizelge 7.16 Yükleyici döngüsü evrelerinin çoklu karşılaştırması

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	
TAMHANE	ileri yürüme	taşıma	-,190648	TUKEY HSD	ileri yürüme	taşıma	-3,574743	
		tesviye	-,106552			tesviye	-2,913624	
		yükleme	-,220743			yükleme	-3,488029	
		manevra	-,243767			manevra	-3,808267	
		dönüş	-,130350			dönüş	-1,539808	
		bekleme	,685400*			bekleme	12,595178*	
	taşıma	ileri yürüme	taşıma	,190648	taşıma	ileri yürüme	taşıma	3,574743
			tesviye	,084095			tesviye	,661119
			yükleme	-,030095			yükleme	,086714
			manevra	-,053119			manevra	-,233524
			dönüş	,060298			dönüş	2,034935
			bekleme	,876048*			bekleme	16,169921*
	tesviye	ileri yürüme	taşıma	-,084095	tesviye	ileri yürüme	taşıma	-,661119
			yükleme	-,114190			yükleme	-,574405
			manevra	-,137214			manevra	-,894643
			dönüş	-,023798			dönüş	1,373815
			bekleme	,791952*			bekleme	15,508802*
			boşaltma	-,050662			boşaltma	1,524094
	yükleme	ileri yürüme	taşıma	,220743	yükleme	ileri yürüme	taşıma	3,488029
			tesviye	,114190			tesviye	-,574405
			manevra	-,023024			manevra	-,320238
			dönüş	,090393			dönüş	1,948220
			bekleme	,906143*			bekleme	16,083206*
			boşaltma	,063529			boşaltma	2,098499
	manevra	ileri yürüme	taşıma	,243767	manevra	ileri yürüme	taşıma	3,808267
			tesviye	,137214			tesviye	,894643
			yükleme	,023024			yükleme	,320238
			dönüş	,113417			dönüş	2,268458
bekleme			,929167	bekleme			16,403444*	
boşaltma			,086553	boşaltma			2,418737	
dönüş	ileri yürüme	taşıma	-,060298	dönüş	ileri yürüme	taşıma	-2,034935	
		tesviye	,023798			tesviye	-1,373815	
		yükleme	-,090393			yükleme	-1,948220	
		manevra	-,113417			manevra	-2,268458	
		bekleme	,815750*			bekleme	14,134986*	
		boşaltma	-,026864			boşaltma	,150279	
bekleme	ileri yürüme	taşıma	-,685400*	bekleme	ileri yürüme	taşıma	-12,59518*	
		tesviye	-,791952*			tesviye	-15,50880*	
		yükleme	-,906143*			yükleme	-16,08321*	
		manevra	-,929167			manevra	-16,40344*	
		dönüş	-,815750*			dönüş	-14,13499*	
		boşaltma	-,842614*			boşaltma	-13,98471*	
boşaltma	ileri yürüme	taşıma	,157214	boşaltma	ileri yürüme	taşıma	1,389530	
		tesviye	-,033434			tesviye	-2,185213	
		yükleme	,050662			yükleme	-1,524094	
		manevra	-,063529			manevra	-2,098499	
		dönüş	-,086553			dönüş	-2,418737	
		bekleme	,026864			bekleme	-,150279	
		bekleme	,842614*			bekleme	13,984708*	

7.4.2 Kova kapasitesinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi

TVT ivmesi ve dozu düzeylerinin yükleyici kova kapasitesindeki farklılıklar ile anlamlı biçimde değişip değişmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Çalışmada örneklenen yükleyiciler aşağıdaki kova kapasitesi aralıklarına bölünmüştür.

- a) 0-2 m³ → 2 adet
- b) 2-4 m³ → 15 adet
- c) 4-6 m³ → 9 adet
- d) 2-4 m³ → 2 adet

Örnekleme sayısı yeterli düzeyde olduğu için normal dağılıma uygunluk Shapiro-Wilk testi üzerinden değerlendirilmiş ve TVT ivmesi ile dozu değerleri normal dağılıma uygun çıkmıştır (Sig_{A(8)} = 0,780, Sig_{VDV_{Total}} = 0,604). Kova kapasite gruplarının betimleyici istatistikleri Çizelge 7.17'de verilmiştir. 6 - 20 m³ kapasite grubunda kaydedilen TVT ivme ve dozu değerlerinin diğer gruplara göre oldukça düşük olduğu dikkat çekmiştir.

Varyansların homojenliği testi sonucuna göre titreşim ivmesi ve dozu önem değerleri uygundur (Sig_{A(8)} = 0,147 ve Sig_{VDV_{Total}} = 0,298) ve böylece grup varyanslarının homojen olduğu sonucuna varılmıştır.

Tek yönlü varyans analizi sonuçlarına göre H₀ hipotezi uyarınca grupların ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna varılmıştır (Sig_{A(8)} = 0,431 ve Sig_{VDV_{Total}} = 0,250). Yükleyici kova kapasite grup ortalamaları arasındaki farklılık çoklu karşılaştırma tablosunda *Tukey* testi baz alınarak ikilik gruplar arasındaki incelenmiştir (Çizelge 7.18). Buna göre titreşim ivmesi ve dozu için tüm gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur. Dolayısıyla operatörlerin maruz kaldığı TVT ivmesi ve dozu, yükleyici kova kapasitesinden bağımsızdır.

Çizelge 7.17 Yükleyicilerin kova kapasitesi gruplarının betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Kova kapasitesi	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	0-2 m ³	2	,91500	,077782	,055000	,860	,970
	2-4 m ³	15	,96393	,206605	,053345	,564	1,242
	4-6 m ³	9	,88911	,303800	,101267	,451	1,393
	6-20 m ³	2	,66500	,243245	,172000	,493	,837
VDV _{Total}	0-2 m ³	2	18,47550	,939745	,664500	17,811	19,140
	2-4 m ³	15	21,13773	4,814142	1,243006	13,234	29,355
	4-6 m ³	9	21,75867	5,969745	1,989915	12,423	28,853
	6-20 m ³	2	13,88400	4,801255	3,395000	10,489	17,279

Çizelge 7.18 Yükleyici kova kapasitesi gruplarının çoklu karşılaştırması

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)
TUKEY	0-2 m ³	2-4 m ³	-,048933	TUKEY	0-2 m ³	2-4 m ³	-2,662233
HSD		4-6 m ³	,025889	HSD		4-6 m ³	-3,283167
		6-10 m ³	,250000			6-10 m ³	4,591500
	2-4 m ³	0-2 m ³	,048933		2-4 m ³	0-2 m ³	2,662233
		4-6 m ³	,074822			4-6 m ³	-,620933
		6-10 m ³	,298933			6-10 m ³	7,253733
	4-6 m ³	0-2 m ³	-,025889		4-6 m ³	0-2 m ³	3,283167
		2-4 m ³	-,074822			2-4 m ³	,620933
		6-10 m ³	,224111			6-10 m ³	7,874667
	6-20 m ³	0-2 m ³	-,250000		6-20 m ³	0-2 m ³	-4,591500
		2-4 m ³	-,298933			2-4 m ³	-7,253733
		4-6 m ³	-,224111			4-6 m ³	-7,874667

7.4.3 Lastik koruma zincirinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi

TVT ivmesi ve dozu düzeylerinin lastik koruma zinciri takılan ve takılmayan yükleyicilerde anlamlı biçimde değişip değişmediği hipotez testleri aracılığıyla araştırılmıştır. Çalışmada örneklenen yükleyiciler aşağıdaki lastik koruma zinciri gruplarına bölünmüştür.

- Lastik koruma zinciri yok → 22 adet
- Ön teker zincirli → 2 adet
- Tüm tekerler zincirli → 4 adet

Lastik koruma zinciri verisinin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testi yapılarak değerlendirilmiş ve TVT ivmesi ve dozu için tüm verisinin normal dağılıma uygun olduğu belirlenmiştir (Sig. > 0,05). Varyansların homojenliği testi sonucuna göre titreşim ivmesi grup varyansının (Sig_{A(8)} = 0,003) için homojen olmadığı; titreşim dozunun (Sig_{VDV_{Total}} = 0,207) homojen olduğu sonucuna varılmıştır. Lastik koruma zinciri gruplarının betimleyici istatistikleri Çizelge 7.19'da verilmiştir. Zincirsiz yükleyiciler TVT ivmesinde en düşük değere sahip iken; TVT dozu değerlerinde ise çift zincirli yükleyiciler diğer gruplara göre düşük değerdedir.

Çizelge 7.19 Yükleyicilerin lastik koruma zinciri gruplarının betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Zincir grubu	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	Zincirsiz	22	,88364	,197832	,042178	,493	1,242
	Ön zincirli	2	1,19200	,046669	,033000	1,159	1,225
	Çift zincirli	4	,94925	,433691	,216846	,451	1,393
VDV _{Total}	Zincirsiz	22	20,36955	5,091833	1,085582	10,489	29,355
	Ön zincirli	2	24,83250	1,898582	1,342500	23,490	26,175
	Çift zincirli	4	19,95450	7,358169	3,679085	12,423	28,655

Tek yönlü varyans analizi sonuçlarına göre H₀ hipotezi uyarınca grupların ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur (Sig_{A(8)} = 0,218 ve Sig_{VDV_{Total}} = 0,516). Yükleyici lastik koruma zinciri grup ortalamaları arasındaki farklılık çoklu karşılaştırma tablosunda titreşim ivmesi için *Tamhane* testi, titreşim dozu için de *Tukey* testi baz alınarak ikilik gruplar arasında incelenmiştir (Çizelge 7.20). Buna göre titreşim dozu için tüm gruplar arasında anlamlı bir farklılık

yoktur. Dolayısıyla operatörlerin maruz kaldığı TVT dozu, lastik korumadaki farklılıktan bağımsızdır. Ancak titreşim ivmesi incelendiğinde zincirsiz yükleyiciler ile sadece ön lastiklerinde zincir bulunan yükleyiciler arasında anlamlı bir farklılık çıkarken; çift zincir takılı olan yükleyiciler ile diğer gruplar arasında anlamlı bir farklılık çıkmamaktadır. Dolayısıyla ön dingilde zincir kullanan lastik tekerlekli yükleyicilerin operatörleri daha fazla titreşim ivmesine maruz kalmaktadır.

Çizelge 7.20 Yükleyici lastik koruma zinciri gruplarının çoklu karşılaştırması

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)
TAMHANE	Zincirsiz	Ön zincirli	-,308364*	TUKEY HSD	Zincirsiz	Ön zincirli	-4,46296
		Çift Zincirli	-,065614			Çift Zincirli	,415045
	Ön zincirli	Zincirsiz	,308364*	Ön zincirli	Zincirsiz	4,878	
		Çift Zincirli	,242750		Çift Zincirli	-,415045	
	Çift zincirli	Zincirsiz	,065614	Çift zincirli	Zincirsiz	-4,8780	
		Ön zincirli	-,242750		Ön zincirli	-4,46296	

7.4.4 Yükleyici hizmet süresinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi

TVT ölçümünün alındığı tarih itibarıyla hesaplanmış olan yükleyici hizmet sürelerinin TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Hizmet süresi 5 yıllık gruplara ayrılmış ve yaş grubu aralıklarında aşağıdaki sayıda yükleyici bulunmaktadır;

- 1-5 → 17 yükleyici
- 6-10 → 6 yükleyici
- 11-20 → 5 yükleyici

Varyansların homojenliği testi sonucuna göre titreşim ivmesi ve dozu grup varyanslarının homojen olduğu belirlenmiştir ($Sig_{A(8)} = 0,116$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,058$). 5 yıllık yükleyici hizmet süresi gruplarının betimleyici istatistikleri Çizelge 7.21'de verilmiştir. 6-10 yıl hizmet süreli yükleyicilerin TVT ivmesi ve dozu grup ortalamasının diğer gruplara göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.21 Yükleyici hizmet süresi gruplarının betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Hizmet süresi	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	1-5	17	,92659	,207577	,050345	,451	1,242
	6-10	6	1,00350	,341801	,139540	,564	1,393
	11-20	5	,76960	,186806	,083542	,493	1,001
VDV _{Total}	1-5	17	19,91176	4,235000	22,08920	12,423	28,677
	6-10	6	22,84400	5,358398	28,46729	13,234	28,655
	11-20	5	20,40980	8,369371	30,80175	10,489	29,355

5 yıllık hizmet süresi grupları ANOVA kullanılarak incelendiğinde; H_0 hipotezi kabul edilmiş ve grup ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna varılmıştır ($Sig_{A(8)} = 0,272$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,518$). Yükleyici hizmet süresi grubu ortalamaları arasındaki

farklılık çoklu karşılaştırma tablosunda TVT ivmesi ve dozu için *Tukey* testi baz alınarak ikilik gruplar arasındaki incelenmiştir (Çizelge 7.22). Buna göre titreşim ivmesi ve dozu için gruplar arasında anlamlı bir farklılık yoktur ve yükleyiciler, hizmet süresinden etkilenmemektedir.

Çizelge 7.22 Yükleyici hizmet süresi grupları için çoklu karşılaştırması

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)
TUKEY HSD	1-5	6-10	-,076912	TUKEY HSD	1-5	6-10	-2,932235
		11-20	,156988			11-20	-,498035
	6-10	1-5	,076912		6-10	1-5	2,932235
		11-20	,233900			11-20	2,434200
	11-20	1-5	-,156988		11-20	1-5	,498035
		6-10	-,233900			6-10	-2,434200

7.4.5 Operatör yaşının TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Operatör yaşının TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Bu analizde, operatör yaşları 10 yıllık kategorilere ayrılmış olup gruplarda aşağıdaki sayılarda operatör bulunmaktadır;

- 20-30 → 5 operatör
- 31-40 → 10 operatör
- ≥41 → 13 operatör

Varyansların homojenliği testi sonucuna göre titreşim ivmesi ve dozu için ($Sig_{A(8)} = 0,416$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,850$) grup varyanslarının homojen olduğu kabul edilmiştir. 10 yıllık operatör yaş gruplarının betimleyici istatistikleri Çizelge 7.23'de verilmiştir. 31-40 yaş grubundaki operatörlerin en düşük titreşim ivmesi ve dozuna maruz kaldığı görülmektedir.

Tek yönlü varyans analizi sonuçlarına göre titreşim ivmesi ve dozu için H_0 hipotezi kabul edilmiş ve grupların ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna varılmıştır ($Sig_{A(8)} = 0,677$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,646$). Operatör yaş grubu ortalamaları arasındaki farklılık çoklu karşılaştırma tablosunda titreşim ivmesi ve dozu için *Tukey* testi baz alınarak ikilik gruplar arasındaki incelenmiş ve tüm gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna varılmıştır (Çizelge 7.24).

Çizelge 7.23 Operatör yaş gruplarının betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Yaş grubu	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	20-30	5	,94040	,185778	,083082	,760	1,225
	31-40	10	,85950	,204789	,064760	,493	1,085
	≥41	13	,94800	,289314	,080241	,451	1,393
VDV _{Total}	20-30	5	22,56080	5,012078	2,241469	16,132	28,853
	31-40	10	19,79450	6,068008	1,918873	10,489	29,355
	≥41	13	20,52800	4,928727	1,366983	12,423	28,655

Çizelge 7.24 Operatör yaş grupları için çoklu karşılaştırma

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)
TUKEY HSD	20-30	31-40	,080900	TUKEY HSD	20-30	31-40	2,766300
		≥41	-,007600			≥41	2,032800
	31-40	1-30	-,080900		31-40	1-30	-2,766300
		≥41	-,088500			≥41	-,733500
	≥41	1-30	,007600		≥41	1-30	-2,032800
		31-40	,088500			31-40	,733500

7.4.6 Operatör deneyiminin TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Operatör deneyiminin TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Bu bölümde, 5 yıllık operatör deneyimi grupları için tek yönlü varyans analizi yapılmıştır. Buna göre yaş aralıklarında aşağıdaki sayıda operatör bulunmaktadır;

- 1-5 → 3 operatör
- 6-10 → 12 operatör
- 11-15 → 2 operatör
- 16-20 → 5 operatör
- 21-25 → 6 operatör

Titreşim ivmesi ve dozu değerinin homojen olduğu kabul edilmiştir ($Sig_{A(8)} = 0,347$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,887$). Operatör deneyiminin 5 yıllık gruplarının betimleyici istatistikleri Çizelge 7.25'de verilmiştir. 11-15 yaş grubu operatörlerinin en düşük titreşim ivmesi ve dozuna maruz kaldığı görülmektedir.

Tek yönlü varyans analizi sonuçlarına göre H_0 hipotezi kabul edilmiş ve grupların ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna varılmıştır ($Sig_{A(8)} = 0,479$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,177$). Operatör deneyimi grup ortalamaları arasındaki farklılık çoklu karşılaştırma tablosunda titreşim ivmesi ve dozu için *Tukey* testi baz alınarak ikilik gruplar arasında incelenmiştir (Çizelge 7.26). Buna göre, titreşim ivmesi ve dozu için tüm gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur.

Çizelge 7.25 Operatör deneyimi gruplarının betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Deneyim grubu	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	1-5	3	,92567	,259724	,149951	,760	1,225
	6-10	12	,91650	,166724	,048129	,564	1,219
	11-15	2	,61350	,170413	,120500	,493	,734
	16-20	5	,94820	,299606	,133988	,451	1,242
	21-25	6	,97967	,324522	,132486	,577	1,393
VDV _{Total}	1-5	3	23,72000	6,706432	3,871960	16,132	28,853
	6-10	12	20,65692	4,793368	1,383726	13,234	29,355
	11-15	2	13,01500	3,572303	2,526000	10,489	15,541
	16-20	5	19,44900	4,549015	2,034381	12,423	23,817
	21-25	6	22,54917	5,238389	2,138563	13,735	28,655

Çizelge 7.26 5 yıllık operatör deneyimi grupları için çoklu karşılaştırma

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	
TUKEY HSD	1-5	6-10	,009167	TUKEY HSD	1-5	6-10	3,063083	
		11-15	,312167			11-15	10,705000	
		16-20	-,022533			16-20	4,271000	
		21-25	-,054000			21-25	1,170833	
		6-10	1-5			-,009167	6-10	1-5
	6-10	11-15	,303000		11-15	11-15	7,641917	
		16-20	-,031700		16-20	16-20	1,207917	
		21-25	-,063167		21-25	21-25	-1,892250	
		11-15	1-5		-,312167	11-15	1-5	-10,705000
		6-10	6-10		-,303000	6-10	6-10	-7,641917
	11-15	16-20	-,334700		16-20	16-20	-6,434000	
		21-25	-,366167		21-25	21-25	-9,534167	
		16-20	1-5		,022533	16-20	1-5	-4,271000
		6-10	,031700		6-10	6-10	-1,207917	
		11-15	,334700		11-15	11-15	6,434000	
	16-20	21-25	-,031467		21-25	21-25	-3,100167	
		21-25	1-5		,054000	21-25	1-5	-1,170833
		6-10	,063167		6-10	6-10	1,892250	
		11-15	,366167		11-15	11-15	9,534167	
		16-20	,031467		16-20	16-20	3,100167	

7.4.7 Zemin türünün TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Zemin türünün TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Bu analizde zemin, gevşek ve sıkı olmak üzere 2 gruba ayrılmıştır. Buna göre malzeme grupları aşağıdakilerden oluşmaktadır;

- a) Gevşek zemin → 9 yükleyici
 - a. Gevşek toprak yol
 - b. Gevşek liçleme yığını
 - c. Gevşek kil tumba
 - d. Gevşek kil basamak
- b) Sıkı zemin → 19 yükleyici
 - a. Sıkıştırılmış ayrılmış kayalık tumba
 - b. Sıkıştırılmış ayrılmış kayalık yol
 - c. Sıkıştırılmış ayrılmış kayalık basamak
 - d. Sıkıştırılmış toprak yol
 - e. Sıkıştırılmış toprak basamak
 - f. Sıkıştırılmış az ayrılmış kayalık basamak

Gevşek ve sıkı zemin grup ortalamaları arasındaki farklılık bağımsız örneklem t-testi yöntemi ile incelenmiştir. Grupların istatistikleri Çizelge 7.27’de verilmiştir. Çizelge 7.28 incelendiğinde, A(8) ve VDV_{Total} için grup varyanslarının eşit olduğunu kabul eden önem derecesi değerleri 0,05’ten büyük olduğundan t-testi için varyansların eşit olduğu önem değerleri kontrol edilmiş ve grup ortalamaları arasında TVT ivmesi ve dozu için zeminler arasında fark olmadığı sonucuna varılmıştır (Sig_{A(8)} = 0.080, Sig_{VDV_{Total}} = 0,334). Böylece operatörler zemin türünden bağımsız olarak benzer düzeyde titreşim ivmesi ve dozuna maruz kalmakta olup Çizelge 7.27’de verildiği gibi gevşek zemin, operatörleri daha düşük titreşim ivme ve dozu değerine maruz bırakmaktadır.

Çizelge 7.27 Zemin tipi grupları için grup istatistikleri

Bağımlı değişken	Zemin türü	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata
A(8)	gevşek	9	,82089	,193343	,064448
	sıkı	19	,95963	,252928	,058026
VDV _{Total}	gevşek	9	19,99167	6,305347	2,101782
	sıkı	19	20,93095	4,863052	1,115661

Çizelge 7.28 Zemin tipi grupları için bağımsız örneklem testi

Bağımlı değişken	Varyanslar	Varyansların eşitliği Levene testi		Ortalamaların eşitliği t-testi				
		F	Önem	t	Serb. Dere.	Önem (2 kuyr.)	Ortalama-ların farkı	Farkın standart hatası
A(8)	Eşit	,893	,353	-1,452	26	,159	-,138743	,095579
	Eşit değil			-1,600	20,299	,125	-,138743	,086721
VDV _{Total}	Eşit	,584	,452	-,434	26	,668	-,939281	2,164246
	Eşit değil			-,395	12,695	,700	-,939281	2,379535

7.4.8 Çalışma modunun TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Yükleyici operatörlerinin tesviye modunda ya da normal rutinde çalışması sırasında maruz kaldıkları TVT ivmesi ve dozu düzeylerinin anlamlı biçimde değişip değişmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Bu analizde çalışma bölgesi tesviye ve normal olmak üzere aşağıda 2 gruba ayrılmıştır;

- Tesviye modu → 7 yükleyici
- Normal mod → 21 yükleyici

Tesviye ve normal çalışma grup ortalamaları arasındaki farklılık bağımsız örneklem t-testi yöntemi ile incelenmiştir. Grupların istatistikleri Çizelge 7.29'da verilmiştir. Çizelge 7.30'da, A(8) ve VDV_{Total} için grup varyanslarının eşit olduğunu kabul eden önem derecesi değerleri 0,05'ten büyük olduğundan t-testi için varyansların eşit olduğu önem değerleri kontrol edilmiş ve grup ortalamaları arasında titreşim dozu için fark olmadığına; titreşim ivmesi için de anlamlı bir fark olduğu sonucuna varılmıştır ($Sig_{A(8)} = 0.020$, $Sig_{VDV_{Total}} = 0,382$). Böylece Çizelge 7.29'da verildiği gibi tesviye, operatörleri daha düşük titreşim ivmesine maruz bırakmaktadır.

Çizelge 7.29 Çalışma şekli grupları için grup istatistikleri

Bağımlı değişken	Çalışma türü	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata
A(8)	tesviye	7	,75500	,214552	,081093
	normal	21	,96838	,229443	,050069
VDV _{Total}	tesviye	7	21,15900	7,396183	2,795495
	normal	21	20,45238	4,573246	,997964

Çizelge 7.30 Çalışma modu grupları için bağımsız örneklem testi

Bağımlı değişken	Varyanslar	Varyansların eşitliği Levene testi		Ortalamaların eşitliği t-testi				
		F	Önem	t	Serb. Dere.	Önem (2 kuyr.)	Ortalama-ların farkı	Farkın stan-dart hatası
A(8)	Eşit	,001	,976	-2,162	26	,040	-,213381	,098676
	Eşit değil			-2,239	10,968	,047	-,213381	,095305
VDV _{Total}	Eşit	3,292	,081	,302	26	,765	,706619	2,338580
	Eşit değil			,238	7,590	,818	,706619	2,968286

7.4.9 Taşıma ve dönüş evrelerindeki TVT düzeyi arasında farklılık

Yükleyici operatörlerinin taşıma ve dönüş manevraları sırasında maruz kaldığı TVT ivmesi ve dozu düzeyleri arasında anlamlı bir fark olup olmadığı, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Taşıma ve dönüş verisinin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testi yapılarak değerlendirilmiş ve TVT ivmesi ve dozu verisinin normal dağılıma uygun olduğu belirlenmiştir (Sig. > 0,05).

Taşıma ve dönüş evresi grup ortalamaları arasındaki farklılık bağımsız örneklem t-testi yöntemi ile incelenmiştir. Grupların istatistikleri Çizelge 7.31’de verilmiştir. Dönüş manevrası, operatörleri daha düşük titreşim ivmesine maruz bırakmaktadır. Çizelge 7.32’de, A(8) ve VDV_{Total} için grup varyanslarının eşit olduğunu kabul eden önem derecesi değerleri 0,05’ten büyük olduğundan t-testi için varyansların eşit olduğu önem değerleri kontrol edilmiş ve grup ortalamaları arasında titreşim ivmesi ve dozu için fark olmadığı sonucuna varılmıştır (Sig_{A(8)} = 0,211, Sig_{VDV_{Total}} = 0,130).

Çizelge 7.31 Taşıma ve dönüş evrelerinin grup istatistikleri

Bağımlı değişken	Evre	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata
A(8)	taşıma	21	1,00038	,273565	,059697
	dönüş	24	,94008	,226953	,046327
VDV _{Total}	taşıma	21	21,14648	7,251362	1,582377
	dönüş	24	19,11154	3,897912	,795658

Çizelge 7.32 Taşıma ve dönüş evreleri için bağımsız örneklem testi

Bağımlı değişken	Varyanslar	Varyansların eşitliği Levene testi		Ortalamaların eşitliği t-testi				
		F	Önem	t	Serb. Dere.	Önem (2 kuyr.)	Ortalama-ların farkı	Farkın stan-dart hatası
A(8)	Eşit	,458	,502	,808	43	,423	,060298	,074617
	Eşit değil			,798	39,033	,430	,060298	,075564
VDV _{Total}	Eşit	6,535	,014	1,193	43	,239	2,034935	1,705656
	Eşit değil			1,149	29,739	,260	2,034935	1,771154

8 GREYDERLERİN TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ ve DEĞERLENDİRİLMESİ

8.1 Genel

Bu çalışma kapsamında farklı tip ve modelde toplam 16 adet greyderden TVT maruziyeti ölçümleri alınmış ve analiz edilmiştir. Greyderlerin iş döngüsünün aşağıdaki evrelerden oluştuğu kabul edilerek, ölçümlerin greyderlerin bir tam çevrimini kapsamaya dikkat edilmiş ve greyder iş döngüsünü temsil edecek süre boyunca kayıt alınmıştır.

- a) Tüm kayıt (Whole data); Greyderlerin tipik iş döngüsündeki tüm evreleri kapsayacak biçimde, araç hareketi öncesi ve döngü bitişi sonrası durağan haller de dahil olmak üzere alınan tüm kaydın brüt TVT maruziyetini göstermektedir.
- b) Net kayıt (RECORD); Greyderlerin tipik iş döngüsündeki tüm evreleri kapsamakta ve bu süredeki TVT maruziyetini göstermektedir. Hareketin başında operatörün koltuğa yerleşme ve hareketin sonunda koltuktan kalkma çabaları sırasında koltuk üzerindeki disk tipi ivmeölçer ile kabin zeminindeki ivmeölçere şok etkilerinden kaynaklanabilen çok yüksek titreşim ivmeleri ayıklanarak, analizlerden çıkartılmaktadır. Operatörün genel TVT maruziyetini temsil etmekte ve hesaplarda kullanılmaktadır.
- c) Tesviye (GRADE); Greyderin bıçağı zeminde belirli bir derinlikte iken tesviye etmek için yaptığı hareket sırasında maruz kalınan titreşimi temsil etmek için kaydedilmektedir.
- d) İleri yürüme (FORWARD); Greyderlerin bıçağı zeminden belirli bir mesafe yukarıda ileri yönlü ilerleme hareketi yaparken maruz kalınan titreşimi temsil etmek için kaydedilmektedir.
- e) Geri yürüme (RETURN); Greyderin bıçağı zeminden belirli bir mesafe yukarıda geriye doğru yürüme hareketi yaparken maruz kalınan titreşimi temsil etmek için kaydedilmektedir.
- f) Bekleme (WAIT); Greyder herhangi bir evre içerisinde iken durmak ve motor devinimi askıda iken beklemek durumunda kaldığında, ayrı bir evre olarak alınmakta ve bu sırada maruz kalınan titreşim kaydedilmektedir.

Greyderlerin 10 adedi orta, 6 adedi büyük kapasiteye sahiptir. Çizelge 8.1'de TVT ölçümü alınan greyderlerin işletmelere dağılımı ile temel çalışma özellikleri verilmiştir. Greyderlerin TVT maruziyeti ölçümleri, üç adedi koltuktan (Seat_x, Seat_y, Seat_z), üç adedi de kabin zemininden (Floor_x, Floor_y, Floor_z) olmak üzere toplam altı kanaldan, aracın bir tam çevrimini kapsayacak biçimde gerçekleştirilmiştir. Titreşim analizörü ile frekans ağırlıklı ivme (a_w), titreşim dozu (VDV), maksimum geçici titreşim değeri (MTVV), tepe titreşim ivmesi (PEAK) ve tepe-tepe titreşim ivmesi (P-P) ölçülerek, değerlendirilmiştir. Kayıt süreleri 06 dakika 20 saniye ile 21 dakika 54 saniye arasında değişmiştir. ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca TVT maruziyeti değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılan parametrelerin değerleri, koltuk ve zemin için hesaplanmıştır.

Çizelge 8.1 Greyderlerin temel bilgileri

İşletme	Greyder	Hizmete giriş	Malzeme sınıfı	Yürüme aksamı	Boyut
Hazır Beton İşletmesi	No_19	2003	Sıkıştırılmış_toprak_yol	Tekerlekli	Orta
Yol inşaatı	No_59	2013	Sıkıştırılmış_toprak_yol	Tekerlekli	Orta
Yol inşaatı	No_64	1986	Sıkıştırılmış_toprak_yol	Tekerlekli	Orta
Kil ocağı	No_101	1978	Sıkıştırılmış_toprak_yol	Tekerlekli	Orta
Kömür İşletmesi	No_111	1999	Sıkıştırılmış_ayrışmış_kayaç_tumba	Tekerlekli	Büyük
Kömür İşletmesi	No_112	1998	Sıkıştırılmış_ayrışmış_kayaç_tumba	Tekerlekli	Büyük
Demir İşletmesi	No_143	1982	Sıkıştırılmış_toprak_basamak	Tekerlekli	Orta
Altın İşletmesi	No_154	2005	Sıkıştırılmış_az_ayrışmış_kayaç_tumba	Tekerlekli	Orta
Altın İşletmesi	No_156	2005	Sıkıştırılmış_toprak_basamak	Tekerlekli	Orta
Altın İşletmesi	No_169	2014	Sıkıştırılmış_az_ayrışmış_kayaç_tumba	Tekerlekli	Orta
Yol inşaatı	No_181	2011	Sıkıştırılmış_toprak_yol	Tekerlekli	Orta
Kömür İşletmesi	No_222	1997	Sıkıştırılmış_az_ayrışmış_kayaç_tumba	Tekerlekli	Büyük
Kömür İşletmesi	No_234	1997	Sıkıştırılmış_az_ayrışmış_kayaç_tumba	Tekerlekli	Büyük
Kömür İşletmesi	No_240	1997	Sıkıştırılmış_az_ayrışmış_kayaç_basamak	Tekerlekli	Büyük
Kömür İşletmesi	No_286	1982	Sıkıştırılmış_az_ayrışmış_kayaç_tumba	Tekerlekli	Orta
Kömür İşletmesi	No_302	2010	Sıkıştırılmış_az_ayrışmış_kayaç_basamak	Tekerlekli	Büyük

8.2 Net Kayıt (RECORD) Evresi

8.2.1 Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme

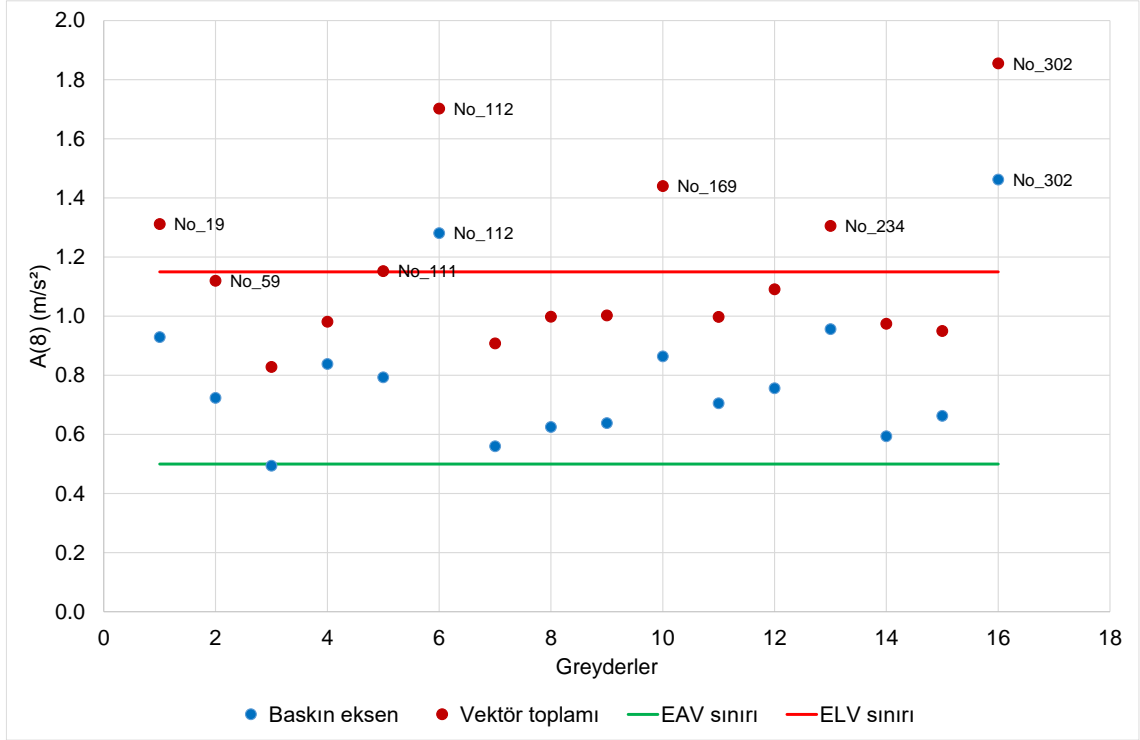
Greyderlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri en kötü durum eksenini üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $A(8)_{\text{Seat}}$, ortalama ve standart sapması $(0,805 \pm 0,250)$ m/s^2 olacak biçimde $0,494 \text{ m/s}^2$ ile $1,462 \text{ m/s}^2$ arasında değişmiştir. Diğer yandan greyderlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde Vector_{1-3} , ortalama ve standart sapması $(1,164 \pm 0,281)$ m/s^2 olacak biçimde $0,828 \text{ m/s}^2$ ile $1,855 \text{ m/s}^2$ arasında değişmiştir.

En yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum eksenini 3 greyderde X eksenini (Ch1), 3 greyderde Y eksenini (Ch2), 10 greyderde ise Z eksenini (Ch3) olmuştur. Tüm greyderlerin en kötü durum eksenini ve vektör toplamı ölçütlerine göre $A(8)_{\text{Seat}}$ değerlerinin EAV ve ELV sınırları ile karşılaştırılması Şekil 8.1'de sunulmuştur.

Greyder operatörlerinin maruz kaldığı TVT ivmesi, EU 2002/44/EC direktifi ve ISO 2631-1 (1997) standardında verilen EAV ve ELV sınırları bakımından incelendiğinde, en kötü durum ölçütüne göre araçların oldukça büyük bölümü EAV ve HGCZ sınırları (dikkat bölgesi) içinde kalmaktadır (Çizelge 8.2). Ancak vektör toplamı ölçütü dikkate alındığında daha koruyucu eşiklere sahip olan ISO 2631-1 (1997) standardında greyderlerin tümüne yakını ELV ve HGCZ sınırını aşmaktadır. Bu durumun bir diğer nedeni de çoğu greyderin EKDE ölçütüne göre $A(8)$ ortalamasının ELV sınırının hemen altında olmasıdır. VT ölçütü uyarınca her üç ekseninden vücuda iletilen titreşim enerjisi dikkate alındığında ortalama, kolayca ELV bölgesine çıkmaktadır.

Greyderlerin maruziyet eylem değerine erişim süresi ($\text{EAV}_{\text{TT(RMS)}}$), en kötü durum eksenini üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması $(03:50:41 \pm 01:51:29)$ sa olacak biçimde $00:56:09$ sa ile $08:11:20$ sa arasında değişmiştir. Diğer yandan greyderlerin maruziyet sınır değerine erişim süresi ($\text{ELV}_{\text{TT(RMS)}}$), en kötü durum eksenini üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması $(20:20:18 \pm 09:49:45)$ sa olacak biçimde $04:56:59$ sa ile $43:19:09$

sa arasında değişmiştir. Bu durumda toplam 16 greyderden 15 adedi 8 saatlik vardiya süresi bitmeden operatörü maruziyet eylem değerine ulaştıracak kadar titreşime maruz bırakırken 2 adedi maruziyet sınır değerine erişmektedir.



Şekil 8.1 Greyderlerin A(8) değerleri

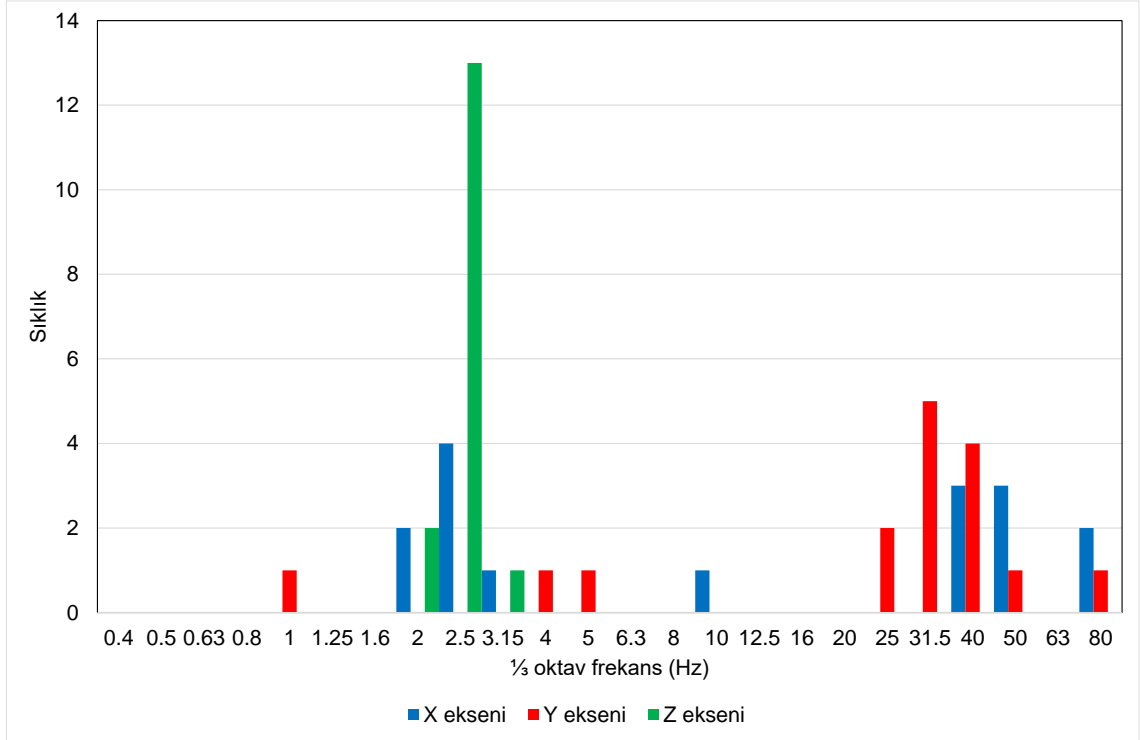
Çizelge 8.2 Greyder operatörlerinin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi

Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		Bölge	ISO2631-1 HGCZ Bölgesi	
	EKDE	VT	EKDE	VT		EKDE	VT
EAV altında	1	0	0	0	HGCZ altında	0	0
EAV içinde	13	10	12	1	HGCZ içinde	12	1
ELV üstünde	2	6	4	15	HGCZ üstünde	4	15

Net kayıt evresinde operatör koltuğunda X, Y ve en kötü durum Z ekseninde sırasıyla 10, 5 ve 11 greyderin doruk faktörü 9'dan büyük çıkmıştır. Böylece operatörlerin sağlık riski ciddiyeti değerlendirmelerinin, titreşim ivmesi yanında titreşim dozu da dikkate alınarak yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Doruk faktörü	Seatx	Seay	Seaz
En küçük	6,062	5,723	6,093
En büyük	13,356	14,909	34,420
Ortalama	9,323	8,729	14,670
Standart sapma	1,833	2,382	7,138
≥9	10	5	11
<9	6	11	5

Greyder operatörlerinin maruz kaldığı TVT ivmesine ait frekans spektrumu $\frac{1}{3}$ oktav bant dağılımı ile değerlendirildiğinde 0,4 Hz ile 80 Hz arasındaki merkez bant frekanslarına göre her ikisi de yatay düzlemdeki ortogonal eksenler boyunca oluşan titreşimin X ekseninde 2 Hz – 80 Hz aralığına, Y ekseninde 25 Hz – 80 Hz aralığına yoğunlaştığı görülmektedir. Diğer yandan, Z eksenini incelendiğinde baskın frekans 2 Hz – 3,15 Hz aralığındadır. Her üç eksendeki TVT ivmelerine ait baskın frekans dağılımı Şekil 8.2’de verilmiştir.



Şekil 8.2 Greyderlerin A(8) değerlerinin $\frac{1}{3}$ oktav baskın frekansları

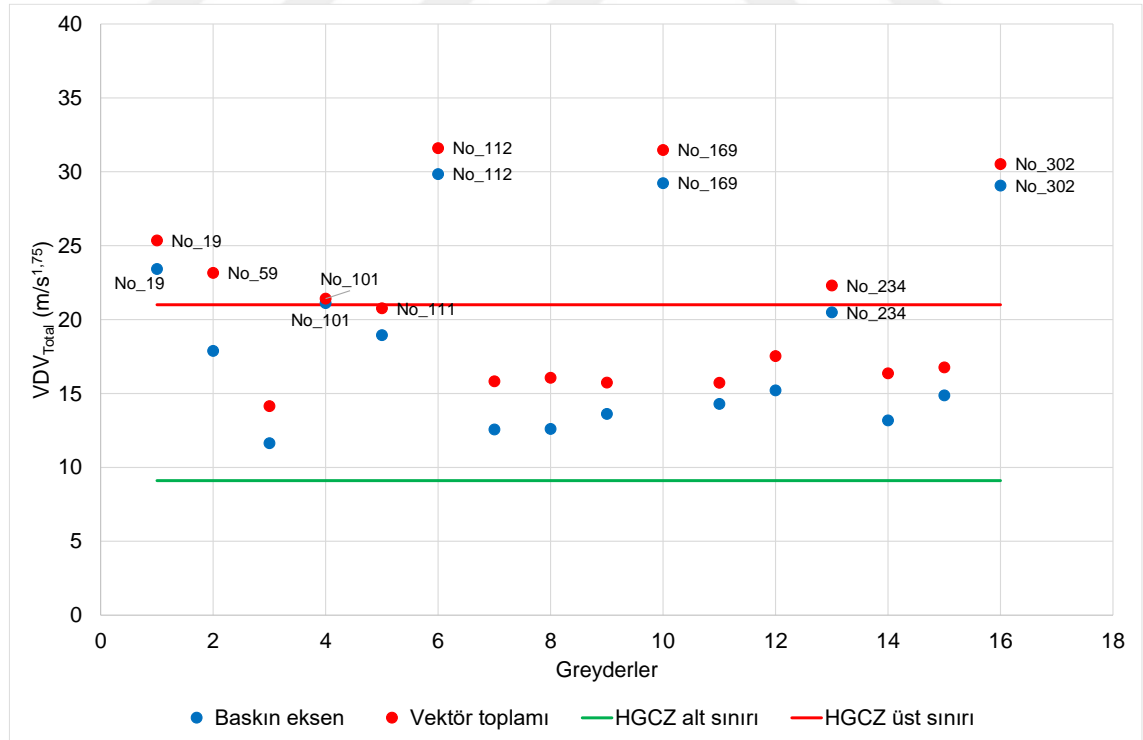
Operatör koltuğunun titreşim sönümlenme özelliğini gösteren koltuk etkinliği genlik geçirgenliği (SEAT) faktörü X eksenini için 0,806 ile 2,523 arasında, Y eksenini için 0,715 ile 1,513 arasında ve Z eksenini için 0,716 ile 1,599 arasında değişmiştir. Her üç ekseninde de zeminde oluşan titreşim greyderlerin bir kısmında koltukta sönümlenirken, bir kısmında şiddetlenmiştir. Buna göre titreşim, X ve Y eksenlerinde 1 greyderde sönümlenirken 15 greyderde şiddetlenmiştir. Ancak Z ekseninde zeminde oluşan titreşim 6 greyderde koltukta sönümlenirken, 10 greyderde şiddetlenmiştir. Greyderlerin operatör koltuğu her üç ekseninde de titreşimi sönümleyememekte ancak şiddetlendirerek, operatöre iletmektedir.

8.2.2 Titreşim dozu üzerinden değerlendirme

Greyderlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT dozu değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde VDV_{Total} , ortalama ve standart sapması $(18,625 \pm 6,132) \text{ m/s}^{1,75}$ olacak biçimde $11,641 \text{ m/s}^{1,75}$ ile $29,848 \text{ m/s}^{1,75}$ arasında değişmiştir. Diğer yandan greyderlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $Vector_{1-3}$, ortalama ve standart sapması $(20,922 \pm 5,825) \text{ m/s}^{1,75}$ olacak biçimde $14,145 \text{ m/s}^{1,75}$ ile $31,598 \text{ m/s}^{1,75}$ arasında değişmiştir.

En yüksek titreşim dozu kaydedilen en kötü durum eksenini 3 greyderde X (Ch1) ve 13 greyderde Z eksenini (Ch3) olmuştur. Tüm greyderlerin en kötü durum eksenini ve vektör toplamı ölçütlerine göre VDV_{Total} değerlerinin HGZ sınırları ile karşılaştırılması Şekil 8.3'de sunulmuştur.

Greyderlerin BS 6841 (1987), ISO 2631-1 (1997) standartları ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum ölçütü dikkate alındığında ELV ve EAV bölgelerine eşite yakın oranda saçıldıkları görülmektedir. Vektör toplamı ölçütüne göre ise EAV bölgesinden ELV bölgesine geçilmiş ve daha fazla sayıda greyder, bu bölgede yer almıştır. Bu durum BS 6841 (1987) standardı uyarınca değerlendirme yapıldığında da geçerlidir (Çizelge 8.3).



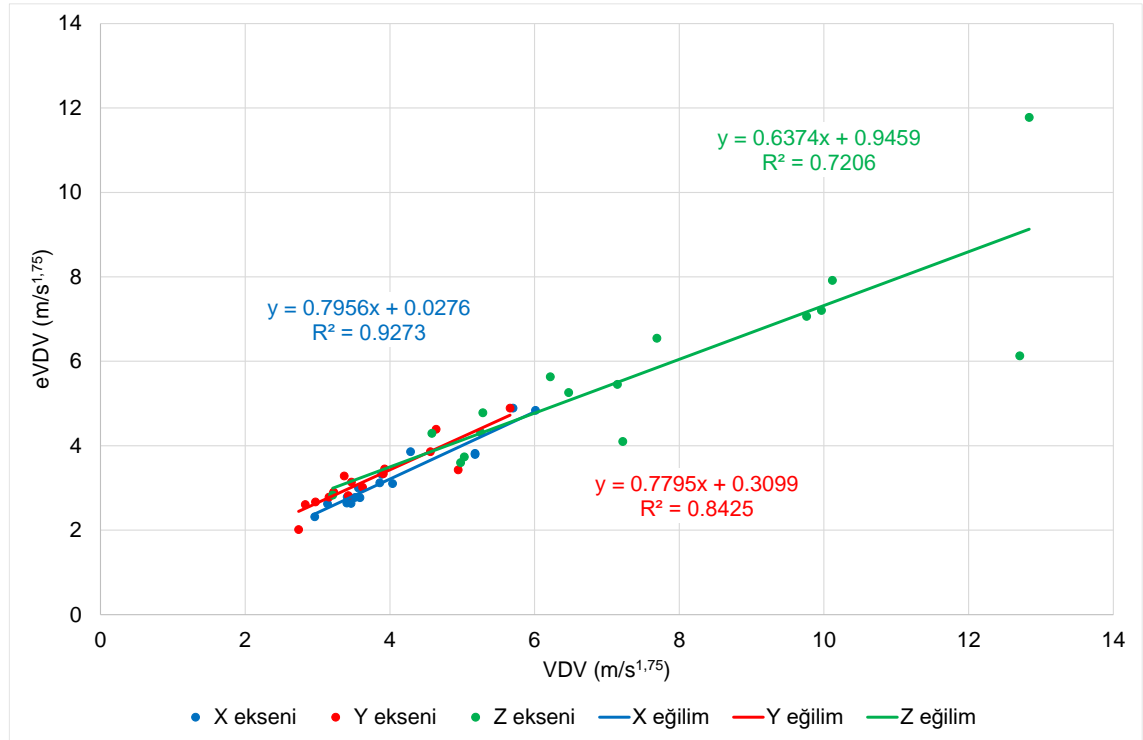
Şekil 8.3 Greyderlerin VDV_{Total} değerleri

Çizelge 8.3 Greyder operatörlerinin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi

Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)	
	EKDE	VT	EKDE	VT	EKDE	VT
EAV altında	0	0	0	0	7	1
EAV içinde	11	9	8	7	-	-
ELV üstünde	5	7	8	9	9	15

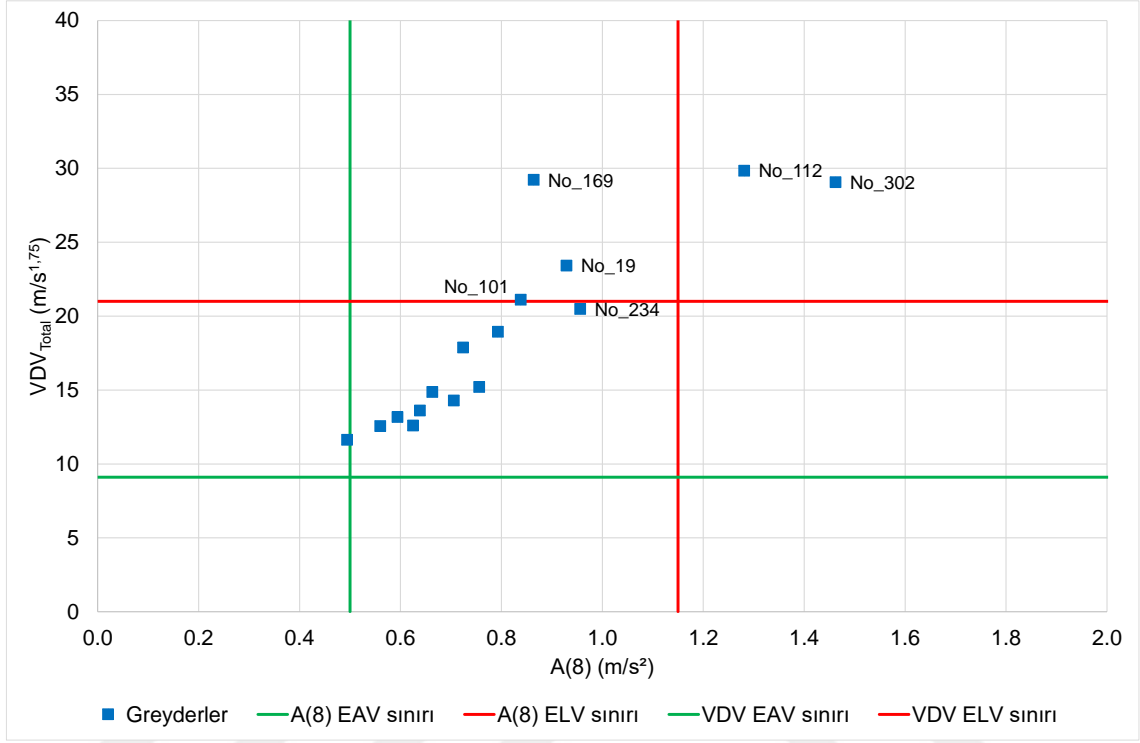
Çalışmada örneklenen 16 adet greyderin X ve Z eksenlerinde tümü, Y ekseninde ise 15 adedinde doruk faktörü 6'dan büyük çıkmıştır. Greyder operatörleri çalışma sırasında şoklara maruz kalmaktadır. Greyderlerin kestirilen titreşim dozu değeri (eVDV, $m/s^{1.75}$) BS 6841 (1987) standardı uyarınca hesaplanmış ve ölçülen VDV ile ilişkisi tüm eksenler için Şekil 8.4'de verilmiştir. Her üç veri gurubu için doğrusal regresyon analizi yapılmış olup, belirlilik katsayıları %72,06 ile %92,73 arasında değişmekte ve beklendiği gibi, regresyon eşitliğinin güçlü olduğuna işaret etmektedir.

Greyderlerin maruziyet eylem değerine erişim süresi ($EAV_{TT(VDV)}$), en kötü durum eksenini üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması ($01:00:42 \pm 00:53:27$) sa olacak biçimde $00:04:09$ sa ile $02:59:13$ sa arasında değişmiştir. Diğer yandan greyderlerin maruziyet sınır değerine erişim süresi ($ELV_{TT(VDV)}$), en kötü durum eksenini üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması ($28:41:36 \pm 25:15:38$) sa olacak biçimde $01:57:37$ sa ile $82:42:46$ sa arasında değişmiştir. Greyderlerin tümü vardiya bitmeden operatörü maruziyet eylem değerine eriştirirken, 5 adedi ise maruziyet sınır değerine eriştirmektedir.



Şekil 8.4 Greyderlerin VDV – eVDV ilişkisi

Greyder operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ve VDV_{total} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 8.5'de sunulmuştur. A(8) ELV sınırını aşan 2, VDV_{total} üst sınırını aşan 5 greyder ve her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan 2 greyder bulunmaktadır.



Şekil 8.5 Greyder operatörlerinin A(8) – VDV_{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki

8.2.3 Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme

Greyder operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri kullanılarak hesaplanan S_{ed} değerleri ortalama ve standart sapması $(0,618 \pm 0,325)$ MPa olacak biçimde 0,217 MPa ile 1,474 MPa arasında değişmiştir. Diğer yandan greyder operatörlerinin R(IOP) faktörleri, ortalama ve standart sapması $(0,482 \pm 0,212)$ olacak biçimde 0,186 ile 0,930 arasında, R(TOP) faktörleri ortalama ve standart sapması $(0,733 \pm 0,406)$ olacak biçimde 0,272 ile 1,843 arasında değişmiştir.

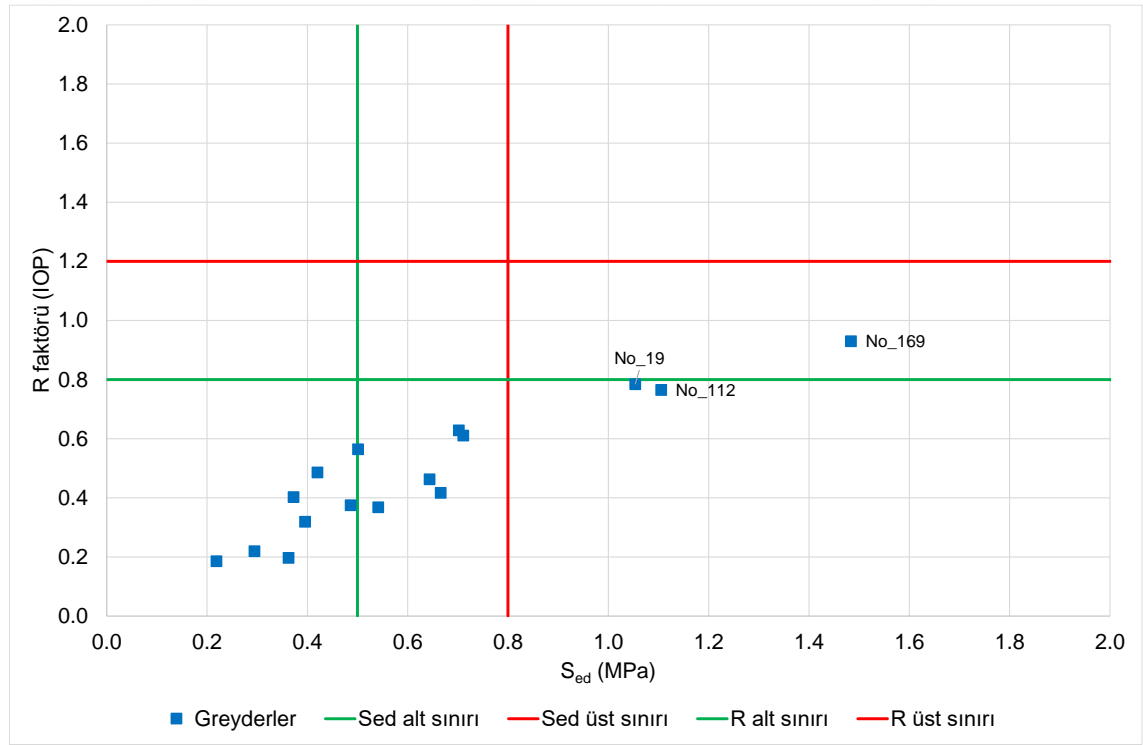
Tüm greyder operatörleri eşdeğer statik basınç dozu değeri (S_{ed}) ölçütüne göre değerlendirildiğinde; 8 operatör 0,5 MPa'dan düşük basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı düşük, 5 operatör 0,5 MPa – 0,8 MPa arası basınca maruz kaldığından titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı orta ve 3 operatör 0,8 MPa'dan yüksek basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı büyüktür.

Greyder operatörleri günlük risk faktörü ölçütüne göre değerlendirildiğinde; 15 operatörün R faktörü 0,8'den düşük olup sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığı düşük ve 1 operatörün R faktörü 0,8 – 1,2 arası olduğundan sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığı orta düzeydedir. Greyder operatörlerinin her iki ölçüte göre risk sınırları ile karşılaştırılması Şekil 8.6'da

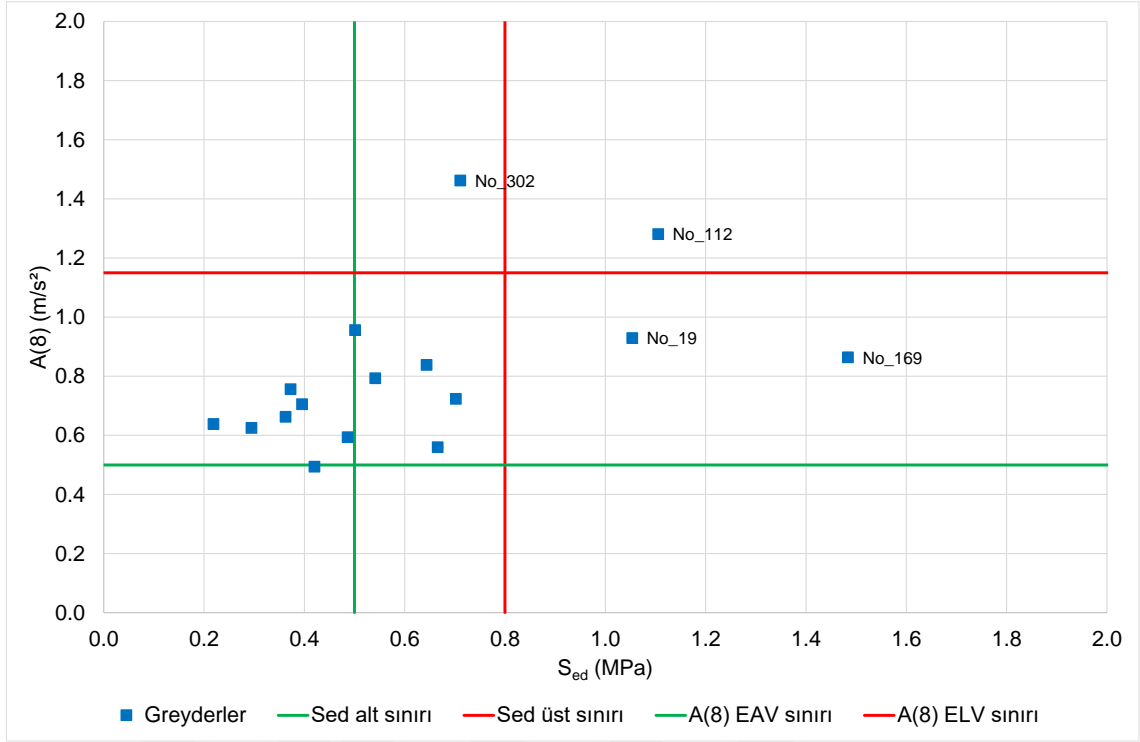
sunulmuştur. S_{ed} üst sınırını aşan 3 greyder varken R üst sınırını geçen greyder yoktur. Böylece her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan greyder bulunmamaktadır.

Greyder operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 8.7’de sunulmuştur. A(8) ELV sınırını aşan 2 greyder, S_{ed} üst sınırını aşan 3 greyder ve her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan yalnızca 1 adet greyder bulunmaktadır.

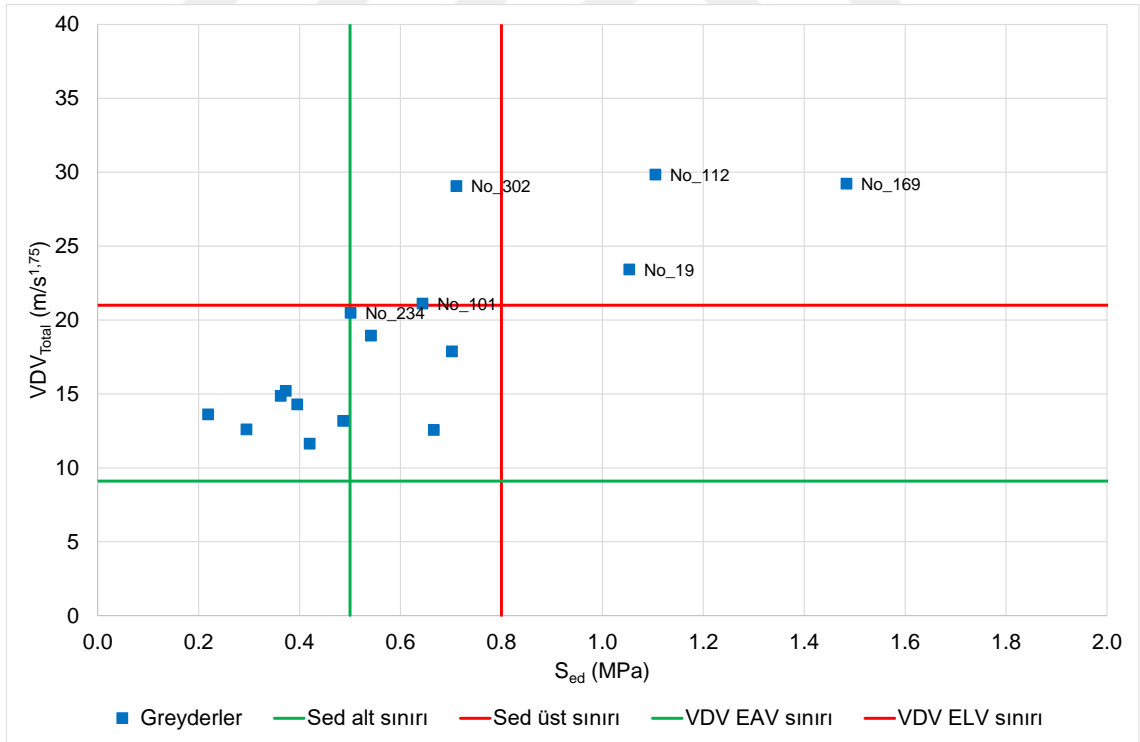
Greyder operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) VDV_{Total} ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 8.8’de sunulmuştur. VDV_{Total} ELV sınırını aşan 5 greyder, S_{ed} üst sınırını aşan 3 greyder ve her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan 3 adet greyder bulunmaktadır.



Şekil 8.6 Greyder operatörlerinin S_{ed} – R faktörü ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki



Şekil 8.7 Greyder operatörlerinin S_{ed} – $A(8)$ ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki



Şekil 8.8 Greyder operatörlerinin S_{ed} – VDV_{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki

8.3 Evrelerin Değerlendirilmesi

8.3.1 Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme

Greyderlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $A(8)_{\text{Seat}}$, Vector_{1-3} , $\text{EAV}_{\text{TT(RMS)}}$ ve $\text{ELV}_{\text{TT(RMS)}}$ değerleri Çizelge 8.4'de verilmektedir. Bekleme haricindeki evre değerlerinin benzer olduğu tabloda en yüksek TVT maruziyeti manevra evresinde meydana gelmiştir. Tüm greyderlerin en kötü durum eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre $A(8)_{\text{Seat}}$ değerlerinin EAV ve ELV sınırları ile karşılaştırılması Şekil 8.9a-e'de sunulmuştur.

Çizelge 8.4 Greyder döngü evrelerinde titreşim ivmesi parametreleri

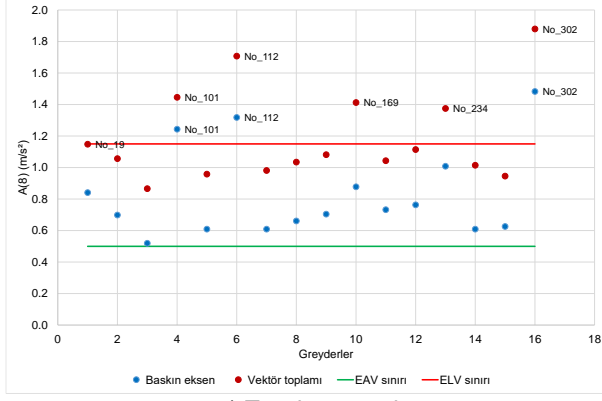
Evre	A(8) (m/s ²)				Vektör ₁₋₃ (m/s ²)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Tesviye	0,831	0,277	0,519	1,483	1,191	0,282	0,866	1,880
İleri yürüme	0,748	0,370	0,256	1,312	1,135	0,536	0,413	1,769
Geri yürüme	0,722	0,179	0,489	1,074	1,112	0,273	0,789	1,602
Manevra	0,903	0,257	0,646	1,159	1,250	0,206	1,044	1,456
Bekleme	0,186	0,136	0,057	0,599	0,233	0,152	0,074	0,652
	EAV _{TT(RMS)} (sa)				ELV _{TT(RMS)} (sa)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Tesviye	03:42:26	01:46:37	00:54:34	07:24:49	19:36:41	09:23:58	04:48:38	>24
İleri yürüme	09:09:04	09:53:22	01:09:43	>24	>24	>24	06:08:47	>24
Geri yürüme	04:34:27	02:11:29	01:44:02	08:22:40	>24	11:35:35	09:10:20	>24
Manevra	03:08:27	01:39:07	01:29:20	04:47:33	16:36:52	08:44:17	07:52:34	>24
Bekleme	>24	>24	05:34:27	>24	>24	>24	>24	>24

Greyderlerin EU 2002/44/EC direktifi ve ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum ölçütü dikkate alındığında araçların büyük bölümünün EAV ve HGCZ sınırları (dikkat bölgesi) içinde olduğu görülmektedir (Çizelge 8.5). Bekleme evresinde tüm greyderler EAV sınırı altındadır.

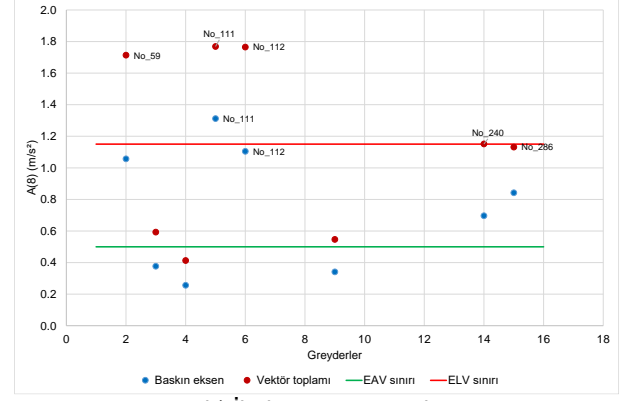
Çizelge 8.6'da en yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum ekseninin tüm evreler için değerleri verilmektedir. Tüm evrelerde en kötü durum eksen Z eksen (Ch3) olmuştur.

Doruk faktörleri eksenler ve evreler bazında Çizelge 8.7'de verilmiştir. Tüm evrelerde yatay düzlemdeki X ve Y eksenleri üzerinde greyderlerin hemen tümüne yakın bölümünde titreşim maruziyeti şok içermezken, Z eksen boyunca oluşan TVT maruziyeti yüksek şoklar içermiştir.

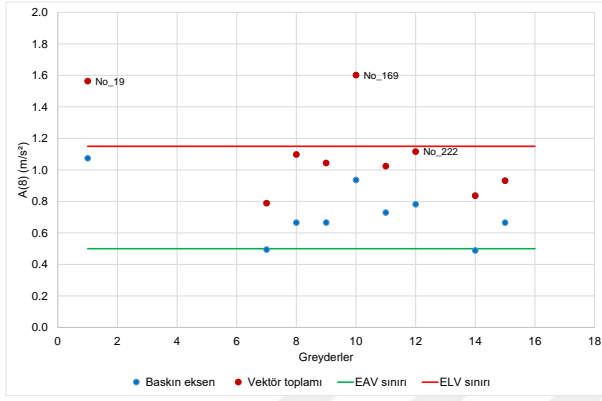
Sürücü koltuğunun titreşim sönmüleme özelliğini gösteren koltuk etkinliği genlik geçirgenliği (SEAT) faktörü evreler bazındaki değerleri Çizelge 8.8'de verilmiştir. Tüm evrelerde ve tüm eksenlerde zeminde oluşan titreşim, greyderlerin oldukça büyük bölümünde koltukta şiddetlenmiştir.



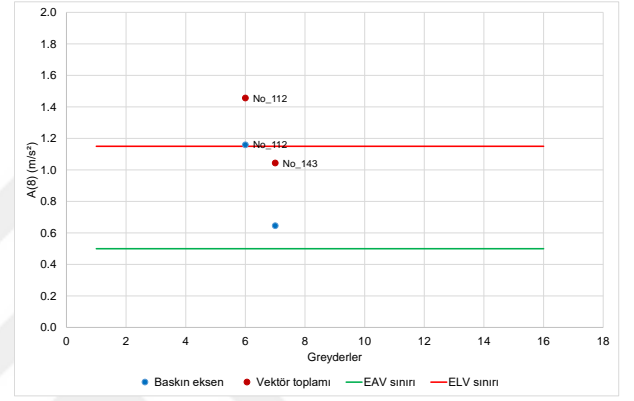
a) Tesviye evresi



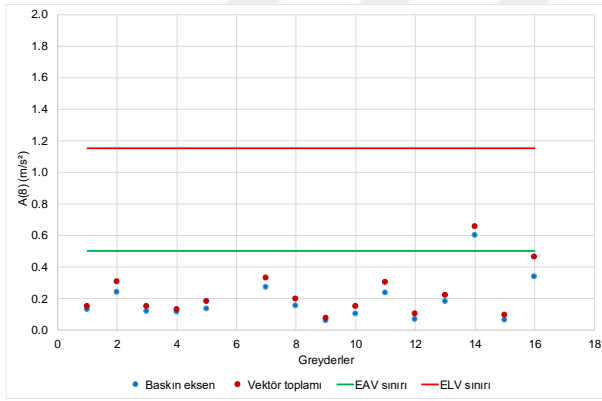
b) İleri yürüme evresi



c) Geri yürüme evresi



d) Manevra evresi



e) Bekleme evresi

Şekil 8.9 Greyder evrelerinde A(8) değerleri

Çizelge 8.5 Greyder döngü evrelerinde operatörlerin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi

Evre	Bölge	EU 2002/44/EC (2002)		ISO 2631-1 (1997)		Bölge	ISO2631-1 HGCZ Bölgesi	
		EKDE	VT	EKDE	VT		EKDE	VT
Tesviye (16 araç)	EAV altında	0	0	0	0	HGCZ altında	0	0
	EAV içinde	13	11	12	1	HGCZ içinde	11	1
	ELV üstünde	3	5	4	15	HGCZ üstünde	5	15
İleri yürüme (8 araç)	EAV altında	3	1	3	1	HGCZ altında	3	1
	EAV içinde	4	3	2	2	HGCZ içinde	2	2
	ELV üstünde	1	4	3	5	HGCZ üstünde	3	5
Geri yürüme (9 araç)	EAV altında	2	0	0	0	HGCZ altında	0	0
	EAV içinde	7	7	7	2	HGCZ içinde	7	2
	ELV üstünde	0	2	2	7	HGCZ üstünde	2	7
Manevra (2 araç)	EAV altında	0	0	0	0	HGCZ altında	0	0
	EAV içinde	1	1	1	0	HGCZ içinde	1	0
	ELV üstünde	1	1	1	2	HGCZ üstünde	1	2
Bekleme (15 araç)	EAV altında	14	14	14	13	HGCZ altında	14	13
	EAV içinde	1	1	1	2	HGCZ içinde	1	2
	ELV üstünde	0	0	0	0	HGCZ üstünde	0	0

Çizelge 8.6 Greyder döngü evrelerinde A(8) değerine göre en kötü durum eksenleri

Evre	Greyder adedi		
	X (Ch1)	Y (Ch2)	Z (Ch3)
Tesviye	3	3	10
İleri yürüme	2	1	5
Geri yürüme	2	1	6
Manevra	-	-	2
Bekleme	2	6	7

Çizelge 8.7 Greyder döngü evrelerinde titreşim ivmesi doruk faktörleri

Doruk faktörü	Tesviye			İleri yürüme			Geri yürüme		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	5,841	4,945	5,742	4,990	5,249	5,015	5,426	5,335	5,257
En büyük	9,654	12,132	18,448	8,902	9,412	31,958	10,530	8,672	28,426
Ortalama	7,741	7,308	10,039	6,797	7,083	12,549	7,448	6,714	10,547
Std. sapma	1,287	1,566	3,886	1,165	1,273	8,021	1,730	0,982	7,204
≥9	4	1	8	-	1	5	2	-	3
<9	12	15	8	8	7	3	7	9	6
Doruk faktörü	Manevra			Bekleme					
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z			
En küçük	4,263	3,609	4,129	4,909	4,442	3,611			
En büyük	4,870	5,026	5,245	20,091	15,596	41,710			
Ortalama	4,567	4,317	4,687	9,840	7,413	14,220			
Std. sapma	0,303	0,709	0,558	4,402	2,925	11,353			
≥9	-	-	-	7	4	8			
<9	2	2	2	8	11	7			

Çizelge 8.8 Greyder döngü evrelerinde titreşim ivmesi SEAT faktörleri

SEAT faktörü	Tesviye			İleri yürüme			Geri yürüme		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	1,105	1,008	0,662	0,212	0,151	0,261	1,101	1,215	0,773
En büyük	2,728	1,481	1,629	2,068	2,224	1,497	1,514	1,459	1,424
<1	-	-	4	2	2	2	-	-	4
≥1	16	16	12	6	6	6	9	9	5

SEAT faktörü	Manevra			Bekleme		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	1,094	1,303	0,832	0,454	0,364	0,264
En büyük	1,219	1,537	1,403	16,375	10,000	12,474
<1	-	-	1	1	1	4
≥1	2	2	1	14	14	11

8.3.2 Titreşim dozu üzerinden değerlendirme

Greyderlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT dozu değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde VDV_{Total} , $Vector_{1-3}$, EAV ve ELV değerleri Çizelge 8.9'da verilmektedir. Bekleme evresi haricindeki evrelerde benzer TVT dozu maruziyeti oluşmaktadır. Greyderlerin en kötü durum eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre VDV_{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması Şekil 8.10a-e'de sunulmuştur.

Greyderlerin BS 6841 (1987), ISO 2631-1 (1997) standartları ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum eksen ölçütü dikkate alındığında araçların büyük bölümünün EAV bölgesi içinde ya da altında olduğu görülmektedir (Çizelge 8.10). Vektör toplamı ölçütü açısından değerlendirme yapıldığında, ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) sınırlarına göre EAV ile ELV bölgeleri arasında önemli geçişler bulunmamaktadır. Bu da, eksenlerden birisinde kaydedilen TVT dozunun diğer ikisinden önemli oranda büyük olduğuna işaret etmektedir. BS 6841 (1987) standardı uyarınca değerlendirme yapıldığında en yüksek TVT dozu kaydedilen tesviye ve geri yürüme evrelerinde tehlike sınırı olan $15 \text{ m/s}^{1,75}$ altındaki ve üzerindeki bölgelerdeki greyder adetlerinin yer değiştirdiği görülmektedir.

Çizelge 8.11'de tüm evrelerde en yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum eksenleri verilmektedir. Tüm evrelerde en kötü durum eksen Z eksen (Ch3) olmuştur.

Greyderlerin kestirilen titreşim dozu değeri (eVDV, $\text{m/s}^{1,75}$) BS 6841 (1987) standardı uyarınca hesaplanmış, VDV ile arasındaki ilişki ve evrelerdeki doruk faktörleri Çizelge 8.12'de verilmiştir. Manevra dışındaki tüm evrelerde operatörlerin büyük kısmı şoklara maruz kalmaktadır. Belirlilik katsayıları %45 ile %99 arasında güçlü ilişkiye işaret etmektedir. Her üç eksen için VDV – eVDV ilişkisi Şekil 8.11a-e'de verilmiştir.

Greyder operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile VDV_{total} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 8.12'de sunulmuştur. Tesviye evresinde 3, ileri yürüme evresinde 1 adet greyder her iki ölçütün üst sınırı aşmış olup, olumsuz sağlık riski bakımından yüksek olasılığa işaret etmektedir.

Çizelge 8.9 Greyder döngü evrelerinde titreşim dozu parametreleri

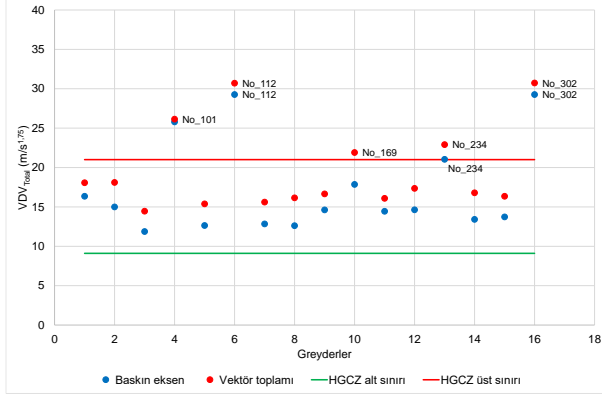
Evre	VDV _{Total} (m/s ^{1,75})				Vektör ₁₋₃ (m/s ^{1,75})			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Tesviye	17,212	5,712	11,875	29,269	19,588	5,168	14,464	30,729
İleri yürüme	18,757	9,124	7,486	34,179	21,337	10,386	8,961	37,143
Geri yürüme	17,507	8,704	9,588	37,279	19,684	8,567	11,983	39,005
Manevra	16,303	4,249	12,054	20,552	18,148	3,262	14,886	21,409
Bekleme	5,746	4,909	1,034	17,890	6,023	4,923	1,117	17,913
	EAV _{TT(VDV)} (sa)				ELV _{TT(VDV)} (sa)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Tesviye	01:10:58	00:48:39	00:04:29	02:45:31	>24	22:55:13	02:07:12	>24
İleri yürüme	03:52:45	05:44:22	00:02:25	17:27:52	>24	>24	01:08:24	>24
Geri yürüme	01:58:22	01:57:13	00:01:42	06:29:29	>24	>24	00:48:20	>24
Manevra	01:27:10	01:08:44	00:18:27	02:35:54	>24	>24	08:43:12	>24
Bekleme	>24	>24	00:32:08	>24	>24	>24	15:11:17	>24

Çizelge 8.10 Greyder döngü evrelerinde operatörlerin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi

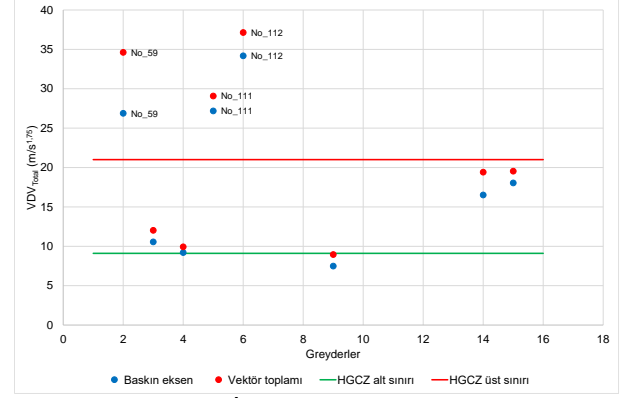
Evre	Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)	
		EKDE	VT	EKDE	VT	EKDE	VT
Tesviye	EAV altında	0	0	0	0	10	1
	EAV içinde	12	11	11	8	-	-
	ELV üstünde	4	5	5	8	6	15
İleri yürüme	EAV altında	1	1	1	0	3	3
	EAV içinde	4	4	3	3	-	-
	ELV üstünde	3	3	4	5	5	5
Geri yürüme	EAV altında	0	0	0	0	6	2
	EAV içinde	7	7	7	5	-	-
	ELV üstünde	2	2	2	4	3	7
Manevra	EAV altında	0	0	0	0	1	1
	EAV içinde	2	1	1	1	-	-
	ELV üstünde	0	1	1	1	1	1
Bekleme	EAV altında	10	10	10	10	14	14
	EAV içinde	5	5	4	4	-	-
	ELV üstünde	0	0	1	1	1	1

Çizelge 8.11 Greyder döngü evrelerinde VDV_{Total} değerine göre en kötü durum eksenleri

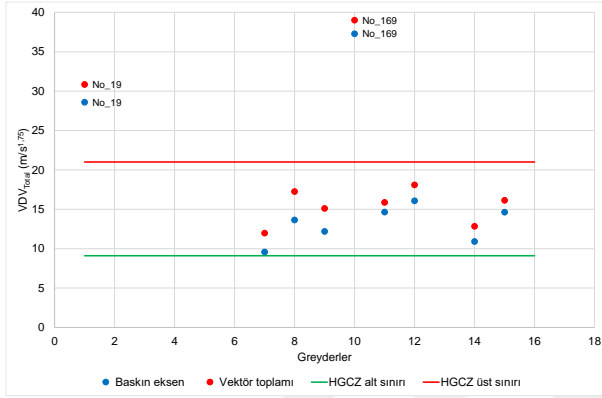
Evre	Greyder adedi		
	X (Ch1)	Y (Ch2)	Z (Ch3)
Tesviye	6	-	10
İleri yürüme	1	-	7
Geri yürüme	2	1	6
Manevra	-	1	1
Bekleme	3	5	7



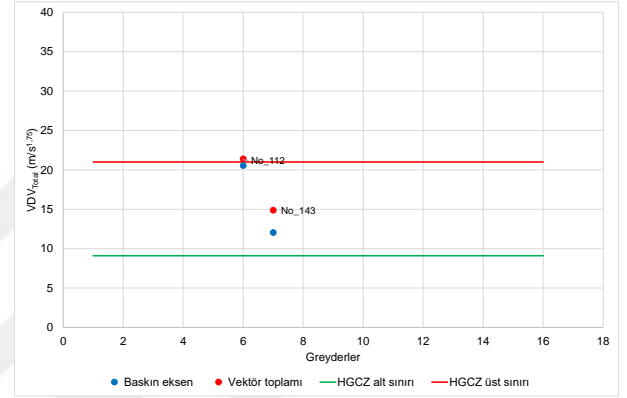
a) Tesviye evresi



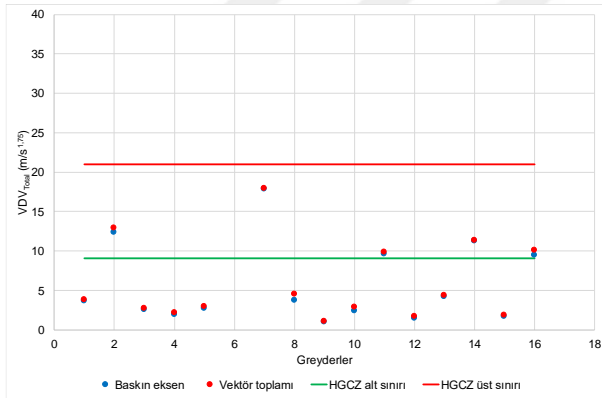
b) İleri yürüme evresi



c) Geri yürüme evresi

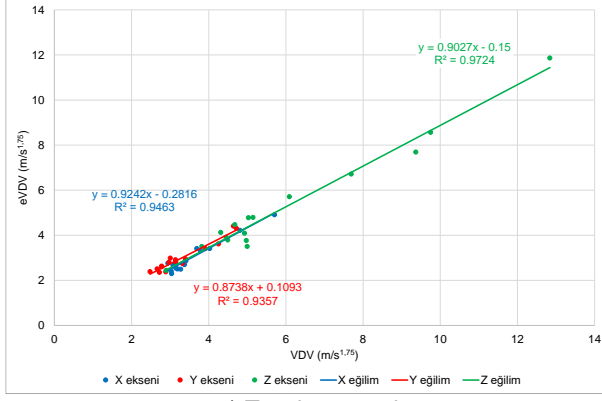


d) Manevra evresi

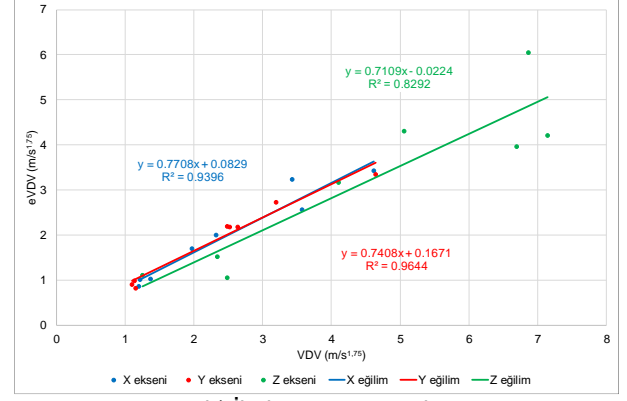


e) Bekleme evresi

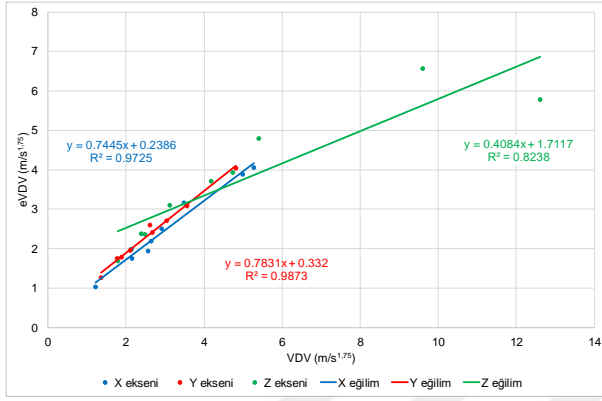
Şekil 8.10 Greyder evrelerinde VDV_{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması



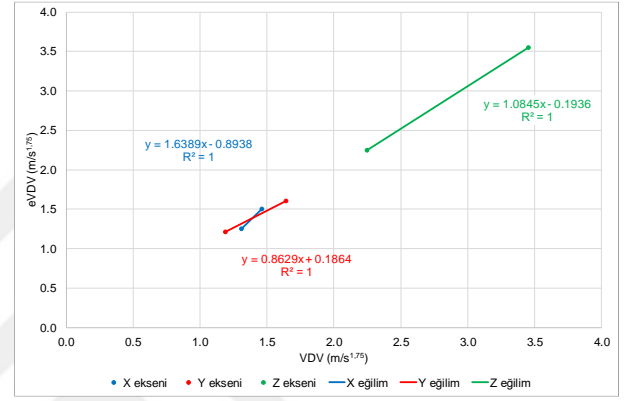
a) Tesviye evresi



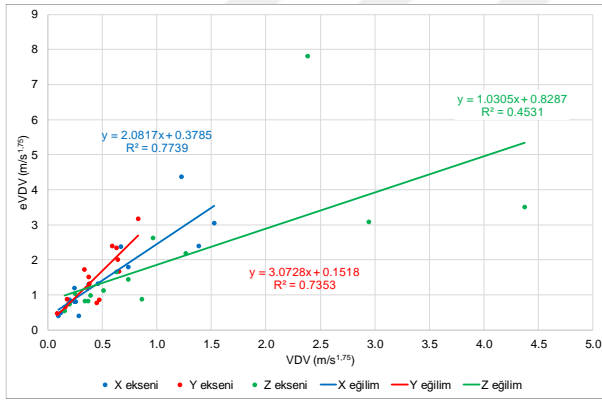
b) İleri yürüme evresi



c) Geri yürüme evresi



d) Manevra evresi

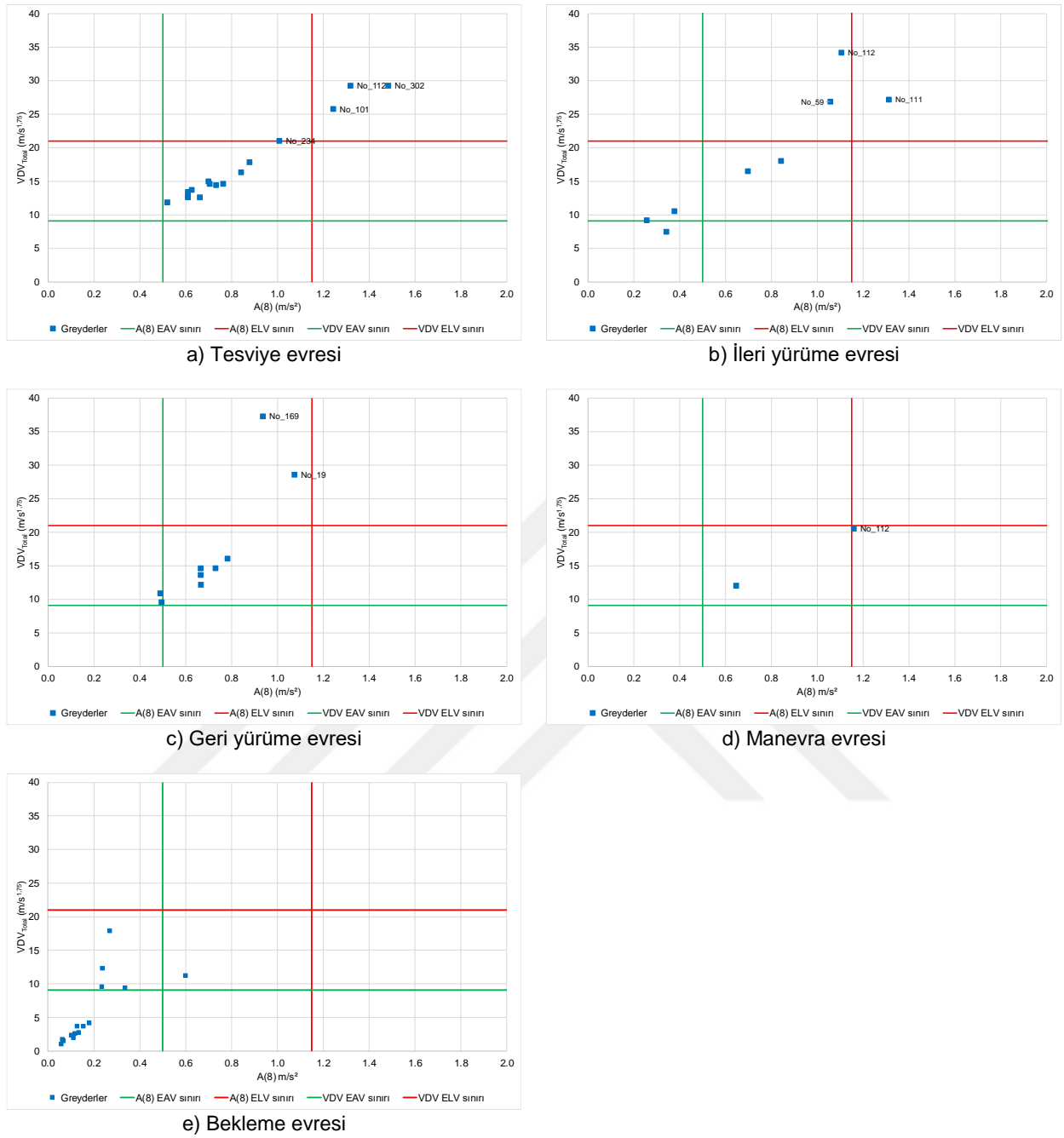


e) Bekleme evresi

Şekil 8.11 Greyder evrelerinde VDV – eVDV ilişkisi

Çizelge 8.12 Greyder döngü evrelerinde titreşim dozu doruk faktörleri

Doruk faktörü	Tesviye			İleri yürüme			Geri yürüme		
	VDV _X	VDV _Y	VDV _Z	VDV _X	VDV _Y	VDV _Z	VDV _X	VDV _Y	VDV _Z
≥6	14	14	15	7	6	7	7	6	7
<6	2	2	1	1	2	1	2	3	2
R ²	0,95	0,94	0,97	0,94	0,96	0,83	0,97	0,99	0,82
Doruk faktörü	Manevra			Bekleme					
	VDV _X	VDV _Y	VDV _Z	VDV _X	VDV _Y	VDV _Z			
≥6	-	-	-	13	10	13			
<6	2	2	2	2	5	2			
R ²	-	-	-	0,77	0,74	0,45			



Şekil 8.12 Greyder operatörlerinin evrelerdeki A(8) – VDV_{Total} ilişkisi

8.3.3 Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme

Greyder operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri kullanılarak hesaplanan eşdeğer statik basınç dozu (S_{ed}) değerleri, R(IOP) ve R(TOP) faktörleri Çizelge 8.13'de verilmektedir. En yüksek maruziyetin ileri ve geri yürüme evrelerinde olduğu greyder döngüsünde, bekleme evresi haricindeki diğer evrelerde de benzer S_{ed} değerleri bulunmaktadır.

Greyder operatörlerinin eşdeğer statik basınç dozu (S_{ed}) ve bağlantılı risk faktörü (R) ölçütlerine göre değerlendirme sonuçları Çizelge 8.14'de verilmektedir. Tüm evrelerde operatörlerin

çoğunluğu 0,5 MPa'dan düşük basınca maruz kalmış olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı düşüktür. Ancak yüksek titreşim kaydedilen ileri ve geri yürüme evrelerinde ikişer operatör, titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı yüksek olan 0,8 MPa'dan yüksek basınca maruz kalmıştır. Diğer yandan, günlük risk faktörü ölçütüne göre değerlendirme yapıldığında operatörlerin oldukça büyük kısmına ait R faktörü, sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığının düşük olduğu 0,8'in altındaki bölgededir. Bu ölçüte göre ileri ve geri yürüme evrelerinde ikişer operatör, titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı orta düzeyde olan (0,5 - 0,8) MPa aralığında basınca maruz kalmıştır.

Çizelge 8.13 Greyder döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörleri

Evre	S_{ed} (MPa)				R(IOP) faktör				R(TOP) faktör			
	Ort.	Std.	En	En	Ort.	Std.	En	En	Ort.	Std.	En	En
		Sapma	küçük	büyük		sapma	küçük	büyük		sapma	küçük	büyük
Tesviye	0,449	0,148	0,230	0,731	0,366	0,143	0,195	0,613	0,561	0,185	0,288	0,914
İleri yürüme	0,654	0,400	0,137	1,515	0,500	0,293	0,117	1,055	0,818	0,500	0,172	1,895
Geri yürüme	0,573	0,507	0,193	1,741	0,415	0,331	0,157	1,099	0,716	0,634	0,242	2,178
Manevra	0,417	0,083	0,334	0,500	0,279	0,069	0,211	0,348	0,521	0,103	0,418	0,625
Bekleme	0,196	0,240	0,027	0,912	0,152	0,172	0,029	0,575	0,245	0,300	0,034	1,141

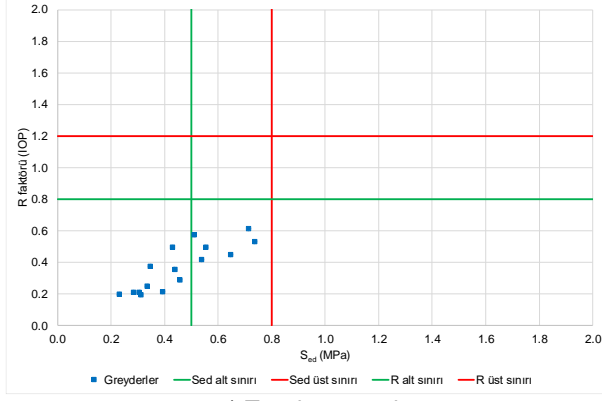
Çizelge 8.14 Greyder döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörüne göre sağlık riski

Evre	S_{ed} (MPa)		
	<0,5	0,5 – 0,8	>0,8
Tesviye	10	6	-
İleri yürüme	3	3	2
Geri yürüme	7	-	2
Manevra	-	-	-
Bekleme	13	1	1

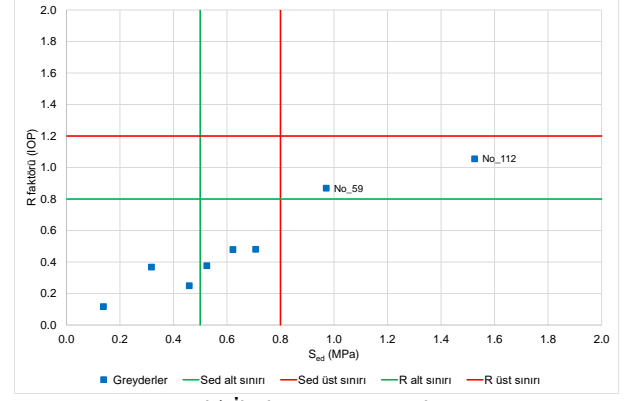
	R faktörü		
	<0,8	0,8 – 1,2	>1,2
Tesviye	16	-	-
İleri yürüme	6	2	-
Geri yürüme	7	2	-
Manevra	2	-	-
Bekleme	15	-	-

Greyder operatörlerinin S_{ed} ve R faktörü ölçütlerinin birlikte gözetildiği durumda risk sınırları ile karşılaştırılması Şekil 8.13'de sunulmuştur. Greyder çalışmasını oluşturan tüm evrelerde her iki ölçüte göre titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı yüksek olan ortak bölgede yer alan operatör bulunmamaktadır.

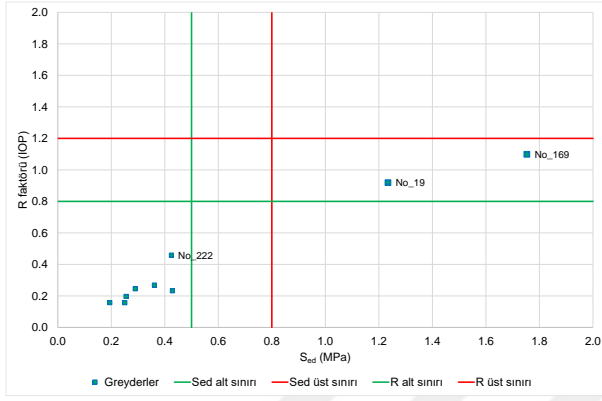
Greyder operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 8.14'de sunulmuştur. Greyder çalışmasını oluşturan tüm evrelerde her iki ölçüte göre titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı yüksek olan ortak bölgede yer alan operatör bulunmamaktadır.



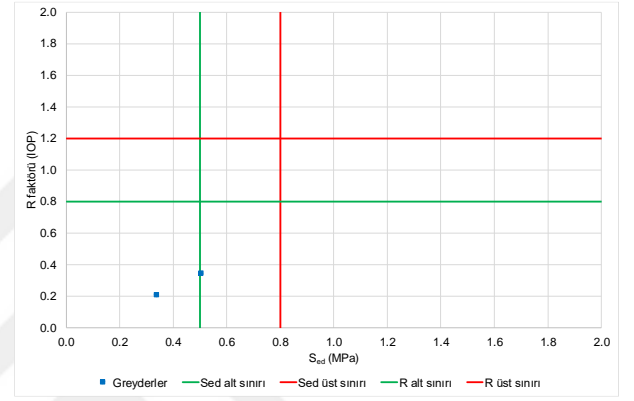
a) Tesviye evresi



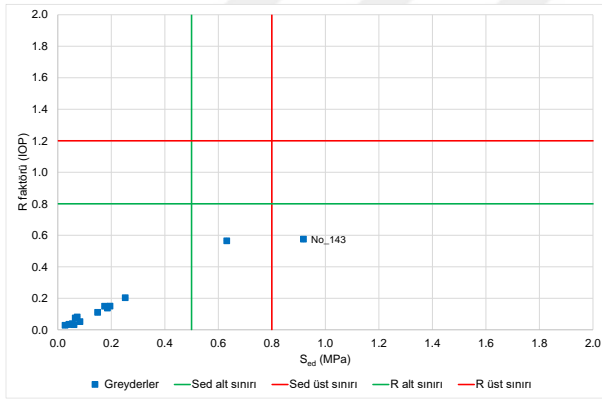
b) İleri yürüme evresi



d) Geri yürüme evresi



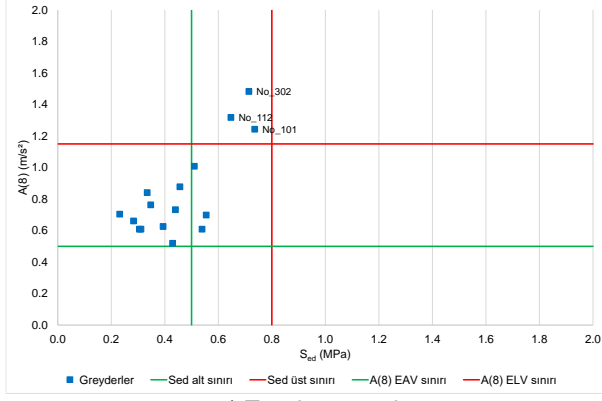
d) Manevra evresi



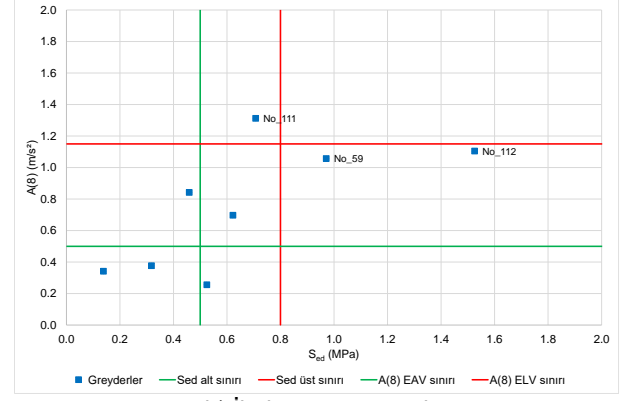
e) Bekleme evresi

Şekil 8.13 Greyder operatörlerinin evreler bazında S_{ed} – R faktörü ilişkisi

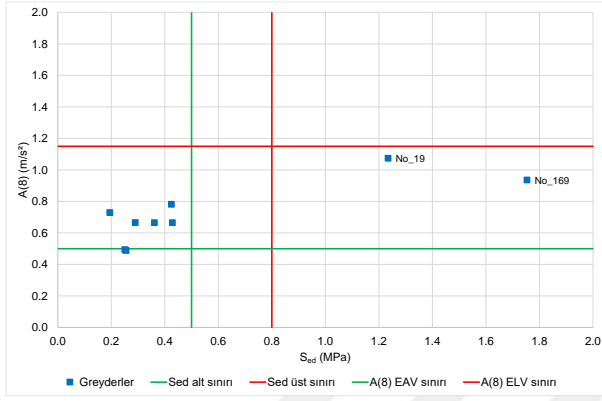
Greyder operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) VDV_{Total} ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 8.15'de sunulmuştur. İleri yürüme ve geri yürüme evrelerinde her iki ölçüte göre titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı yüksek olan ortak bölgede yer alan 2 operatör bulunmaktadır.



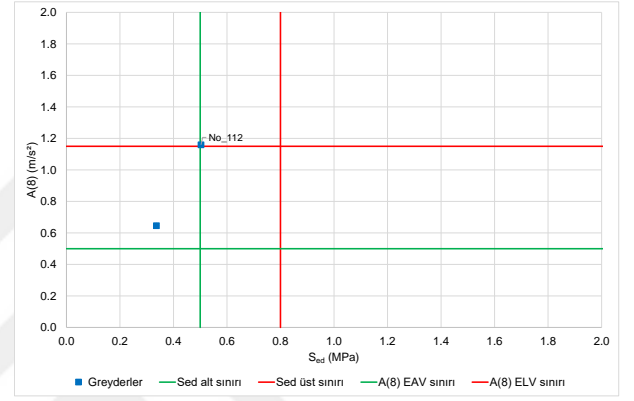
a) Tesviye evresi



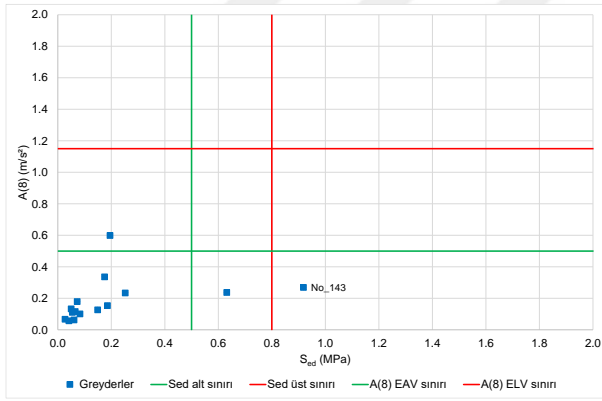
b) İleri yürüme evresi



c) Geri yürüme evresi

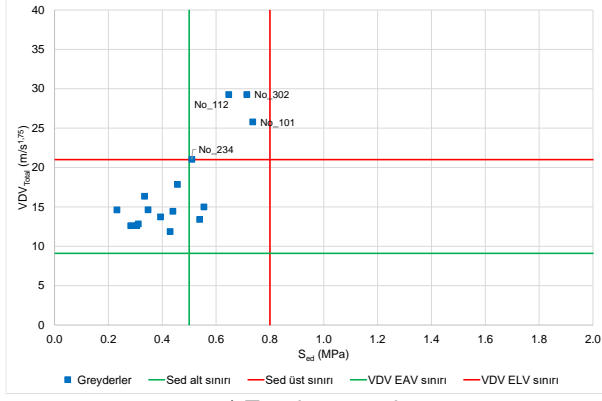


d) Manevra evresi

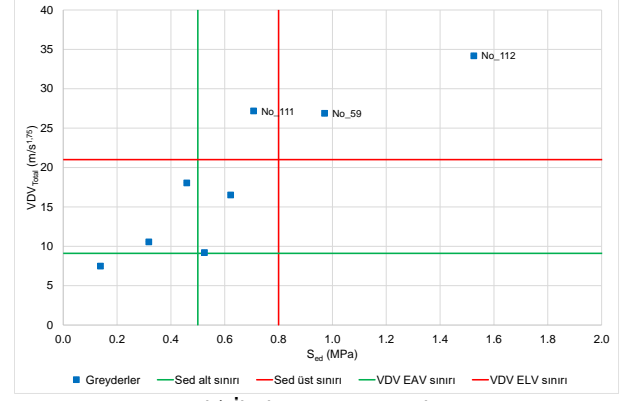


e) Bekleme evresi

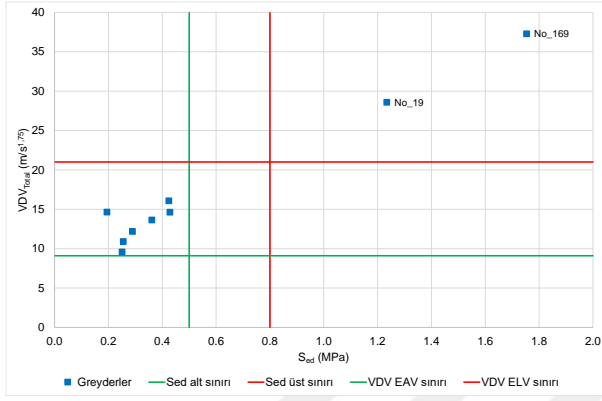
Şekil 8.14 Greyder operatörlerinin evreler bazında S_{ed} – $A(8)$ ilişkisi



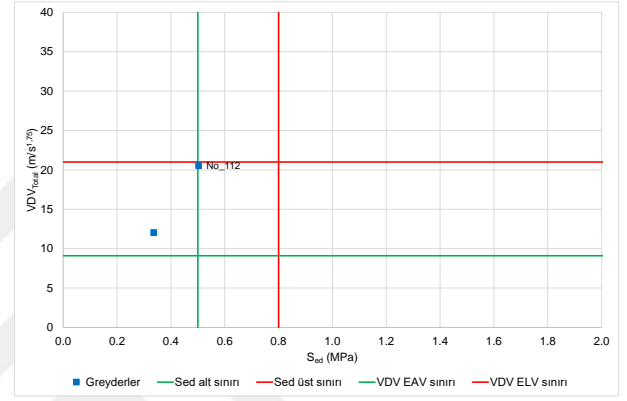
a) Tesviye evresi



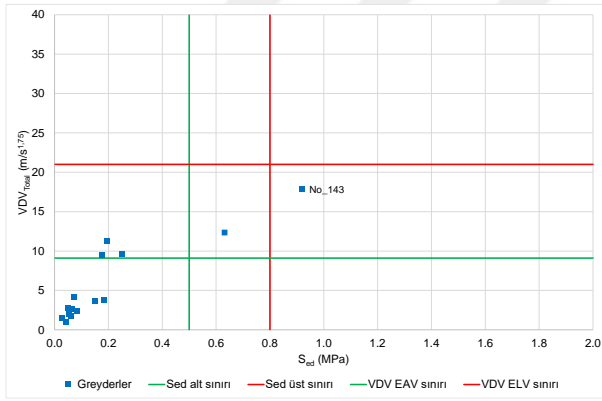
b) İleri yürüme evresi



c) Geri yürüme evresi



d) Manevra evresi



e) Bekleme evresi

Şekil 8.15 Greyder operatörlerinin evreler bazında S_{ed} – VDV_{Total} ilişkisi

8.4 İstatistiksel Analizler

8.4.1 Döngü evresi gruplarının TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Evreler bazında aşağıdaki sayıda greyderden ölçüm alınmıştır: ileri yürüme 8 greyder, bekleme 15 greyder, tesviye 16 greyder, geri dönüş 9 greyder, manevra 2 greyder. TVT ölçümleri alınan greyderlerle ilgili hesaplanan titreşim ivmesi ve dozu değerlerinin kullanıldığı analizlerde önce betimleyici istatistikler hesaplanmış daha sonra da etkileyici faktörler bazında hipotez testleri yapılmıştır. Çizelge 8.15'de evreler bazında betimleyici istatistikler verilmiştir. Greyder operatörlerinin bekleme dışındaki evrelerde benzer titreşim ivmesi ile dozuna maruz kaldığı görülmektedir. Titreşim ivmesi ve dozu ortalamaları karşılaştırıldığında en büyük maruziyet manevra evresinde oluşurken bu evreyi tesviye ve ileri yürüme evreleri takip etmektedir. Operatörler bekleme evresinde en düşük TVT ivmesi ve dozuna maruz kalmaktadırlar.

Çizelge 8.15 Greyder döngüsünü oluşturan evrelerin betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Evre	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	ileri yürüme	8	,74850	,395872	,139962	,256	1,312
	tesviye	16	,83138	,286328	,071582	,519	1,483
	manevra	2	,90250	,362746	,256500	,646	1,159
	geri yürüme	9	,72222	,190150	,063383	,489	1,074
	bekleme	15	,18553	,140383	,036247	,057	,599
VDV _{Total}	ileri yürüme	8	18,75688	9,754179	3,448623	7,486	34,179
	tesviye	16	17,21200	5,899651	1,474913	11,875	29,269
	manevra	2	16,30300	6,008993	4,249000	12,054	20,552
	geri yürüme	9	17,50722	9,231554	3,077185	9,588	37,279
	bekleme	15	5,74560	5,081290	1,311983	1,034	17,890

Evreler bazında ortalaması alınmış TVT ivmesi ve dozu değerlerinin greyder döngüsünü oluşturan manevralar bazında anlamlı biçimde değişip değişmediği, hipotez testleri aracılığıyla araştırılmıştır. Manevra verisinin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testi yapılarak değerlendirilmiş ve TVT ivmesi için bekleme ve küreme, TVT dozu için ilaveten geri yürüme (manevra veri sayısı az olduğundan test yapılmamıştır) evreleri dışındaki tüm evre verisinin normal dağılıma uygun olduğu belirlenmiştir (Sig. > 0,05). Varyansların homojenliği testine göre TVT ivmesi grup varyansı homojen olmayıp (Sig_{A(8)} = 0,006), TVT dozu grup varyansı homojendir (Sig_{VDV_{Total}} = 0,160). TVT ivmesi için greyder döngüsünü oluşturan evrelerin ortalamaları arasındaki farklılığın anlamlı olup olmadığı *Tamhane* testi ile TVT dozu için ise *Tukey* testi ile incelenmiştir (Çizelge 8.16).

Çizelge 8.16'da verilen çoklu karşılaştırma testi sonucunda titreşim ivmesi ve dozu için bekleme evresi ile diğer tüm evreler arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. Manevra evresi veri azlığından dolayı değerlendirme dışında tutulmuştur.

Çizelge 8.16 Greyder döngüsü evrelerinin çoklu karşılaştırması

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)
TAMHANE	ileri yürüme	tesviye	-,082875	TUKEY HSD	ileri yürüme	tesviye	1,544875
		manevra	-,154000			manevra	2,453875
		geri yürüme	,026278			geri yürüme	1,249653
		bekleme	,562967*			bekleme	13,011275*
	tesviye	ileri yürüme	,082875		tesviye	ileri yürüme	-1,544875
		manevra	-,071125			manevra	,909000
		geri yürüme	,109153			geri yürüme	-,295222
		bekleme	,645842*			bekleme	11,466400*
	manevra	ileri yürüme	,154000		manevra	ileri yürüme	-2,453875
		tesviye	,071125			tesviye	-,909000
		geri yürüme	,180278			geri yürüme	-1,204222
		bekleme	,716967			bekleme	10,557400
	geri yürüme	ileri yürüme	-,026278		geri yürüme	ileri yürüme	-1,249653
		tesviye	-,109153			tesviye	,295222
		manevra	-,180278			manevra	1,204222
		bekleme	,536689*			bekleme	11,761622*
bekleme	ileri yürüme	-,562967*		bekleme	ileri yürüme	-13,011275*	
	tesviye	-,645842*			tesviye	-11,466400*	
	manevra	-,716967			manevra	-10,557400	
	geri yürüme	-,536689*			geri yürüme	-11,761622*	

8.4.2 Greyder tipinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi

TVT ivmesi ve dozu düzeylerinin greyder tipindeki farklılıklar ile anlamlı biçimde değişip değişmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Buna göre büyüklük grubu aralıklarında aşağıdaki sayıda greyder bulunmaktadır;

- Orta → 10 adet
- Büyük → 6 adet

Bu çalışmada örneklem sayısı yeterli düzeyde olduğu için normal dağılıma uygunluk Shapiro-Wilk testi üzerinden değerlendirilmiş ve TVT ivmesi ve dozu değerleri normal dağılıma uygun çıkmamıştır (Sig. < 0,05). Tabachnik ve Fidell (2013), çarpıklık ve basıklık değerlerinin +1,500 ile -1,500, George ve Mallery (2010) ise çarpıklık ve basıklık değerlerinin +2,000 ile -2,000 arasında olduğunda verinin normal dağıldığını kabul etmektedirler. TVT ivmesi çarpıklığı 1,445 ve basıklığı 2,001 iken titreşim dozu için 0,790 ile -0,724 normal dağılıma uygundur.

Greyder tipi grup ortalamaları arasındaki farklılık bağımsız örneklem t-testi yöntemi ile incelenmiştir. Grupların istatistikleri Çizelge 8.17’de verilmiştir. Çizelge 8.18 incelendiğinde, A(8) için grup varyanslarının eşit olduğunu kabul eden önem derecesi değerleri 0,05’ten küçük olduğundan t-testi için varyansların eşit olmadığı önem değerleri kontrol edilirken; VDV_{Total} için grup varyanslarının eşit olduğunu kabul eden önem derecesi değerleri 0,05’ten büyük olduğundan t-testi için varyansların eşit olduğu önem değerleri kontrol edilerek, iki-yönlü önem değeri, tek-yönlü değerin iki katı olduğundan t-testi değeri ikiye bölünmüştür (Sig_{A(8)} = 0,054, Sig_{VDV_{Total}} = 0,36). Titreşim dozu değeri 0,05’ten büyük olduğundan H₁ hipotezi red edilmiş olup grup ortalamaları arasında farklılık bulunmamıştır ancak titreşim ivmesi için H₁ hipotezi kabul edilerek ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olduğu görülmektedir.

Çizelge 8.17 Greyder tipi grupları için varyansların grup istatistikleri

Bağımlı değişken	Greyder tipi	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata
A(8)	Orta	10	,70410	,138122	,043678
	Büyük	6	,97367	,333887	,136309
VDV _{Total}	Orta	10	19,08720	6,774433	2,142264
	Büyük	6	17,85350	6,049466	2,469684

Çizelge 8.18 Greyder tipi grupları için bağımsız örneklem testi

Bağımlı değişken	Varyanslar	Varyansların eşitliği		Ortalamaların eşitliği				
		Levene testi		t-testi				
		F	Önem	t	Serb. Dere.	Önem (2 kuyr.)	Ortalama-ların farkı	Farkın standart hatası
A(8)	Eşit	6,815	,021	-2,287	14	,038	-,269567	,117846
	Eşit değil			-1,883	6,044	,108	-,269567	,143136
VDV _{Total}	Eşit	,216	,649	,366	14	,720	1,233700	3,369377
	Eşit değil			,377	11,681	,713	1,233700	3,269348

8.4.3 Greyder hizmet süresinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi

TVT ölçümünün alındığı tarih itibarıyla hesaplanmış olan greyder hizmet sürelerinin TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Hizmet süresi 5 yıllık gruplara ayrılmış ve aşağıdaki sayıda aralıklarında greyder bulunmaktadır;

- 1-5 → 3 greyder
- 6-10 → 4 greyder
- 11-20 → 5 greyder
- ≥21 → 4 greyder

Hizmet süresi gruplarının betimleyici istatistikleri Çizelge 8.19'da verilmiştir. 1-5 yıl ve 21 yıldan daha uzun hizmet süresine sahip greyderler düşük titreşim ivmesi ve titreşim dozu ile dikkat çekmektedir. Varyansların homojenliği testi sonucuna göre titreşim ivmesi ve dozu önem değerleri grup varyanslarının homojen olduğu sonucuna varılmıştır ($Sig_{A(8)} = 0,237$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,304$).

5 yıllık hizmet süresi grupları tek yönlü varyans analizi kullanılarak incelendiğinde; H_0 hipotezi kabul edilmiş ve grupların ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna varılmıştır ($Sig_{A(8)} = 0,459$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,156$). Greyder hizmet süresi grubu ortalamaları arasındaki farklılık çoklu karşılaştırma tablosunda TVT ivmesi ve dozu için *Tukey testi* baz alınarak ikilik gruplar arasındaki incelenmiştir (Çizelge 8.20). Buna göre titreşim ivmesi ve dozu için gruplar arasında anlamlı bir farklılık yoktur. Böylece TVT ivmesi ve dozu greyder hizmet süresinden etkilenmemekte ve ondan bağımsızdır.

Çizelge 8.19 Greyder hizmet süresi gruplarının betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Hizmet süresi	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	1-5	3	,76467	,086495	,049938	,706	,864
	6-10	4	,91350	,391674	,195837	,625	1,462
	11-20	5	,87600	,260403	,116456	,594	1,281
	≥21	4	,63875	,149936	,074968	,494	,838
VDV _{Total}	1-5	3	14,69833	2,801932	1,617696	12,599	17,880
	6-10	4	23,72700	7,972074	3,986037	12,565	29,848
	11-20	5	15,61080	2,832361	1,266670	13,186	20,487
	≥21	4	20,23400	7,236744	3,618372	11,641	29,225

Çizelge 8.20 Greyder hizmet süresi grupları için çoklu karşılaştırma sonuçları

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	
TUKEY HSD	1-5	6-10	-,148833	TUKEY	1-5	6-10	-9,028667	
		11-20	-,111333			HSD	11-20	-,912467
		≥21	,125917			≥21	-5,535667	
	6-10	1-5	,148833	6-10	1-5	9,028667		
		11-20	,037500		11-20	8,116200		
		≥21	,274750		≥21	3,493000		
	11-20	1-5	,111333	11-20	1-5	,912467		
		6-10	-,037500		6-10	-8,116200		
		≥21	,237250		≥21	-4,623200		
	≥21	1-5	-,125917	≥21	1-5	5,535667		
		6-10	-,274750		6-10	-3,493000		
		11-20	-,237250		11-20	4,623200		

8.4.4 Operatör yaşının TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Operatör yaşının TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Bu analizde, operatör yaşları 10 yıllık kategorilere ayrılmıştır. Buna göre yaş aralıklarında aşağıdaki sayıda operatör bulunmaktadır;

- 20-30 → 8 operatör
- 31-40 → 4 operatör
- ≥ 41 → 4 operatör

Yaş grupları ortalamalarının normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testi yapılarak değerlendirilmiş ve TVT ivmesi ve dozu için verilerin normal dağılıma uygun olduğu belirlenmiştir (Sig. > 0,05). Operatör yaş gruplarının betimleyici istatistikleri Çizelge 8.21'de verilmiştir. Varyansların homojenliği testi sonucuna göre titreşim ivmesi ve dozu uygun çıktığından (Sig_{A(8)} = 0,349 ve Sig_{VDV_{Total}} = 0,425) grup varyanslarının homojen olduğu kabul edilmiştir. TVT ivmesi ve dozu için operatör yaş gruplarının ortalamaları arasındaki farklılığın anlamlı olup olmadığı *Tukey* testi ile incelenmiştir.

Tek yönlü varyans analizi sonuçlarına göre titreşim ivmesi ve dozu için H₀ hipotezi kabul edilmiş olup grup ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna varılmıştır (Sig_{A(8)} = 0,626 ve Sig_{VDV_{Total}} = 0,384). Operatör yaş grubu ortalamaları arasındaki farklılık çoklu karşılaştırma tablosunda titreşim ivmesi ve dozu için *Tukey* testi baz alınarak ikilik gruplar arasındaki incelenmiştir (Çizelge 8.22). Buna göre, titreşim ivmesi için anlamlı bir farklılık

yokken titreşim dozu için tüm gruplar arasında istatistiksel olarak %95 düzeyinde anlamlı bir farklılık vardır.

Çizelge 8.21 Operatör yaş gruplarının betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Yaş grubu	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	20-30	8	,81913	,226040	,079917	,560	1,281
	31-40	4	,88250	,388104	,194052	,638	1,462
	≥41	4	,70000	,201944	,100972	,494	,956
VDV _{Total}	20-30	8	20,58475	6,586693	2,328748	12,599	29,848
	31-40	4	18,28200	7,548366	3,774183	12,565	29,067
	≥41	4	15,04675	3,859535	1,929768	11,641	20,487

Çizelge 8.22 Operatör yaş grupları için çoklu karşılaştırma sonuçları

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	
TUKEY HSD	20-30	31-40	-,063375	TUKEY HSD	20-30	31-40	2,302750	
		≥41	,119125			≥41	5,538000	
	31-40	20-30	,063375			31-40	20-30	-2,302750
		≥41	,182500			≥41	≥41	3,235250
	≥41	20-30	-,119125		≥41	20-30	-5,538000	
		31-40	-,182500			31-40	-3,235250	

8.4.5 Operatör deneyiminin TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Operatör deneyiminin TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Bu bölümde, 5 yıllık operatör deneyimi grupları için tek yönlü varyans analizi yapılmıştır. Buna göre yaş aralıklarında aşağıdaki sayıda operatör bulunmaktadır;

- 1-5 → 5 operatör
- 6-10 → 6 operatör
- 11-15 → 3 operatör
- 16-25 → 2 operatör

Operatör deneyimi grupları ortalamalarının normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testi yapılarak değerlendirilmiş ve TVT ivmesi ve dozu için verilerin normal dağılıma uygun olduğu belirlenmiştir (Sig. > 0,05). Operatör deneyimi gruplarının betimleyici istatistikleri Çizelge 8.23'de verilmiştir. Varyansların homojenliği testi sonucuna göre titreşim ivmesi ve dozu grup varyanslarının homojen olduğu kabul edilmiştir (Sig_{A(8)} = 0,577 ve Sig_{VDV_{Total}} = 0,607). H₀ hipotezine göre TVT ivmesi ve dozu için operatör yaş gruplarının ortalamaları arasındaki farklılığın anlamlı olup olmadığı Tukey testi ile incelenmiştir.

Tek yönlü varyans analizi sonuçlarına göre H₀ hipotezi kabul edilmiş ve grupların ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna varılmıştır (Sig_{A(8)} = 0,550 ve Sig_{VDV_{Total}} = 0,366). Operatör deneyimi grup ortalamaları arasındaki farklılık çoklu karşılaştırma tablosunda titreşim ivmesi ve dozu için Tukey testi baz alınarak ikilik gruplar arasındaki

incelenmiştir (Çizelge 8.24). Buna göre, titreşim ivmesi ve dozu için tüm gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur.

Çizelge 8.23 Operatör deneyiminin 5 yıllık grupları için betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Deneyim grubu	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	1-5	5	,79240	,297478	,133036	,560	1,281
	6-10	6	,89217	,298285	,121774	,625	1,462
	11-15	3	,61867	,116212	,067095	,494	,724
	16-25	2	,85600	,141421	,100000	,756	,956
VDV _{Total}	1-5	5	18,17180	6,585541	2,945144	12,599	29,225
	6-10	6	21,89583	6,984628	2,851462	13,616	29,848
	11-15	3	14,02867	3,367198	1,944052	11,641	17,880
	16-25	2	16,83650	5,162587	3,650500	13,186	20,487

Çizelge 8.24 Operatör deneyimi 5 yıllık grupları için çoklu karşılaştırma sonuçları

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)
TUKEY HSD	1-5	6-10	-,099767	TUKEY HSD	1-5	6-10	-3,724033
		11-15	,173733			11-15	4,143133
		16-25	-,063600			16-25	1,335300
	6-10	1-5	,099767	6-10	1-5	3,724033	
		11-15	,273500		11-15	7,867167	
		16-25	,036167		16-25	5,059333	
	11-15	1-5	-,173733	11-15	1-5	-4,143133	
		6-10	-,273500		6-10	-7,867167	
		16-25	-,237333		16-25	-2,807833	
	16-25	1-5	,063600	16-25	1-5	-1,335300	
		6-10	-,036167		6-10	-5,059333	
		11-15	,237333		11-15	2,807833	

8.4.6 Zemin tipinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Zemin tipinin TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Bu analizde zemin, gevşek ve sıkı olmak üzere 2 gruba ayrılmış ve buna göre malzeme grupları aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur;

- a) Gevşek zemin
 - a. Toprak yol
 - b. Toprak basamak
- b) Sıkı zemin
 - a. Sıkıştırılmış ayrılmış kayaç tumba
 - b. Sıkıştırılmış ayrılmış kayaç basamak

Örneklem sayısı yeterli düzeyde olduğu için normal dağılıma uygunluk Shapiro-Wilk (çarpıklık-baskınlık değerleri) testi üzerinden değerlendirilmiş ve TVT ivmesi ile dozu değerleri normal dağılıma uygun çıkmıştır. Gevşek ve sıkı zemin grup ortalamaları arasındaki farklılık bağımsız örneklem t-testi yöntemi ile incelenmiştir. Grupların istatistikleri Çizelge 8.25’de verilmiştir. Çizelge 8.26 incelendiğinde, A(8) ve VDV_{Total} için grup varyanslarının eşit olduğunu kabul eden önem derecesi değerleri 0,05’ten büyük olduğundan t-testi için varyansların eşit olduğu önem değerleri

kontrol edilmiş ve grup ortalamaları arasında TVT ivmesi ve dozu için zeminler arasında fark olmadığı sonucuna varılmıştır ($\text{Sig}_{A(8)} = 0,076$, $\text{Sig}_{\text{VDV}_{\text{Total}}} = 0,196$). Böylece operatörler zemin türünden bağımsız olarak benzer düzeyde titreşim ivmesi ve dozuna maruz kalmakta olup Çizelge 8.25'de verildiği gibi gevşek zemin, operatörleri daha düşük titreşim ivme ve dozu değerine maruz bırakmaktadır.

Çizelge 8.25 Zemin tipi grupları için varyansların grup istatistikleri

Bağımlı değişken	Zemin tipi	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata
A(8)	gevşek	7	,69843	,151635	,057313
	sıkı	9	,88822	,300376	,100125
VDV _{Total}	gevşek	7	17,02857	4,522247	1,709249
	sıkı	9	19,86589	7,477647	2,492549

Çizelge 8.26 Zemin tipi grupları için bağımsız örneklem testi

Bağımlı değişken	Varyanslar	Varyansların eşitliği Levene testi		Ortalamaların eşitliği t-testi				
		F	Önem	t	Serb. Dere.	Önem (2 kuyr.)	Ortalama-ların farkı	Farkın stan-dart hatası
A(8)	Eşit	2,486	,137	-1,520	14	,151	-,189794	,124886
	Eşit değil			-1,645	12,336	,125	-,189794	,115368
VDV _{Total}	Eşit	4,363	,055	-,882	14	,392	-2,837317	3,215681
	Eşit değil			-,939	13,355	,365	-2,837317	3,022306

8.4.7 Çalışma bölgesinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Greyder operatörlerinin harman ve basamak üzerinde çalışmasının, maruz kaldıkları TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Bu analizde çalışma bölgesi harman ve basamak olmak üzere 2 gruba ayrılmış ve buna göre aşağıdaki gruplar oluşturulmuştur;

- a) Harman
 - a. Toprak yol
 - b. Sıkıştırılmış ayrılmış kayaç tumba
 - c. Sıkıştırılmış az ayrılmış kayaç tumba
 - d.
- b) Basamak
 - a. Sıkıştırılmış toprak basamak
 - b. Sıkıştırılmış ayrılmış kayaç basamak
 - c. Sıkıştırılmış toprak yol

Harman ve basamak şekilde grup ortalamaları arasındaki farklılık bağımsız örneklem t-testi yöntemi ile incelenmiştir. Grup istatistikleri Çizelge 8.27'de verilmiştir. Çizelge 8.28 incelendiğinde, A(8) ve VDV_{Total} için grup varyanslarının eşit olduğunu kabul eden önem derecesi değerleri 0,05'ten büyük olduğundan t-testi için varyansların eşit olduğu önem değerleri kontrol edilmiş ve grup ortalamaları arasında titreşim ivmesi ve dozu için anlamlı bir fark olmadığı sonucuna varılmıştır ($\text{Sig}_{A(8)} = 0,287$, $\text{Sig}_{\text{VDV}_{\text{Total}}} = 0,366$). Çizelge 8.27'de verildiği gibi basamak, operatörleri daha düşük titreşim ivmesi ve dozuna maruz bırakmaktadır.

Çizelge 8.27 Çalışma bölgesi grupları için varyansların grup istatistikleri

Bağımlı değişken	Çalışma bölgesi	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata
A(8)	harman	7	,84829	,221680	,083787
	basamak	9	,77167	,292325	,097442
VDV _{Total}	harman	7	19,26471	7,474427	2,825068
	basamak	9	18,12667	5,716448	1,905483

Çizelge 8.28 Çalışma bölgesi grupları için bağımsız örneklem testi

Bağımlı değişken	Varyanslar	Varyansların eşitliği Levene testi		Ortalamaların eşitliği t-testi				
		F	Önem	Serb. Dere.	Önem (2 kuyr.)	Ortalama-ların farkı	Farkın standart hatası	
A(8)	Eşit	,250	,625	,575	14	,574	,076619	,133230
	Eşit değil			,596	13,999	,561	,076619	,128511
VDV _{Total}	Eşit	1,163	,299	,346	14	,735	1,138048	3,289851
	Eşit değil			,334	10,994	,745	1,138048	3,407620

8.4.8 Bazı evrelerin TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Greyder operatörlerinin ileri yürüme ve tesviye manevralarında maruz kaldıkları TVT ivmesi ve dozu düzeyleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığı, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Evre grup ortalamalarının normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testi ve çarpıklık-basıklık değerleri yapılarak değerlendirilmiş ve TVT ivmesi ve dozu için verilerin normal dağılıma uygun olduğu belirlenmiştir (Sig. > 0,05).

İleri yürüme ve tesviye grup ortalamaları arasındaki farklılık bağımsız örneklem t-testi yöntemi ile incelenmiş ve grup istatistikleri Çizelge 8.29'da verilmiştir. Çizelge 8.30 incelendiğinde, A(8) ve VDV_{Total} için grup varyanslarının eşit olduğunu kabul eden önem derecesi değerleri 0,05'ten büyük olduğundan t-testi için varyansların eşit olduğu önem değerleri kontrol edilmiş ve grup ortalamaları arasında titreşim ivmesi ve dozu için anlamlı bir fark olmadığı sonucuna varılmıştır (Sig_{A(8)} = 0,281, Sig_{VDV_{Total}} = 0,326).

Benzer bir analiz ileri ve geri yürüme evreleri için yapılmış ve bu evrelerin grup ortalamaları arasında anlamlı bir fark olmadığı bağımsız örneklem t-testi ile sorgulanmış ve iki evre grubu ortalamaları arasında anlamlı bir fark olmadığı sonucuna varılmıştır (Sig_{A(8)} = 0,434, Sig_{VDV_{Total}} = 0,395).

Çizelge 8.29 İleri yürüme ve tesviye grupları için varyansların grup istatistikleri

Bağımlı değişken	Evre	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata
A(8)	ileri yürüme	8	,74850	,395872	,139962
	tesviye	16	,83138	,286328	,071582
VDV _{Total}	ileri yürüme	8	18,75688	9,754179	3,448623
	tesviye	16	17,21200	5,899651	1,474913

Çizelge 8.30 İleri yürüme ve tesviye grupları için bağımsız örneklem testi

Bağımlı değişken	Varyanslar	Varyansların eşitliği Levene testi			Ortalamaların eşitliği t-testi			
		F	Önem	t	Serb. Dere.	Önem (2 kuyr.)	Ortalama-ların farkı	Farkın stan-dart hatası
A(8)	Eşit	2,066	,165	-,589	22	,562	-,082875	,140820
	Eşit değil			-,527	10,796	,609	-,082875	,157205
VDV _{Total}	Eşit	3,970	,059	,485	22	,632	1,544875	3,182109
	Eşit değil			,412	9,644	,689	1,544875	3,750782

9 ELEKTRİKLİ EKSKAVATÖRLERİN TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ ve DEĞERLENDİRİLMESİ

9.1 Genel

Bu çalışma kapsamında farklı tip ve modelde toplam 13 adet elektrikli ekskavatörden TVT maruziyeti ölçümleri alınmış ve analiz edilmiştir. Elektrikli ekskavatörlerin bir çevriminin aşağıdaki evrelerden oluştuğu kabul edilerek ölçümler, elektrikli ekskavatörlerin çok sayıda tam turunu kapsayacak ve tüm elektrikli ekskavatörlerin iş döngüsünü temsil edecek süre boyunca kayıt alınmıştır.

- a) Tüm kayıt (Whole data); Elektrikli ekskavatörlerin tipik iş döngüsündeki tüm evreleri kapsayacak biçimde, çalışmaya başlamadan önce ve bittikten sonraki durağan haller de dahil olmak üzere alınan tüm kaydın brüt TVT maruziyetini göstermektedir. Operatörün TVT maruziyeti hesaplarında kullanılmamaktadır.
- b) Net kayıt (RECORD); Elektrikli ekskavatörün tipik döngüsündeki tüm evreleri kapsamakta ve bu süredeki TVT maruziyetini göstermektedir. Çalışma başında operatörün koltuğa yerleşme ve sonunda koltuktan kalkma çabaları sırasında koltuk üzerindeki disk tipi ivmeölçer ile kabin zeminindeki ivmeölçere şok etkilerinden kaynaklanabilen çok yüksek titreşim ivmeleri ayıklanarak, analizlerden çıkartılmaktadır. Operatörün genel TVT maruziyetini temsil etmekte ve hesaplarda kullanılmaktadır.
- c) Doldurma (LOAD); Elektrikli ekskavatörün kovasını yığına daldırarak, doldurma ve sonrasında dolu dönüş hareketi yaparken maruz kalınan titreşimi temsil etmek için kaydedilmektedir.
- h) Boşaltma (DUMP); Elektrikli ekskavatörün kovasını kaldırarak boşaltması ve sonrasında boş dönerek, kova kolunun yığına doğru aşağı indirilmesi sırasında maruz kalınan titreşim kaydedilmektedir.
- d) İleri hareket (FORWARD); Elektrikli ekskavatörün yürüme hareketi yaparken maruz kalınan titreşimi temsil etmek için kaydedilmektedir.
- e) Bekleme (WAIT); Elektrikli ekskavatörün herhangi bir evre içerisinde iken durmak ve motor devinimi askıda iken hareketsiz olarak beklemek durumunda kaldığında, ayrı bir evre olarak alınmakta ve bu sırada maruz kalınan titreşimi kaydedilmektedir.

Elektrikli ekskavatörlerin 3 adedi 25 yd³, 4 adedi 20 yd³, 4 adedi 15 yd³, 2 adedi 10 yd³ kapasiteye sahiptir. Çizelge 9.1'de TVT ölçümü alınan elektrikli ekskavatörlerin işletmelere dağılımı ile temel çalışma özellikleri verilmiştir.

Elektrikli ekskavatörlerin TVT maruziyeti ölçümleri, üç adedi koltuktan (Seat_x, Seat_y, Seat_z), üç adedi de kabin zemininden (Floor_x, Floor_y, Floor_z) olmak üzere toplam altı kanaldan, aracın bir tam çevrimini kapsayacak biçimde gerçekleştirilmiştir. Titreşim analizörü ile frekans ağırlıklı ivme (a_w), titreşim dozu (VDV), maksimum geçici titreşim değeri (MTVV), tepe titreşim ivmesi (PEAK) ve tepe-tepe titreşim ivmesi (P-P) ölçülerek, değerlendirilmiştir. Kayıt süreleri 08 dakika 21 saniye

ile 24 dakika 25 saniye arasında değişmiştir. ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca TVT maruziyeti değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılan parametrelerin değerleri, koltuk ve zemin için hesaplanmıştır.

Çizelge 9.1 Elektrikli ekskavatörlerin temel bilgileri

İşletme	Elektrikli ekskavatör	Hizmete giriş	Malzeme sınıfı	Kapasite (yd ³)
Kömür işletmesi	No_114	1987	Ayrıışmış kayaç_kireçtaşı, gevşetilmiş	25
Kömür işletmesi	No_115	1987	Ayrıışmış kayaç_kireçtaşı, gevşetilmiş	25
Kömür işletmesi	No_117	1986	Kömür yığın_damar, gevşetilmemiş	10
Kömür işletmesi	No_127	1987	Ayrıışmış kayaç_kireçtaşı, gevşetilmiş	25
Kömür işletmesi	No_207	1987	Ayrıışmış kayaç_marn, gevşetilmiş	20
Kömür işletmesi	No_214	1986	Ayrıışmış kayaç_marn, gevşetilmiş	10
Kömür işletmesi	No_219	1987	Ayrıışmış kayaç_marn, gevşetilmiş	20
Kömür işletmesi	No_223	1987	Ayrıışmış kayaç_marn, gevşetilmiş	20
Kömür işletmesi	No_236	1987	Ayrıışmış kayaç_marn, gevşetilmiş	20
Kömür işletmesi	No_244	1986	Toprak	15
Kömür işletmesi	No_250	1986	Heyelan malzemesi, toprak	15
Kömür işletmesi	No_256	1986	Ayrıışmış kayaç_marn, gevşetilmiş	15
Kömür işletmesi	No_292	1985	Ayrıışmış kayaç_marn, gevşetilmiş	15

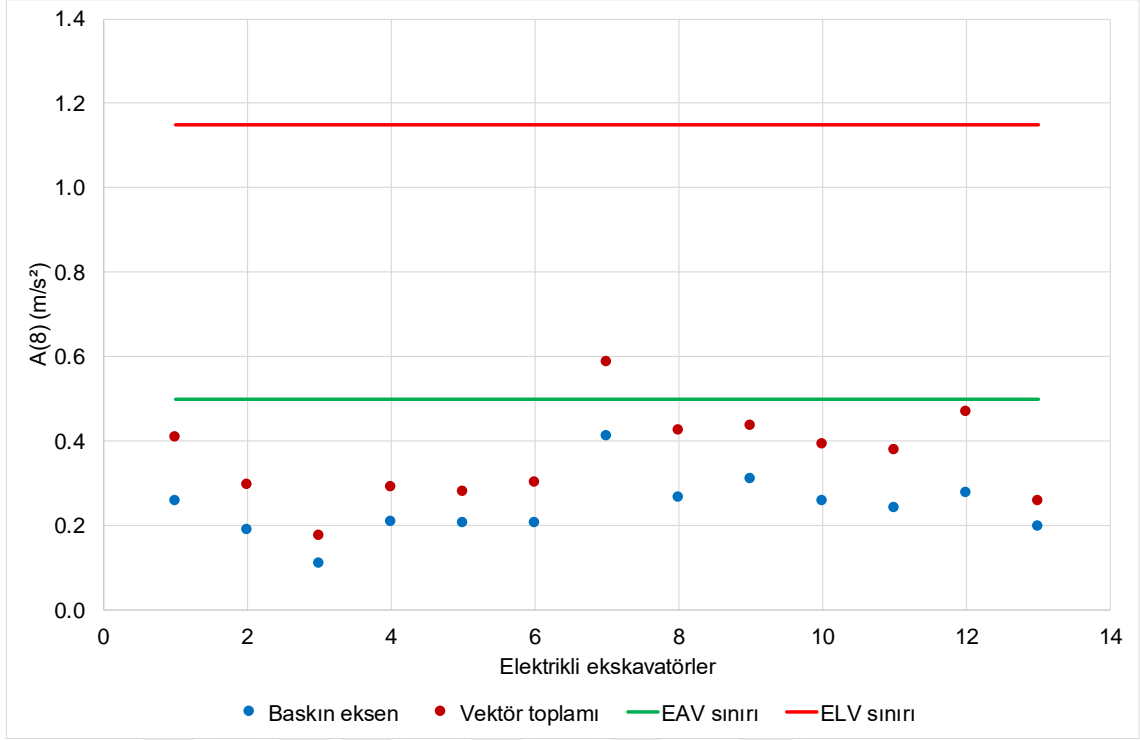
9.2 Net Kayıt (RECORD) Evresi

9.2.1 Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme

Elektrikli ekskavatörlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $A(8)_{Seat}$, ortalama ve standart sapması $(0,242 \pm 0,069)$ m/s² olacak biçimde 0,111 m/s² ile 0,413 m/s² arasında değişmiştir. Diğer yandan elektrikli ekskavatörlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $Vector_{1-3}$, ortalama ve standart sapması $(0,362 \pm 0,104)$ m/s² olacak biçimde 0,177 m/s² ile 0,587 m/s² arasında değişmiştir.

En yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum eksenini 5 elektrikli ekskavatörde X eksenini (Ch1) ve 8 elektrikli ekskavatörde Z eksenini (Ch3) olmuştur. Tüm elektrikli ekskavatörlerin en kötü durum eksenini ve vektör toplamı ölçütlerine göre $A(8)_{Seat}$ değerlerinin EAV ve ELV sınırları ile karşılaştırılması Şekil 9.1'de sunulmuştur.

Çizelge 9.2'de görüleceği gibi elektrikli ekskavatörlerin EU 2002/44/EC direktifi ve ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum ölçütü dikkate alındığında araçların oldukça büyük bölümünün EAV ve HGCZ sınırları (dikkat bölgesi) içinde olduğu görülmektedir. Bu durumda elektrikli ekskavatörlerin tümü maruziyet eylem değeri altında $(A(8)_{Seat} < 0,5 \text{ m/s}^2)$ eşdeğer titreşim ivmesi üretmiştir. Diğer yandan, vektör toplamı ölçütü dikkate alındığında da elektrikli ekskavatörlerin hemen tümü EAV dikkat zonu altında ya da içinde olup hiçbir ELV ve HGCZ sınırını aşmamaktadır.



Şekil 9.1 Elektrikli ekskavatörlerin A(8) değerleri

Çizelge 9.2 Elektrikli ekskavatör operatörlerinin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi

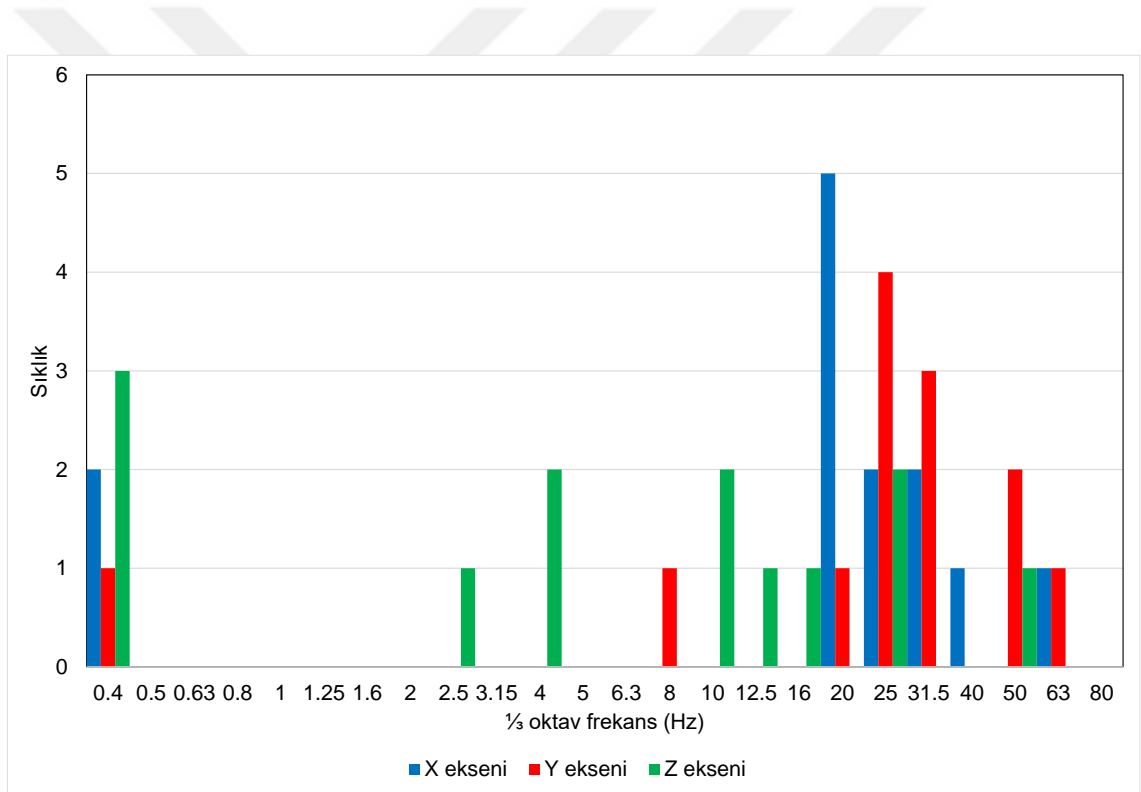
Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		Bölge	ISO2631-1 HGCZ Bölgesi	
	EKDE	VT	EKDE	VT		EKDE	VT
EAV altında	13	12	13	11	HGCZ altında	13	10
EAV içinde	0	1	0	2	HGCZ içinde	0	3
ELV üstünde	0	0	0	0	HGCZ üstünde	0	0

Elektrikli ekskavatörlerin maruziyet eylem değerine erişim süresi ($EAV_{TT(RMS)}$), en kötü durum eksenini üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması ($45:19:48 \pm 36:16:21$) sa olacak biçimde 11:43:32 sa ile 163:30:03 sa arasında değişmiştir. Diğer yandan elektrikli ekskavatörlerin maruziyet sınır değerine erişim süresi ($ELV_{TT(RMS)}$), en kötü durum eksenini üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması ($239:47:45 \pm 191:52:54$) sa olacak biçimde 62:01:40 sa ile 864:55:08 sa arasında değişmiştir. Bu durumda toplam 13 elektrikli ekskavatörden hiçbirisi 8 saatlik vardiya süresi bitmeden operatörü maruziyet eylem değerine ulaştıracak kadar titreşime maruz bırakmamaktadır. Dolayısıyla, vardiya süresi bitmeden maruziyet sınır değerine erişen operatör de bulunmamaktadır.

Net kayıt evresinde operatör koltuğunda X, Y ve en kötü durum Z ekseninde sırasıyla 7, 9 ve 11 elektrikli ekskavatörün doruk faktörü 9'dan büyük çıkmıştır. Özellikle Z ekseninde çok yüksek doruk faktörleri göze çarpmakta olup çalışma, düşük genlikli şoklar ile karakterize edilmektedir.

Doruk faktörü	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	5,815	7,042	6,155
En büyük	27,895	25,115	129,166
Ortalama	11,387	11,700	21,663
Standart sapma	5,815	4,724	31,231
≥9	7	9	11
<9	6	4	2

Elektrikli ekskavatör operatörlerinin maruz kaldığı TVT ivmesine ait frekans spektrumu 1/3 oktav bant dağılımı ile değerlendirildiğinde 0,4 Hz ile 80 Hz arasındaki merkez bant frekanslarına göre her ikisi de yatay düzlemdeki ortogonal eksenler boyunca oluşan titreşimin X ekseninde 20 Hz - 40 Hz aralığında, Y ekseninde 20 - 63 Hz aralığında yoğunlaştığı görülmektedir. Diğer yandan, Z eksenini incelendiğinde baskın frekans 2,5 Hz - 20 Hz aralığında ölçülmüştür. Her üç eksendeki TVT ivmelerine ait baskın frekans dağılımı Şekil 9.2'de verilmiştir.



Şekil 9.2 Elektrikli ekskavatörlerin A(8) değerlerinin 1/3 oktav baskın frekansları

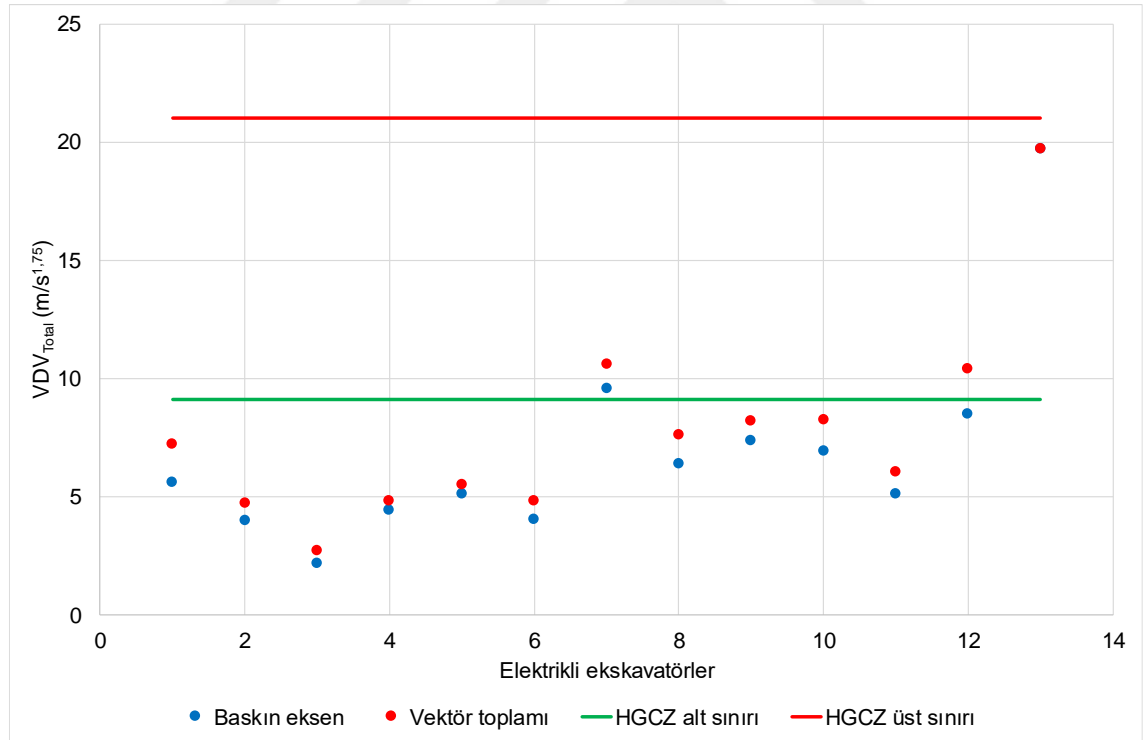
Operatör koltuğunun titreşim sönümlenme özelliğini gösteren koltuk etkinliği genlik geçirgenliği (SEAT) faktörü X eksenini için 1,039 ile 1,327 arasında, Y eksenini için 0,977 ile 1,521 arasında ve Z eksenini için 0,463 ile 1,686 arasında değişmiştir. Her üç ekseninde de zeminde oluşan titreşim elektrikli ekskavatörlerin bir kısmında koltukta sönümlenirken, bir kısmında şiddetlenmiştir. Buna göre titreşim; X ekseninde tüm elektrikli ekskavatörlerde şiddetlenmiş, benzer biçimde Y ekseninde de 1 elektrikli ekskavatörde sönümlenirken, 12 elektrikli ekskavatörde şiddetlenmiştir. Ancak zeminde oluşan titreşim Z ekseninde 11 elektrikli ekskavatörde koltukta sönümlenirken, 2

elektrikli ekskavatörde şiddetlenmiştir. Sonuç olarak operatör koltuğunun Z ekseninde titreşimi sönümlendiği belirlenmiştir.

9.2.2 Titreşim dozu üzerinden değerlendirme

Elektrikli ekskavatörlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT dozu değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde VDV_{Total} , ortalama ve standart sapması $(6,835 \pm 4,189)$ $m/s^{1,75}$ olacak biçimde 2,162 $m/s^{1,75}$ ile 19,720 $m/s^{1,75}$ arasında değişmiştir. Diğer yandan elektrikli ekskavatörlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $Vector_{1-3}$, ortalama ve standart sapması $(7,742 \pm 4,108)$ $m/s^{1,75}$ olacak biçimde 2,691 $m/s^{1,75}$ ile 19,735 $m/s^{1,75}$ arasında değişmiştir.

En yüksek titreşim dozu kaydedilen en kötü durum eksenini 5 elektrikli ekskavatörde X eksenini (Ch1), 1 elektrikli ekskavatörde Y eksenini (Ch2), 7 elektrikli ekskavatörde ise Z eksenini (Ch3) olmuştur. Tüm elektrikli ekskavatörlerin en kötü durum eksenini ve vektör toplamı ölçütlerine göre VDV_{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması Şekil 9.3'de sunulmuştur.



Şekil 9.3 Elektrikli ekskavatörlerin VDV_{Total} değerleri

Çizelge 9.3'de görüleceği üzere elektrikli ekskavatörlerin BS 6841 (1987), ISO 2631-1 (1997) standartları ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en

kötü durum ölçütü dikkate alındığında araçların büyük bölümünün EAV sınırı altında olduğu görülmektedir. Vektör toplamı açısından değerlendirme yapıldığında, ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) ölçütlerine göre EAV ile ELV bölgeleri arasında önemli geçişler bulunmamaktadır. Bu da, eksenlerden birisinin diğer ikisinden önemli oranda büyük olduğuna işaret etmektedir. BS 6841 (1987) standardı uyarınca değerlendirme yapıldığında da değişiklik bulunmamaktadır ve tehlike sınırı olan $15 \text{ m/s}^{1,75}$ üzerindeki bölgede 1 adet elektrikli ekskavatör bulunmaktadır.

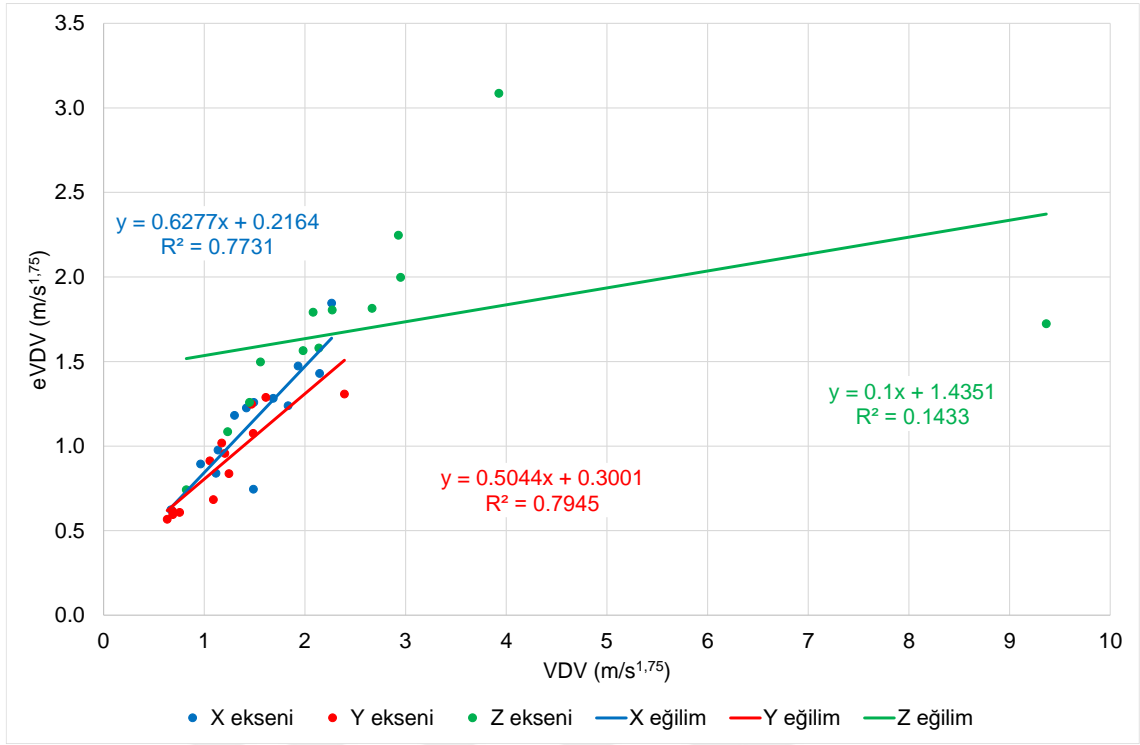
Çizelge 9.3 Elektrikli ekskavatör operatörlerinin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi

Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)	
	EKDE	VT	EKDE	VT	EKDE	VT
EAV altında	11	10	10	10	12	12
EAV içinde	2	3	2	2	-	-
ELV üstünde	0	0	1	1	1	1

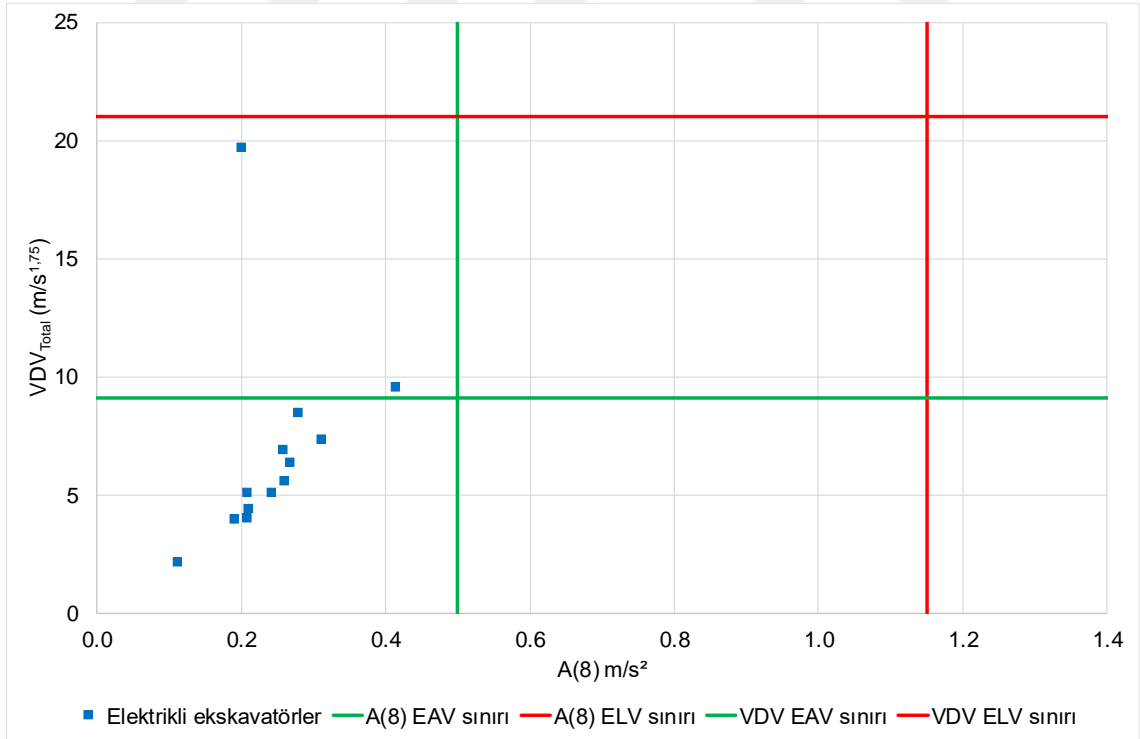
Tez çalışması kapsamında tüm elektrikli ekskavatörler için titreşim dozu değerleri (VDV) ölçülmüş ve kestirilen titreşim dozu değeri de ($eVDV$, $\text{m/s}^{1,75}$) BS 6841 (1987) standardı uyarınca hesaplanmıştır. Standartta $eVDV$ kestirimi için verilen formülün şoklar, tekrarlı şoklar ve geçici titreşimler için uygun olmadığı ve doruk faktörünün (PEAK/RMS) ≤ 6 olduğu durumlarda doğru sonuç vereceği ifade edilmektedir. Çalışmada örneklenen 13 adet elektrikli ekskavatörden X ekseninde 12 adedi, Y ekseninde 13 adedi, Z ekseninde ise 13 adedinde doruk faktörü 6'dan büyük çıkmıştır. Bu durum elektrikli ekskavatör operasyonlarında şokların büyük etkisinin bulunduğunu göstermektedir. Yine de, VDV ile RMS üzerinden kestirilen $eVDV$ arasındaki ilişkiyi göstermek amacıyla $eVDV$ değerleri hesaplanmıştır. Ancak doruk faktörünün >6 olduğu durumlarda 1,4'lük çarpan kullanılmamıştır. Sonuçta oluşan tabloda, her üç eksen için VDV – $eVDV$ ilişkisi Şekil 9.4'de verilmiştir. Her üç veri grubu için doğrusal regresyon analizi yapılmış olup belirlilik katsayıları %14,33 ile %79,45 arasında değişmektedir. Regresyon eşitliği Z ekseninde verilerin saçılımından ötürü VDV- $eVDV$ ilişkisini açıklayamamaktadır.

Elektrikli ekskavatörlerin maruziyet eylem değerine erişim süresi ($EAV_{TT(VDV)}$), en kötü durum eksenini üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması ($261:06:20 \pm 653:09:52$) sa olacak biçimde $00:21:46$ sa ile $2510:11:03$ sa arasında değişmiştir. Diğer yandan elektrikli ekskavatörlerin maruziyet sınır değerine erişim süresi ($ELV_{TT(VDV)}$), en kötü durum eksenini üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması ($7405:02:51 \pm 18523:58:24$) sa olacak biçimde $10:17:21$ sa ile $71189:42:32$ sa arasında değişmiştir. Bu durumda 13 elektrikli ekskavatörden 2 adedi operatörü vardiya bitmeden maruziyet eylem değerine eriştirecek titreşime maruz bırakırken, hiçbirisi maruziyet sınır değerine eriştirmemektedir.

Elektrikli ekskavatör operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile VDV_{total} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 9.5'de sunulmuştur. Her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan elektrikli ekskavatör bulunmamaktadır.



Şekil 9.4 Elektrikli ekskavatörlerin VDV – eVDV ilişkisi



Şekil 9.5 Elektrikli ekskavatör operatörlerinin A(8) – VDV_{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki

9.2.3 Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme

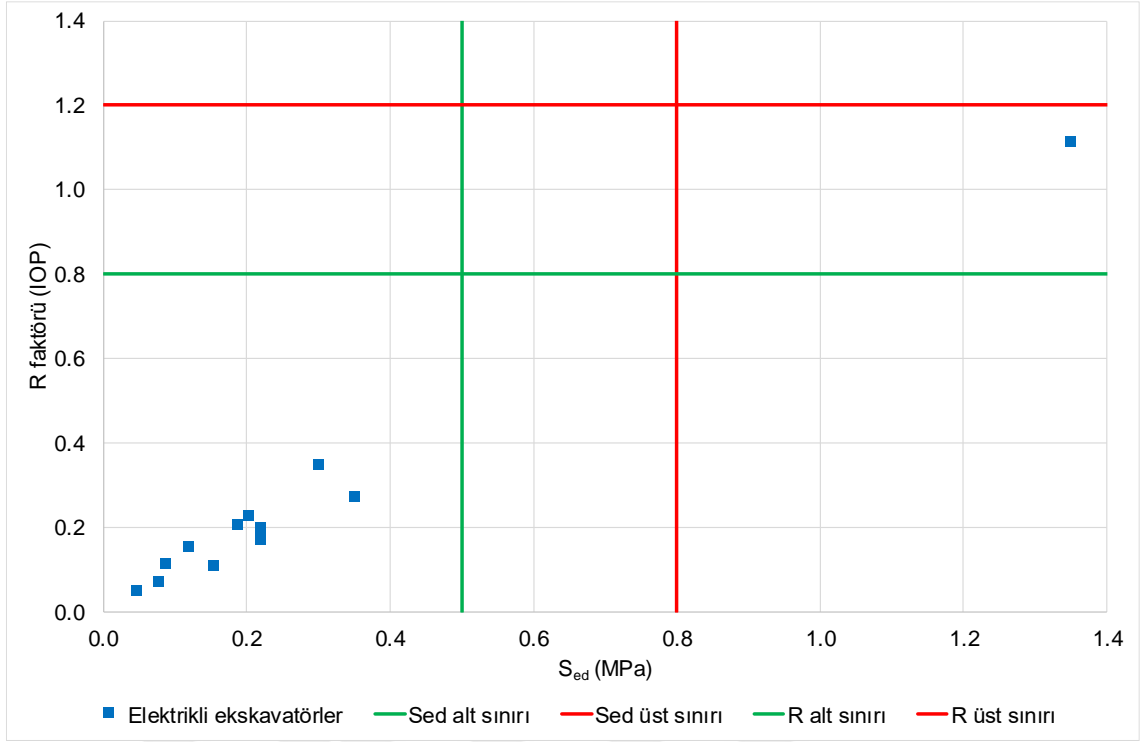
Elektrikli ekskavatörün operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri kullanılarak hesaplanan S_{ed} değerleri ortalama ve standart sapması $(0,271 \pm 0,320)$ MPa olacak biçimde 0,046 MPa ile 1,342 MPa arasında değişmiştir. Diğer yandan elektrikli ekskavatör operatörlerinin R(IOP) faktörleri, ortalama ve standart sapması $(0,248 \pm 0,261)$ olacak biçimde 0,050 ile 1,113 arasında, R(TOP) faktörleri ortalama ve standart sapması $(0,338 \pm 0,400)$ olacak biçimde 0,058 ile 1,679 arasında değişmiştir.

Tüm elektrikli ekskavatör operatörleri eşdeğer statik basınç dozu değeri (S_{ed}) ölçütüne göre değerlendirildiğinde; 12 operatör 0,5 MPa'dan düşük basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı düşük ve 1 operatör 0,8 MPa'dan yüksek basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı büyüktür.

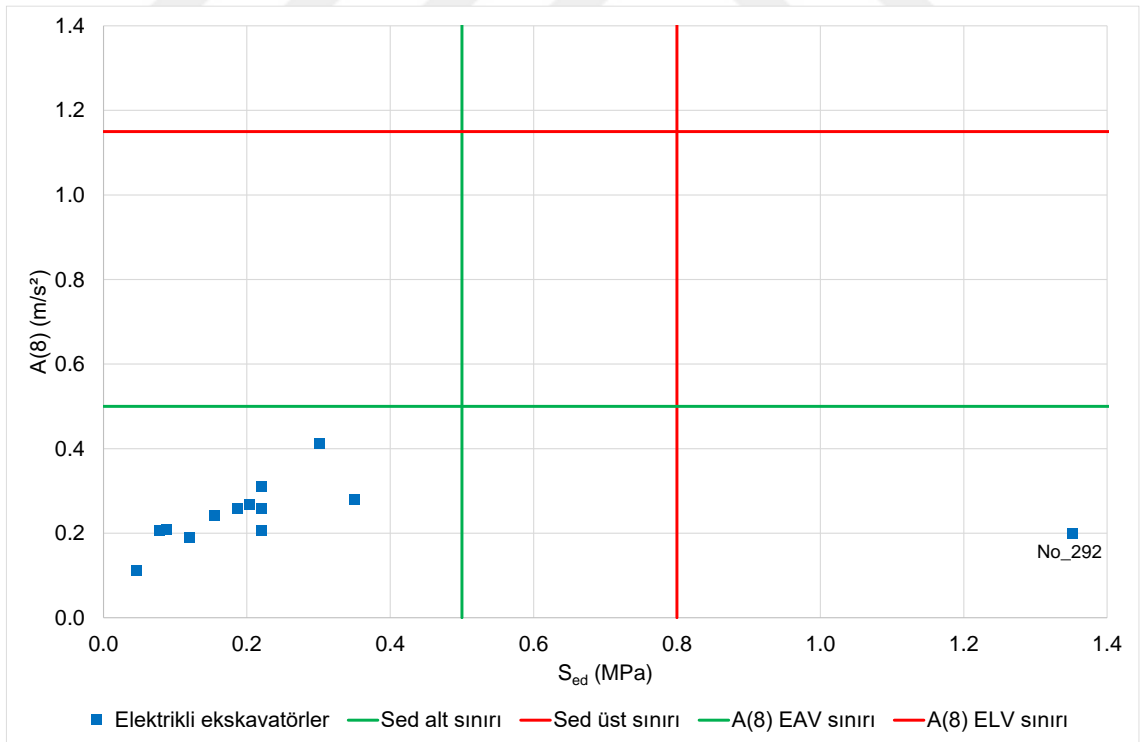
Elektrikli ekskavatör operatörleri günlük risk faktörü ölçütüne göre değerlendirildiğinde; 12 operatörün R faktörü 0,8'den düşük olup sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığı düşük ve 1 operatörün R faktörü 0,8 – 1,2 arası olduğundan sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığı orta düzeydedir. Elektrikli ekskavatör operatörlerinin her iki ölçüte göre risk sınırları ile karşılaştırılması Şekil 9.6'da sunulmuştur.

Elektrikli ekskavatör operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 9.7'de sunulmuştur. A(8) ELV sınırını aşan elektrikli ekskavatör yokken S_{ed} üst sınırını aşan 1 ekskavatör vardır. Bu durumda her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan elektrikli ekskavatör bulunmamaktadır.

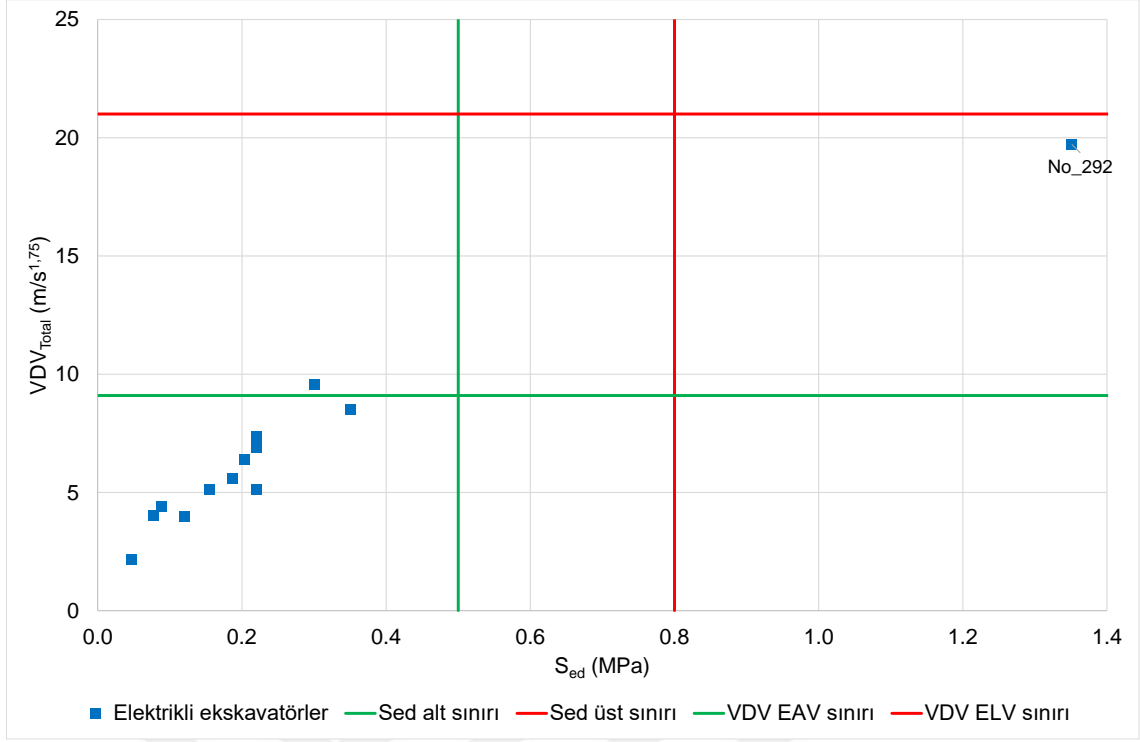
Elektrikli ekskavatör operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) VDV_{Total} ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 9.8'de sunulmuştur. VDV_{Total} ELV sınırını aşan elektrikli ekskavatör yokken S_{ed} üst sınırını aşan 1 ekskavatör vardır. Bu durumda her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan elektrikli ekskavatör bulunmamaktadır.



Şekil 9.6 Elektrikli ekskavatör operatörlerinin S_{ed} – R faktörü ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki



Şekil 9.7 Elektrikli ekskavatör operatörlerinin S_{ed} – A(8) ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki



Şekil 9.8 Elektrikli ekskavatör operatörlerinin S_{ed} – VDV_{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki

9.3 Evrelerin Değerlendirilmesi

9.3.1 Titreşim ivmesi üzerinden evrelerin değerlendirilmesi

Elektrikli ekskavatörlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $A(8)_{Seat}$ ve operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $Vector_{1-3}$, EAV ve ELV değerleri Çizelge 9.4'de verilmektedir. Operatörler, bekleme evresi dışındaki evrelerde benzer titreşime maruz kalmışlardır. Tüm elektrikli ekskavatörlerin en kötü durum eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre $A(8)_{Seat}$ değerlerinin EAV ve ELV sınırları ile karşılaştırılması Şekil 9.9a-d'de sunulmuştur.

Çizelge 9.5'de görüleceği gibi elektrikli ekskavatörlerin EU 2002/44/EC direktifi ve ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum ölçütü dikkate alındığında araçların hemen tümünün EAV ve HGZ sınırları altında olduğu görülmektedir. Vektör toplamı ölçütü dikkate alındığında ise birkaç ekskavatörün doldurma ve boşaltma evrelerinde EAV bölgesine geçmişlerdir. Her iki evre de diğer evrelere göre operatörü hafifçe daha yüksek titreşime maruz bırakmaktadır.

Çizelge 9.6'da en yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum ekseninin tüm evreler için değerleri verilmektedir. Evreler tek tek incelendiğinde en yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum eksenleri X (Ch1) ve Z (Ch3) olmuştur.

Doruk faktörünün eksenler ve evreler bazında değerleri Çizelge 9.7’de verilmektedir. Tüm evrelerde yatay düzlemdeki X ve Y eksenlerinde doruk faktörü büyük oranda 9’dan küçük çıkmıştır. Diğer tarafta, titreşimin daha yüksek olduğu doldurma ve boşaltma evrelerinde Z ekseninde 9’dan büyük doruk faktörü sayısı daha fazladır. Operatörler düşey Z ekseninde şoklara maruz kalırken, yatay X ve Y eksenlerinde kalmamışlardır.

Çizelge 9.4 Elektrikli ekskavatör döngü evrelerinde titreşim ivmesi parametreleri

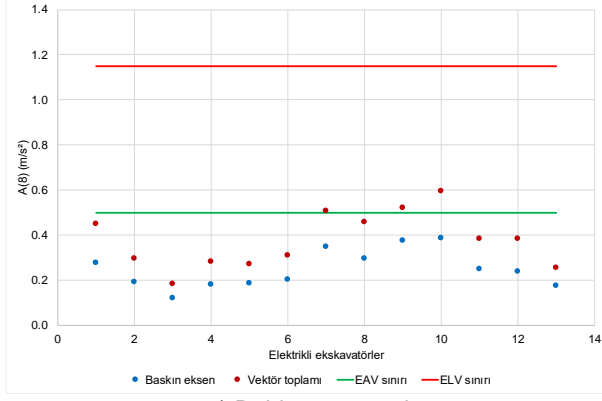
Evre	A(8) (m/s ²)				Vektör ₁₋₃ (m/s ²)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Doldurma	0,250	0,080	0,122	0,386	0,378	0,118	0,186	0,596
Boşaltma	0,242	0,082	0,122	0,465	0,354	0,123	0,180	0,653
İleri yürüme	0,240	0,040	0,190	0,291	0,341	0,029	0,292	0,372
Bekleme	0,122	0,064	0,031	0,218	0,169	0,087	0,045	0,324
Evre	EAV _{TT(RMS)} (sa)				ELV _{TT(RMS)} (sa)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Doldurma	>24	>24	13:23:43	>24	>24	>24	>24	>24
Boşaltma	>24	>24	09:14:59	>24	>24	>24	>24	>24
İleri yürüme	>24	12:29:24	23:35:08	>24	>24	>24	>24	>24
Bekleme	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24

Çizelge 9.5 Elektrikli ekskavatör döngü evrelerinde operatörlerin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi

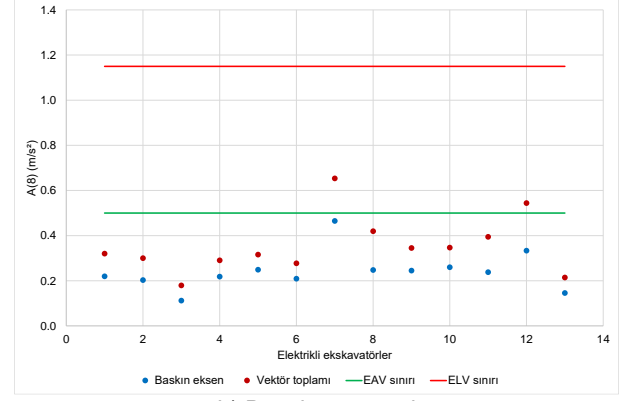
Evre	Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		Bölge	ISO2631-1 HGCZ Bölgesi	
		EKDE	VT	EKDE	VT		EKDE	VT
Doldurma	EAV altında	13	10	13	8	HGCZ altında	13	8
	EAV içinde	0	3	0	5	HGCZ içinde	0	5
	ELV üstünde	0	0	0	0	HGCZ üstünde	0	0
Boşaltma	EAV altında	13	11	12	11	HGCZ altında	12	11
	EAV içinde	0	2	1	2	HGCZ içinde	1	2
	ELV üstünde	0	0	0	0	HGCZ üstünde	0	0
İleri yürüme	EAV altında	5	5	5	5	HGCZ altında	5	5
	EAV içinde	0	0	0	0	HGCZ içinde	0	0
	ELV üstünde	0	0	0	0	HGCZ üstünde	0	0
Bekleme	EAV altında	10	10	10	10	HGCZ altında	10	10
	EAV içinde	0	0	0	0	HGCZ içinde	0	0
	ELV üstünde	0	0	0	0	HGCZ üstünde	0	0

Çizelge 9.6 Elektrikli ekskavatör döngü evrelerinde A(8) değerine göre en kötü durum eksenleri

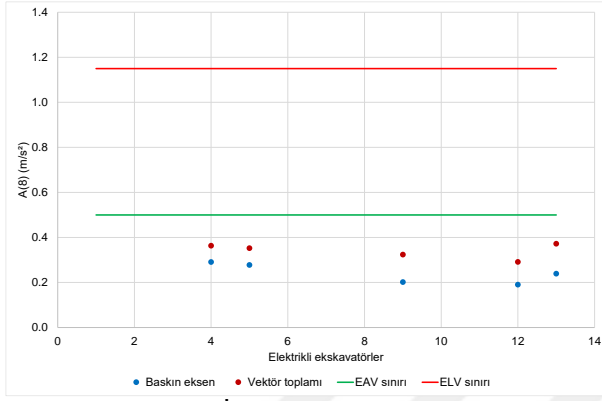
Evre	Elektrikli ekskavatör adedi		
	X (Ch1)	Y (Ch2)	Z (Ch3)
Doldurma	6	-	7
Boşaltma	6	1	6
İleri yürüme	3	-	2
Bekleme	2	4	4



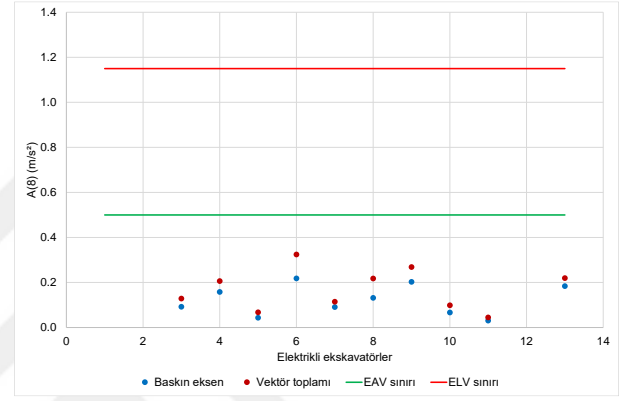
a) Doldurma evresi



b) Boşaltma evresi



c) İleri yürüme evresi



d) Bekleme evresi

Şekil 9.9 Elektrikli ekskavatör evrelerinde A(8) değerleri

Çizelge 9.7 Elektrikli ekskavatör döngü evrelerinde titreşim ivmesi doruk faktörleri

Doruk faktörü	Doldurma			Boşaltma		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	5,506	5,452	5,863	5,008	4,724	5,369
En büyük	12,034	12,088	14,472	13,286	22,189	17,031
Ortalama	8,163	8,499	9,990	7,518	8,133	9,476
Standart sapma	2,324	1,894	2,387	2,237	4,404	3,463
≥9	4	4	9	2	2	7
<9	9	9	4	11	11	6
Doruk faktörü	İleri yürüme			Bekleme		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	3,397	4,582	4,896	3,703	4,862	5,548
En büyük	6,833	7,262	7,638	39,328	22,233	139,696
Ortalama	4,739	5,591	5,784	10,876	8,677	23,246
Standart sapma	1,166	0,966	0,979	9,929	4,973	39,040
≥9	0	0	0	3	4	5
<9	5	5	5	7	6	5

Sürücü koltuğunun titreşim sönümlenme özelliğini gösteren koltuk etkinliği genlik geçirgenliği (SEAT) faktörü evreler bazındaki değerleri Çizelge 9.8'de verilmiştir. Zeminde oluşan titreşim tüm evrelerde, X ve Y eksenlerinde elektrikli ekskavatörlerin hemen tümünde koltukta şiddetlenmiştir. Tersine, çok düşük düzeyli titreşime maruz kalınan bekleme evresi haricinde Z ekseninde zeminde oluşan titreşim, koltukta sönümlenmiştir.

Çizelge 9.8 Elektrikli ekskavatör döngü evrelerinde titreşim ivmesi SEAT faktörleri

SEAT faktörü	Doldurma			Boşaltma		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	1,048	0,989	0,377	1,029	0,961	0,561
En büyük	1,276	1,463	1,056	1,460	1,475	0,996
<1	-	2	12	-	1	13
≥1	13	11	1	13	12	-
SEAT faktörü	İleri yürüme			Bekleme		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	1,025	1,071	0,578	1,015	0,978	0,532
En büyük	1,143	1,405	0,994	1,968	4,643	2,921
<1	-	-	5	-	1	4
≥1	5	5	-	10	9	6

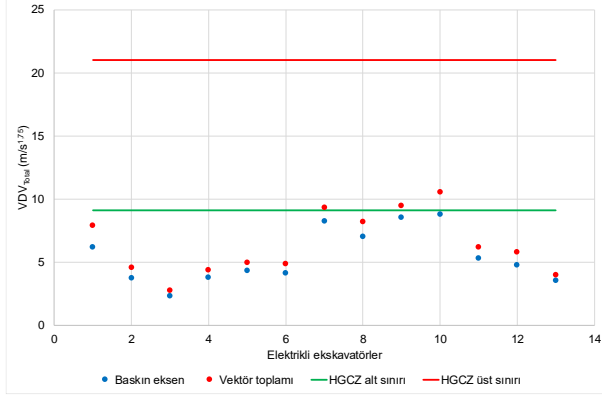
9.3.2 Titreşim dozu üzerinden evrelerin değerlendirilmesi

Elektrikli ekskavatörlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT dozu değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde VDV_{Total} ve operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $Vector_{1-3}$, EAV ve ELV değerleri Çizelge 9.9'da verilmektedir. Operatörler tüm evrelerde benzer titreşim dozuna maruz kalmıştır. Elektrikli ekskavatörlerin en kötü durum eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre VDV_{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması Şekil 9.10a-d'de sunulmuştur.

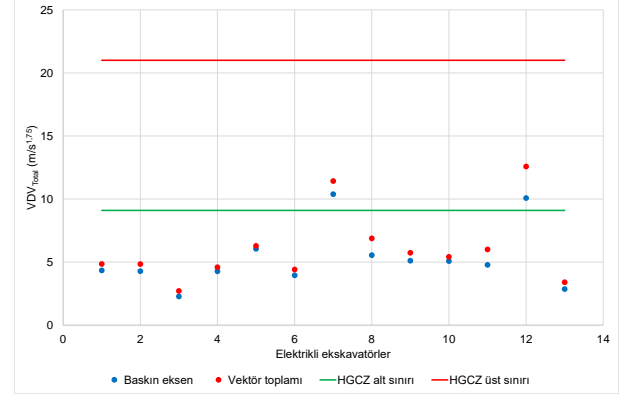
Çizelge 9.10'da görüleceği üzere elektrikli ekskavatörlerin BS 6841 (1987), ISO 2631-1 (1997) standartları ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum ölçütü dikkate alındığında araçların büyük bölümünün EAV sınırı altında, çok azının EAV bölgesi içinde olduğu görülmektedir. Vektör toplamı açısından değerlendirme yapıldığında, ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) ölçütlerine göre EAV ile ELV bölgeleri arasında önemli geçişler bulunmamaktadır.

Çizelge 9.9 Elektrikli ekskavatör döngü evrelerinde titreşim dozu parametreleri

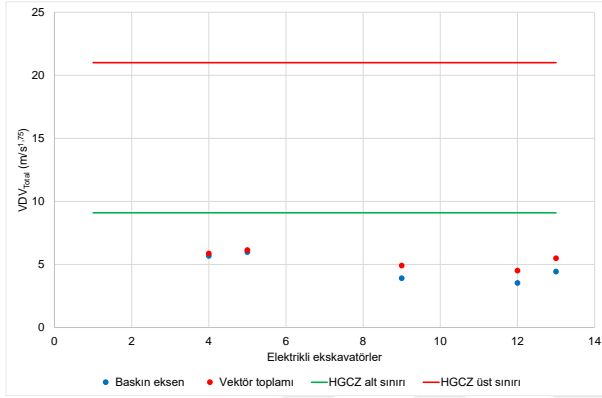
Evre	VDV_{Total} (m/s ^{1,75})				Vektör ₁₋₃ (m/s ^{1,75})			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Doldurma	5,436	2,039	2,310	8,779	6,384	2,352	2,754	10,542
Boşaltma	5,309	2,313	2,271	10,383	6,088	2,753	2,715	12,575
İleri yürüme	4,711	0,963	3,538	5,981	5,389	0,601	4,517	6,143
Bekleme	4,376	5,299	0,611	19,803	4,686	5,253	0,702	19,817
	EAV _{TT(VDV)} (sa)				ELV _{TT(VDV)} (sa)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Doldurma	>24	>24	09:14:13	>24	>24	>24	>24	>24
Boşaltma	>24	>24	04:43:16	>24	>24	>24	>24	>24
İleri yürüme	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24
Bekleme	>24	>24	00:21:24	>24	>24	>24	10:07:04	>24



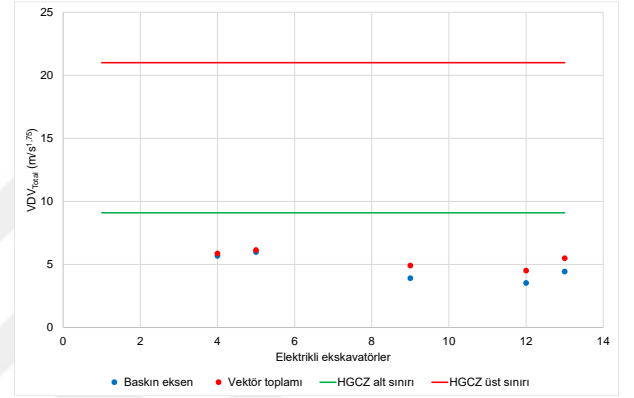
a) Doldurma evresi



b) Boşaltma evresi



c) İleri yürüme evresi



d) Bekleme evresi

Şekil 9.10 Elektrikli ekskavatör evrelerinde VDV_{Total} değerlerinin HG CZ sınırları ile karşılaştırılması

Çizelge 9.10 Elektrikli ekskavatör döngü evrelerinde operatörlerin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi

Evre	Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)	
		EKDE	VT	EKDE	VT	EKDE	VT
Doldurma	EAV altında	13	10	11	10	13	13
	EAV içinde	0	3	2	3	-	-
	ELV üstünde	0	0	0	0	0	0
Boşaltma	EAV altında	11	11	11	11	11	11
	EAV içinde	2	2	2	2	-	-
	ELV üstünde	0	0	0	0	2	2
İleri yürüme	EAV altında	5	5	5	5	5	5
	EAV içinde	0	0	0	0	-	-
	ELV üstünde	0	0	0	0	0	0
Bekleme	EAV altında	9	9	9	9	9	9
	EAV içinde	1	1	0	0	-	-
	ELV üstünde	0	0	1	1	1	1

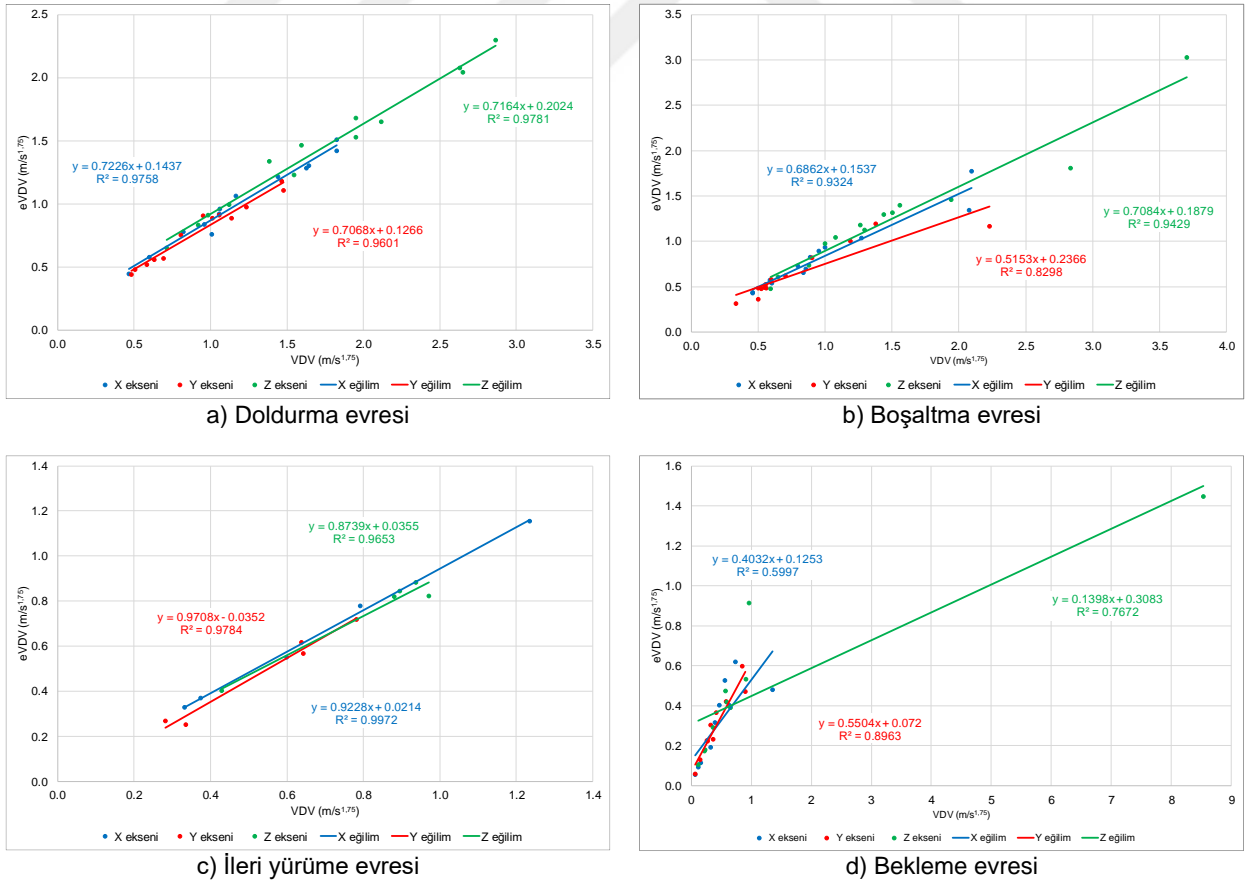
Çizelge 9.11'de en yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum ekseninin tüm evreler için değerleri verilmektedir. Evreler tek tek incelendiğinde en yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum eksen Z (Ch3) olmuştur.

Çizelge 9.11 Elektrikli ekskavatör döngü evrelerinde VDV_{Total} değerine göre en kötü durum eksenleri

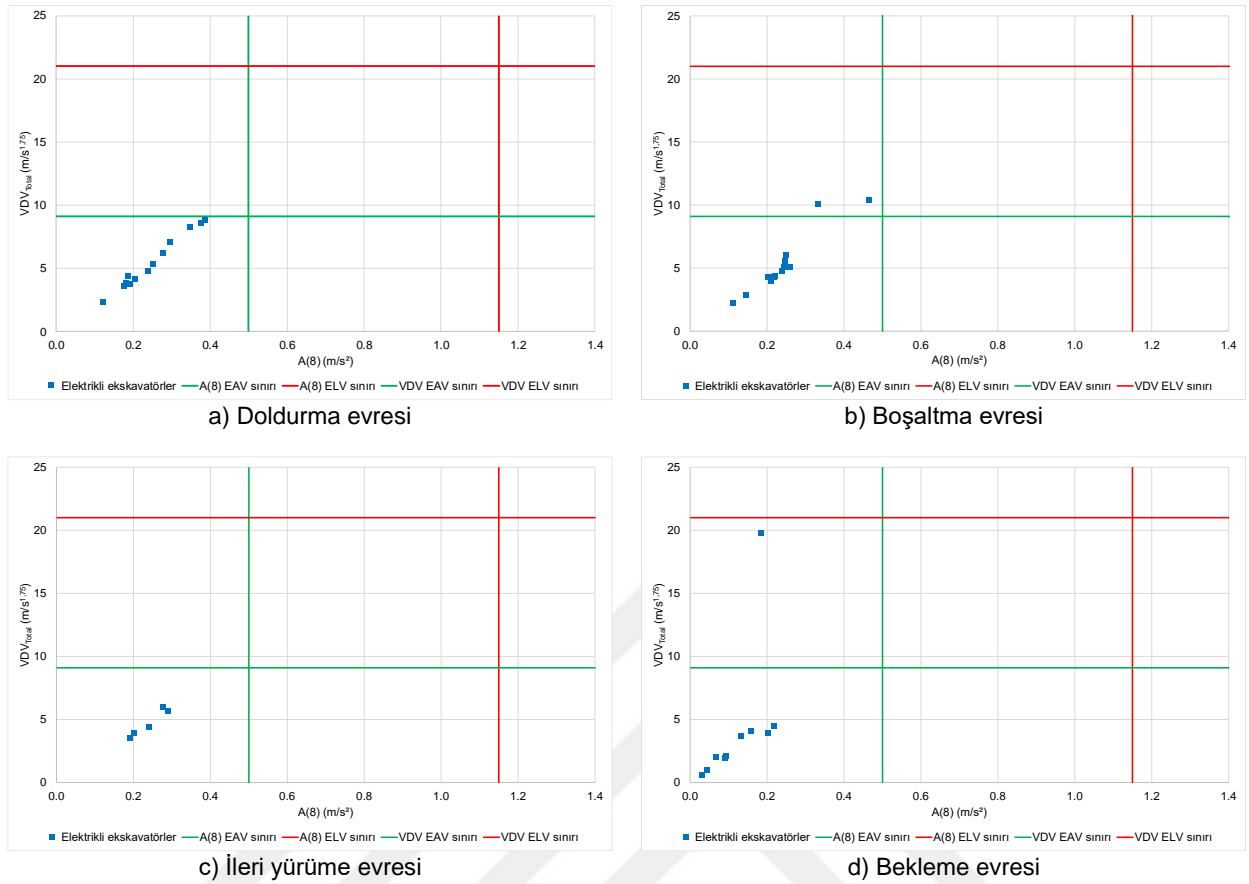
Evre	Elektrikli ekskavatör adedi		
	X (Ch1)	Y (Ch2)	Z (Ch3)
Doldurma	5	1	7
Boşaltma	4	2	7
İleri yürüme	2	1	2
Bekleme	3	2	5

Tüm elektrikli ekskavatörlerin titreşim dozu değerleri (VDV) ve kestirilen titreşim dozu değeri (eVDV, $m/s^{1.75}$) arasındaki ilişki BS 6841 (1987) standardı uyarınca hesaplanmıştır. Çizelge 9.12 ileri yürüme evresi haricinde elektrikli ekskavatör operasyonlarında şokların etkisinin bulunduğunu göstermektedir. Yine de, VDV ile RMS üzerinden kestirilen eVDV arasındaki ilişkiyi göstermek amacıyla eVDV değerleri hesaplanmıştır. Ancak doruk faktörünün >6 olduğu durumlarda 1,4'lük çarpan kullanılmamıştır. Sonuçta oluşan tabloda, her üç eksen için VDV – eVDV ilişkisi Şekil 9.11a-d'de verilmiştir.

Elektrikli ekskavatör operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile VDV_{total} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 9.12a-d'de sunulmuştur. Tüm evrelerde her iki ölçüt birlikte değerlendirildiğinde ELV sınırını geçerek sağlık riskine maruz kalan operatör bulunmamaktadır.



Şekil 9.11 Elektrikli ekskavatör evrelerinde VDV – eVDV ilişkisi



Şekil 9.12 Elektrikli ekskavatör operatörlerinin evrelerdeki $A(8) - VDV_{Total}$ ilişkisi

Çizelge 9.12 Elektrikli ekskavatör evrelerinin doruk faktörü değerleri

Doruk faktörü	Doldurma			Boşaltma		
	VDV_x	VDV_y	VDV_z	VDV_x	VDV_y	VDV_z
≥ 6	10	11	12	9	10	10
< 6	3	2	1	4	3	3
R^2	0,98	0,96	0,98	0,93	0,83	0,94
Doruk faktörü	İleri yürüme			Bekleme		
	VDV_x	VDV_y	VDV_z	VDV_x	VDV_y	VDV_z
≥ 6	1	1	1	8	6	8
< 6	4	4	4	2	4	2
R^2	1,00	0,99	0,97	0,60	0,90	0,77

9.3.3 Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden evrelerin değerlendirilmesi

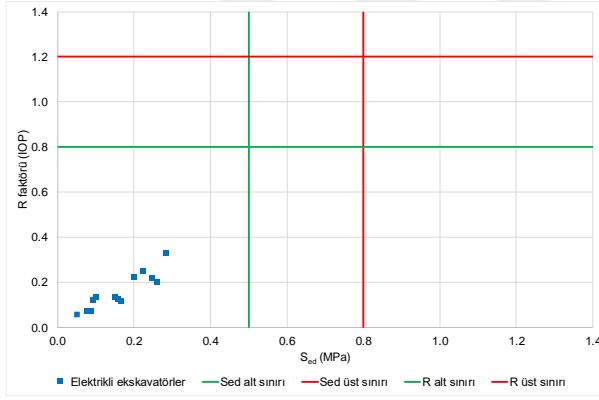
Elektrikli ekskavatörlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri kullanılarak hesaplanan S_{ed} değerleri, $R(IOP)$ ve $R(TOP)$ faktörleri Çizelge 9.13'de verilmektedir. En yüksek S_{ed} , $R(IOP)$ ve $R(TOP)$ değerleri bekleme evresinde meydana gelirken, en düşük değer ileri yürüme evresinde olmuştur.

Tüm elektrikli ekskavatör operatörleri eşdeğer statik basınç dozu değeri (S_{ed}) ölçütüne göre değerlendirildiği sonuçlar Çizelge 9.14'de verilmektedir. Tüm evrelerde operatörlerin hemen tümü

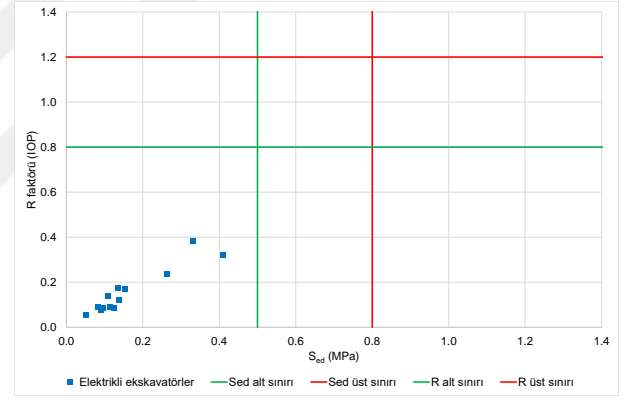
0,5 MPa'dan düşük basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı düşüktür. Operatörler günlük risk faktörü ölçütüne göre değerlendirildiğinde de büyük bir çoğunluğuna ait R faktörü 0,8'den düşük olup sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığı düşüktür. Elektrikli ekskavatör operatörlerinin her iki ölçüte göre risk sınırları ile karşılaştırılması Şekil 9.13a-d'de sunulmuştur. Tüm evrelerde her iki ölçütün risk sınırını geçen değer olmadığından, iki ölçüt birlikte değerlendirildiğinde sağlık riskine maruz kalan operatör bulunmamaktadır.

Çizelge 9.13 Elektrikli ekskavatör döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörleri

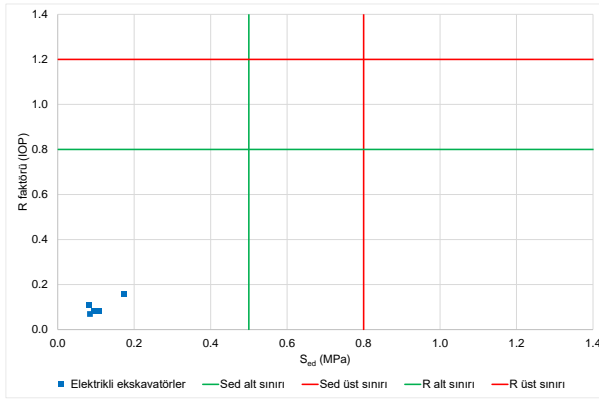
Evre	S_{ed} (MPa)				R(IOP) faktör				R(TOP) faktör			
	Ort.	Std. sapma	En küçük	En büyük	Ort.	Std. sapma	En küçük	En büyük	Ort.	Std. sapma	En küçük	En büyük
Doldurma	0,161	0,073	0,051	0,282	0,158	0,077	0,055	0,328	0,201	0,091	0,064	0,353
Boşaltma	0,160	0,102	0,052	0,408	0,156	0,097	0,055	0,381	0,200	0,127	0,065	0,510
İleri yürüme	0,107	0,033	0,082	0,171	0,100	0,031	0,070	0,156	0,134	0,041	0,103	0,214
Bekleme	0,209	0,409	0,017	1,432	0,186	0,337	0,012	1,188	0,262	0,512	0,021	1,791



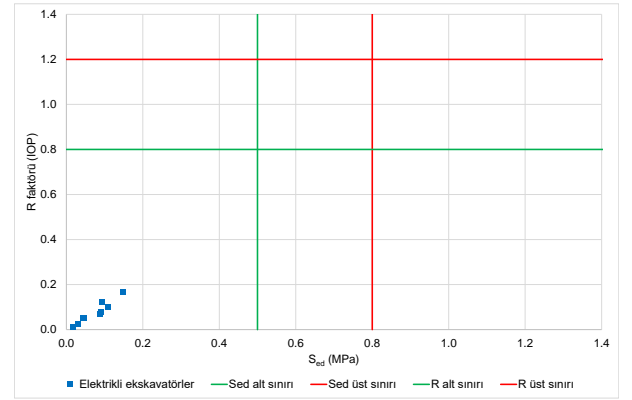
a) Doldurma evresi



b) Boşaltma evresi



c) İleri yürüme evresi



d) Bekleme evresi

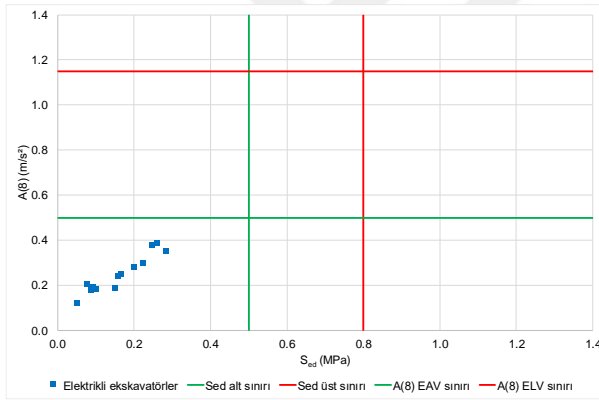
Şekil 9.13 Elektrikli ekskavatör operatörlerinin evreler bazında S_{ed} – R faktörü ilişkisi

Çizelge 9.14 Elektrikli ekskavatör döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörüne göre sağlık riski

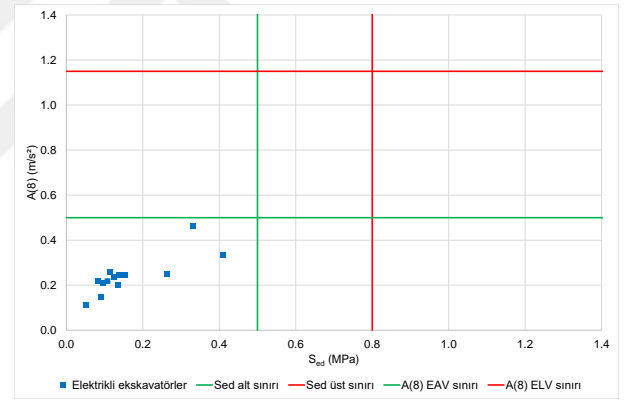
Evre	S_{ed} (MPa)		
	<0,5	0,5 – 0,8	>0,8
Doldurma	13	-	-
Boşaltma	13	-	-
Boş dönüş	5	-	-
Dolu dönüş	9	-	1

Evre	R faktörü		
	<0,8	0,8 – 1,2	>1,2
Doldurma	13	-	-
Boşaltma	13	-	-
Boş dönüş	5	-	-
Dolu dönüş	9	1	-

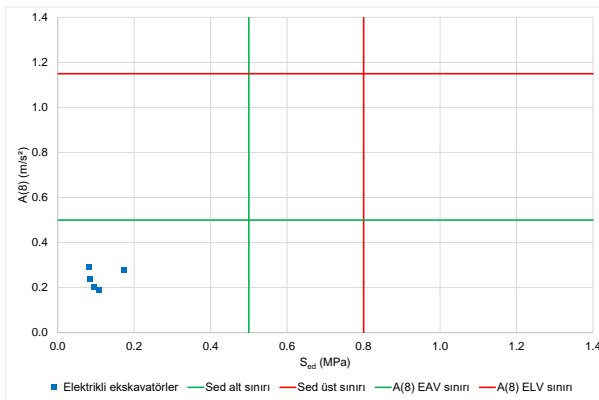
Elektrikli ekskavatör operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 9.14a-d'de sunulmuştur. Tüm evrelerde her iki ölçütün risk sınırını geçen değer olmadığından, iki ölçüt birlikte değerlendirildiğinde sağlık riskine maruz kalan operatör bulunmamaktadır.



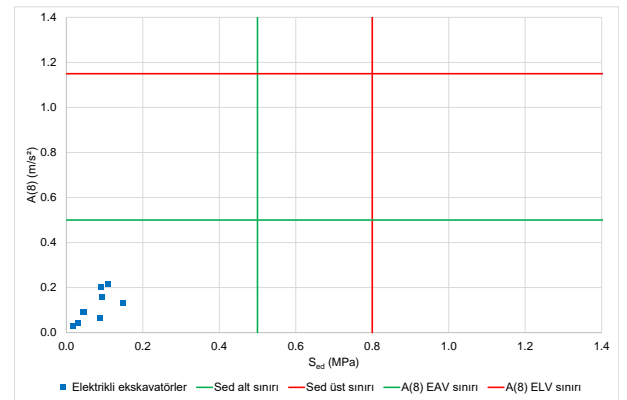
a) Doldurma evresi



b) Boşaltma evresi



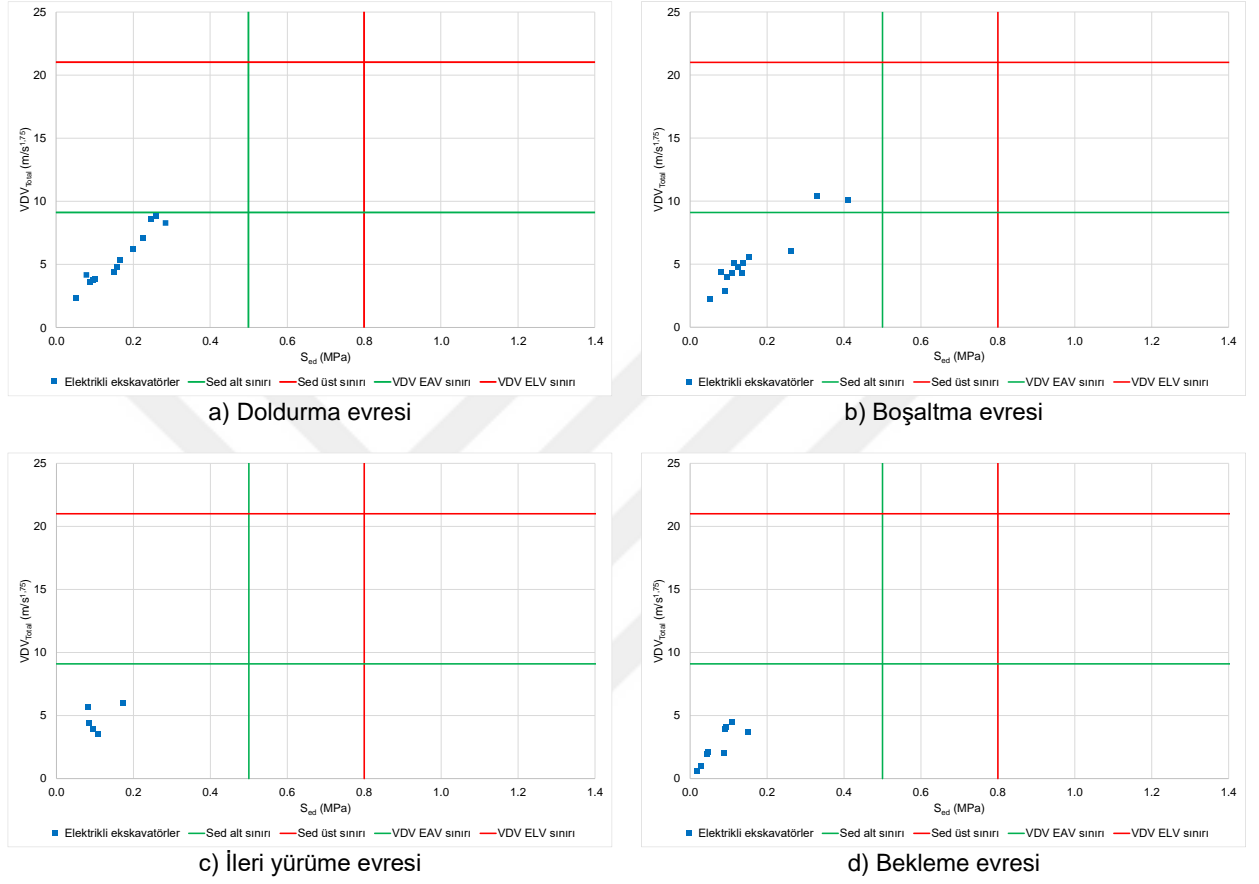
c) İleri yürüme evresi



d) Bekleme evresi

Şekil 9.14 Elektrikli ekskavatör operatörlerinin evreler bazında S_{ed} – A(8) ilişkisi

Elektrikli ekskavatör operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) VDV_{Total} ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 9.15a-d’de sunulmuştur. Burada da tüm evrelerde her iki ölçütün risk sınırını geçen değer olmadığından, iki ölçüt birlikte değerlendirildiğinde sağlık riskine maruz kalan operatör bulunmamaktadır.



Şekil 9.15 Elektrikli ekskavatör operatörlerinin evreler bazında S_{ed} – VDV_{Total} ilişkisi

9.4 İstatistiksel Analizler

9.4.1 Döngü evre gruplarının TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Döngü evreleri bazında aşağıdaki sayıda elektrikli ekskavatörden ölçüm alınmıştır: boşaltma 13, bekleme 10, ileri yürüme 5 ve doldurma 13. TVT ölçümleri alınan ekskavatörlerin titreşim ivmesi ve dozu değerlerinin kullanıldığı analizlerde önce betimleyici istatistiksel değerler hesaplanmış, sonra da hipotez testleri yapılmıştır. Çizelge 9.15’de evreler bazında betimleyici istatistikler verilmiştir. Tüm evreler için benzer titreşim ivmesi ve dozu değerleri okunmaktadır. Titreşim ivmesi ve dozu ortalamaları karşılaştırıldığında en küçük maruziyet bekleme evresinde oluşmaktadır.

Evreler bazında TVT ivmesi ve dozu değerlerinin ekskavatör döngüsünü oluşturan manevralar bazında anlamlı biçimde değişip değişmediği, hipotez testleri aracılığıyla araştırılmıştır. Evre verisinin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testi (çarpıklık-basıklık ilişkisi) yapılarak

değerlendirilmiş ve TVT ivmesi için tüm evre verisinin normal dağılıma uygun olduğu; titreşim dozu içinde bekleme evresi hariç diğer evrelerin normal dağılıma uygun olduğu belirlenmiştir (Sig. > 0,05). Varyansların homojenliği testine göre TVT ivmesi ve dozu grup varyansı homojendir (Sig_{A(8)} = 0,630; Sig_{VDV_{Total}} = 0,369). TVT ivmesi ve dozu için ekskavatör döngüsünü oluşturan evrelerin ortalamaları arasındaki farklılığın anlamlı olup olmadığı *Tukey* testi ile incelenmiştir (Çizelge 9.16).

Çizelge 9.16'da verilen çoklu karşılaştırma testi sonucunda titreşim ivmesi için bekleme evresi ile tüm evreler arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. Titreşim dozu için de evreler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı belirlenmiştir.

Çizelge 9.15 Elektrikli ekskavatör döngüsünü oluşturan evrelerin betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Evre	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	boşaltma	13	,24200	,085747	,023782	,112	,465
	ileri yürüme	5	,24000	,044693	,019987	,190	,291
	yükleme	13	,24962	,083004	,023021	,122	,386
	bekleme	10	,12190	,067020	,021194	,031	,218
VDV _{Total}	boşaltma	13	5,30877	2,407882	,667826	2,271	10,383
	ileri yürüme	5	4,71100	1,077070	,481680	3,538	5,981
	yükleme	13	5,43592	2,122744	,588743	2,310	8,779
	bekleme	10	4,37560	5,586079	1,766473	,611	19,803

Çizelge 9.16 Elektrikli ekskavatör döngüsü evrelerinin çoklu karşılaştırması

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)
TUKEY HSD	boşaltma	ileri yürüme	,002000	TUKEY HSD	boşaltma	ileri yürüme	,597769
		yükleme	-,007615			yükleme	-,127154
		bekleme	,120100*			bekleme	,933169
	ileri yürüme	boşaltma	-,002000	TUKEY HSD	ileri yürüme	boşaltma	-,597769
		yükleme	-,009615			yükleme	-,724923
		bekleme	,118100*			bekleme	,335400
	yükleme	boşaltma	,007615	TUKEY HSD	yükleme	boşaltma	,127154
		ileri yürüme	,009615			ileri yürüme	,724923
		bekleme	,127715*			bekleme	1,060323
	bekleme	boşaltma	-,120100*	TUKEY HSD	bekleme	boşaltma	-,933169
		ileri yürüme	-,118100*			ileri yürüme	-,335400
		yükleme	-,127715*			yükleme	-1,060323

9.4.2 Elektrikli ekskavatör kova kapasitesinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi

TVT ivmesi ve dozu düzeylerinin ekskavatörlerin kova kapasitesindeki farklılıklar ile anlamlı biçimde değişip değişmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. 1 adet 15 yd³ ekskavatör olduğu için bu ekskavatör 10 yd³lik ekskavatör grubu ile birleştirilmiştir. Gruplar aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

- 10-15 yd³ → 3 adet
- 20 yd³ → 7 adet
- 25 yd³ → 3 adet

Bu çalışmada örneklem sayısı yeterli düzeyde olduğu için normal dağılıma uygunluk Shapiro-Wilk testi üzerinden değerlendirilmiştir. TVT ivmesi ve dozu değerleri normal dağılıma uygun (Sig. \geq 0,05) çıkmıştır. Varyansların homojenliği testi sonucuna göre titreşim ivmesi grup varyanslarının homojen olduğu; titreşim dozu grup varyanslarının homojen olmadığı (Sig_{A(8)} = 0,751 ve Sig_{VDV_{Total}} = 0,001) sonucuna varılmıştır. Ekskavatör kapasitesi gruplarının betimleyici istatistikleri Çizelge 9.17’de verilmiştir. 20 yd³ kova kapasitesine sahip ekskavatörlerin en yüksek TVT ivmesi değerine sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 9.17 Ekskavatör kova kapasitesi gruplarının betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Kapasite grubu	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	10 yd ³	3	,17233	,053267	,030754	,111	,207
	20 yd ³	7	,28214	,065905	,024910	,207	,413
	25 yd ³	3	,21933	,035642	,020578	,190	,259
VDV _{Total}	10 yd ³	3	8,63033	9,648232	5,570409	2,162	19,720
	20 yd ³	7	6,99657	1,662447	,628346	5,108	9,581
	25 yd ³	3	4,66367	,832947	,480902	3,990	5,595

Tek yönlü varyans analizi sonuçlarına göre yine H₀ hipotezi uyarınca grupların ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna varılmıştır (Sig_{A(8)} = 0,053 ve Sig_{VDV_{Total}} = 0,574).

Ekskavatör kapasite grup ortalamaları arasındaki farklılık çoklu karşılaştırma tablosunda titreşim ivmesi için *Tukey* testi; titreşim dozu için de *Tamhane* testi baz alınarak ikilik gruplar arasındaki incelenmiştir (Çizelge 9.18). Buna göre titreşim ivmesi ve dozu için tüm gruplar arasında anlamlı bir farklılık yoktur. Dolayısıyla operatörlerin maruz kaldığı TVT ivmesi ve dozu, ekskavatör kova kapasitesinden bağımsızdır.

Çizelge 9.18 Elektrikli ekskavatör kova kapasitesi gruplarının çoklu karşılaştırması

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)
TUKEY	10 yd ³	20 yd ³	-,109810	TAMHANE	10 yd ³	20 yd ³	1,633762
		25 yd ³	-,047000			25 yd ³	3,966667
HSD	20 yd ³	10 yd ³	,109810		20 yd ³	10 yd ³	-1,633762
		25 yd ³	,062810			25 yd ³	2,332905
	25 yd ³	10 yd ³	,047000		25 yd ³	10 yd ³	-3,966667
		20 yd ³	-,062810			20 yd ³	-2,332905

9.4.3 Operatör yaşının TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Elektrikli ekskavatör operatör yaşının TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Bu analizde, operatör yaşları 10 yıllık kategorilere ayrılmıştır. Buna göre yaş aralıklarında aşağıdaki sayıda operatör bulunmaktadır;

- a) 31-40 → 6 operatör
- b) 41-50 → 4 operatör
- c) ≥51 → 3 operatör

Shapiro-Wilk testi ile yapılan normal dağılıma uygunluk analizi sonucunda operatör yaş grubu TVT ivmesi ve dozu değerleri normal dağılıma uygun ($Sig. \geq 0,05$) çıkmıştır. Varyansların homojenliği testi sonucuna göre titreşim ivmesi ve dozu grup varyanslarının homojen olduğu belirlenmiştir ($Sig_{A(8)} = 0,067$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,467$). Operatör yaş gruplarının betimleyici istatistikleri Çizelge 9.19'da verilmiştir. En yüksek titreşim ivmesine ≥51 yaş grubunun, titreşim dozuna ise 31-40 yaş grubu operatörlerin maruz kaldığı görülmektedir.

Çizelge 9.19 Operatör yaş gruplarının betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Yaş grubu	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	31-40	6	,24900	,042497	,017349	,199	,310
	41-50	4	,21100	,071777	,035889	,111	,267
	≥51	3	,27067	,123630	,071378	,190	,413
VDV _{Total}	31-40	6	8,60317	5,679856	2,318791	4,009	19,720
	41-50	4	4,81550	1,846872	,923436	2,162	6,396
	≥51	3	5,99233	3,114829	1,798347	3,990	9,581

Tek yönlü varyans analizi sonuçlarına göre H_0 hipotezi kabul edilmiş ve grupların ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna varılmıştır ($Sig_{A(8)} = 0,568$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,411$). Operatör yaş grubu ortalamaları arasındaki farklılık çoklu karşılaştırma tablosunda *Tukey* testi baz alınarak ikilik gruplar arasındaki incelenmiştir (Çizelge 9.20). Buna göre, titreşim ivmesi ve dozu için tüm gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur.

Çizelge 9.20 Operatör yaş gruplarının çoklu karşılaştırması

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)
TUKEY	31-40	41-50	,038000	TUKEY	31-40	41-50	3,787667
		≥51	-,021667			HSD	≥51
HSD	31-40	31-40	-,038000	HSD	31-40	31-40	-3,787667
		≥51	-,059667			≥51	≥51
	≥51	31-40	,021667		≥51	31-40	-2,610833
		41-50	,059667			41-50	41-50

9.4.4 Operatör deneyiminin TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Operatör deneyiminin TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Başlangıçta operatör grupları 10 yıllık deneyim bazında oluşturulmuş olsa da 20 yıldan fazla tecrübeli yalnızca 1 operatör bulunmaktadır. Tek elemanlı

gruplar ile çok yönlü istatistiksel analiz yapılamadığından, 10 yıllık operatör deneyimi grupları aşağıda gibi yeniden düzenlenmiştir;

- a) 1-10 → 9 operatör
- b) >11 → 4 operatör

Shapiro-Wilk testi ile yapılan normal dağılıma uygunluk analizi sonucunda operatör deneyimi grubu için TVT ivmesi ve dozu değerleri normal dağılıma uygun (Sig. $\geq 0,05$) çıkmıştır. Operatör deneyimi gruplarının betimleyici istatistikleri Çizelge 9.21'de verilmiştir.

Çizelge 9.21 Operatör deneyimi grupları için varyansların grup istatistikleri

Bağımlı değişken	Deneyim grubu	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata
A(8)	1-10	9	,23033	,059015	,019672
	>11	4	,26925	,099332	,049666
VDV _{Total}	1-10	9	5,28167	1,932573	,644191
	>11	4	10,33075	6,523492	3,261746

Operatör deneyimi grup ortalamaları arasındaki farklılık bağımsız örneklem t-testi yöntemi ile incelenmiştir. Çizelge 9.22 incelendiğinde, a_w için grup varyanslarının eşit olduğunu kabul eden önem derecesi değerleri 0,05'ten büyük olduğundan t-testi için varyansların eşit olduğu önem değerleri kontrol edilmiş; VDV için grup varyanslarının eşit olduğunu kabul eden önem derecesi değerleri 0,05'ten küçük olduğundan t-testi için varyansların eşit olmadığı önem değerleri kontrol edilmiştir. İki-yönlü önem değeri, tek-yönlü değer iki katı olduğundan t-testi değeri ikiye bölünmüştür (Sig_{A(8)} = 0,195, Sig_{VDV_{Total}} = 0,015). A(8) önem değeri 0,05'ten büyük olduğundan H₀ hipotezi kabul edilmiş olup grup ortalamaları arasında farklılık yoktur. VDV_{Total} önem değeri ise 0,05'den küçük olduğundan H₁ hipotezi kabul edilerek grup ortalamaları arasında anlamlı farklılık olduğu sonucuna varılmıştır. Çizelge 9.21'de görüldüğü gibi >11 yıllık deneyime sahip operatörler daha çok titreşim dozuna maruz kalmaktadırlar.

Çizelge 9.22 Operatör deneyimi grupları için bağımsız örneklem testi

Bağımlı değişken	Varyanslar	Varyansların eşitliği Levene testi			Ortalamaların eşitliği t-testi			
		F	Önem	t	Serb. Dere.	Önem (2 kuyr.)	Ortalama-ların farkı	Farkın standart hatası
A(8)	Eşit	1,170	,303	-,896	11	,389	-,038917	,043433
	Eşit değil			-,729	3,978	,507	-,038917	,053420
VDV _{Total}	Eşit	6,328	,029	-2,220	11	,048	-5,049083	2,274199
	Eşit değil			-1,519	3,237	,220	-5,049083	3,324751

10 TİTREŞİMLİ SİLİNDİRLERİN TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ ve DEĞERLENDİRİLMESİ

10.1 Genel

Bu çalışma kapsamında farklı tip ve modelde toplam 11 adet titreşimli silindirden TVT maruziyeti ölçümleri alınmış ve analiz edilmiştir. Titreşimli silindirlerin iş döngüsünün aşağıdaki evrelerden oluştuğu kabul edilerek ölçümler, silindirlerin bir tam turunu kapsayacak biçimde kayıt alınmıştır.

- a) Tüm kayıt (Whole data); Silindirlerin tipik iş döngüsündeki tüm evreleri kapsayacak biçimde, araç hareketi öncesi ve döngü bitişi sonrası durağan haller de dahil olmak üzere alınan tüm kaydın brüt TVT maruziyetini göstermektedir. Operatörün TVT maruziyeti hesaplarında kullanılmamaktadır.
- b) Net kayıt (RECORD); Silindirlerin tipik iş döngüsündeki tüm evreleri kapsamakta ve bu süredeki TVT maruziyetini göstermektedir. Hareketin başında operatörün koltuğa yerleşme ve hareketin sonunda koltuktan kalkma çabaları sırasında koltuk üzerindeki disk tipi ivmeölçer ile kabin zeminindeki ivmeölçere şok etkilerinden kaynaklanabilen çok yüksek titreşim ivmeleri ayıklanarak, analizlerden çıkartılmaktadır. Operatörün genel TVT maruziyetini temsil etmekte ve hesaplarda kullanılmaktadır.
- c) İleri sıkıştırma (COMPACT FORWARD); Silindirin yavaş ilerleme hızında ve titreşim modunda zemini sıkıştırma amacıyla ileri yönlü olarak yaptığı hareket sırasında maruz kalınan titreşim kaydedilmektedir.
- d) Geri sıkıştırma (COMPACT BACKWARD); Silindirin yavaş ilerleme hızında ve titreşim modunda zemini sıkıştırma amacıyla geri yönlü olarak yaptığı hareket sırasında maruz kalınan titreşim kaydedilmektedir.
- e) İleri yürüme (FORWARD); Silindirin normal çalışma temposundan daha hızlı ve titreşim modunda olmadan ileri yönlü ilerleme hareketi yaparken maruz kalınan titreşimi temsil etmek için kaydedilmektedir.
- f) Geri yürüme (RETURN); Silindirin normal çalışma temposundan daha hızlı ve titreşim modunda olmadan geriye doğru ilerleme hareketi yaparken maruz kalınan titreşim kaydedilmektedir.
- g) Bekleme (WAIT); Silindir herhangi bir evre içerisinde iken durmak ve motor devinimi askıda iken beklemek durumunda kaldığında, ayrı bir evre olarak alınmakta ve bu sırada maruz kalınan titreşim kaydedilmektedir.

Silindirlerin 2 adedi orta, 9 adedi büyük kapasiteye sahiptir. 2 adedi titreşimsiz, 9 adedi titreşimli özelliktedir. 7 adet tek tamburlu (single drum), 2 adet çift tamburlu (double drum), 2 adet ise lastik tekerlekli (pneumatic-tyred, PT) özelliktedir. Çizelge 10.1'de TVT ölçümü alınan silindirlerin işletmelere dağılımı ile temel çalışma özellikleri verilmiştir.

Çizelge 10.1 Titreşimli silindirlerin temel bilgileri

İşletme	Silindir	Hizmete giriş	Malzeme sınıfı	Tür	Kapasite (m ³)	Tambur
Yol inşaatı	No_20	1990	Sıkıştırılmış_toprak_yol	Titreşimli	Büyük	Tek
Yol inşaatı	No_60	2012	Sıkıştırılmış_toprak_yol	Titreşimli	Büyük	Tek
Yol inşaatı	No_77	2006	Sıkıştırılmış_toprak_yol	Titreşimli	Orta	Çift
Yol inşaatı	No_78	2011	Asfaltı_sökülmüş_zemin_yol	Titreşimsiz	Orta	P.T.
Hazır Beton İşletmesi	No_88	2012	Gevşek_asfalt_yol	Titreşimli	Büyük	Çift
Yol inşaatı	No_92	2010	Gevşek_asfalt_yol	Titreşimsiz	Büyük	P.T.
Demir İşletmesi	No_145	1990	Sıkıştırılmış_toprak_yol	Titreşimli	Büyük	Tek
Altın İşletmesi	No_152	2010	Sıkıştırılmış_az_ayrışmış_kayaç_tumba	Titreşimli	Büyük	Tek
Altın İşletmesi	No_177	2010	Sıkıştırılmış_toprak_basamak	Titreşimli	Büyük	Tek
Yol inşaatı	No_183	2006	Sıkıştırılmış_toprak_yol	Titreşimli	Büyük	Tek
Kömür İşletmesi	No_284	2011	Sıkıştırılmış_ayrışmış_kayaç_tumba	Titreşimli	Büyük	Tek

Silindirlerin TVT maruziyeti ölçümleri, üç adedi koltuktan (Seat_x, Seat_y, Seat_z), üç adedi de kabin zemininden (Floor_x, Floor_y, Floor_z) olmak üzere toplam altı kanaldan, aracın bir tam çevrimini kapsayacak biçimde gerçekleştirilmiştir. Titreşim analizörü ile frekans ağırlıklı ivme (a_w), titreşim dozu (VDV), maksimum geçici titreşim değeri (MTVV), tepe titreşim ivmesi (PEAK) ve tepe-tepe titreşim ivmesi (P-P) ölçülerek, değerlendirilmiştir. Kayıt süreleri 04 dakika 44 saniye ile 14 dakika 07 saniye arasında değişmiştir. ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca TVT maruziyeti değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılan parametrelerin değerleri, koltuk ve zemin için hesaplanmıştır.

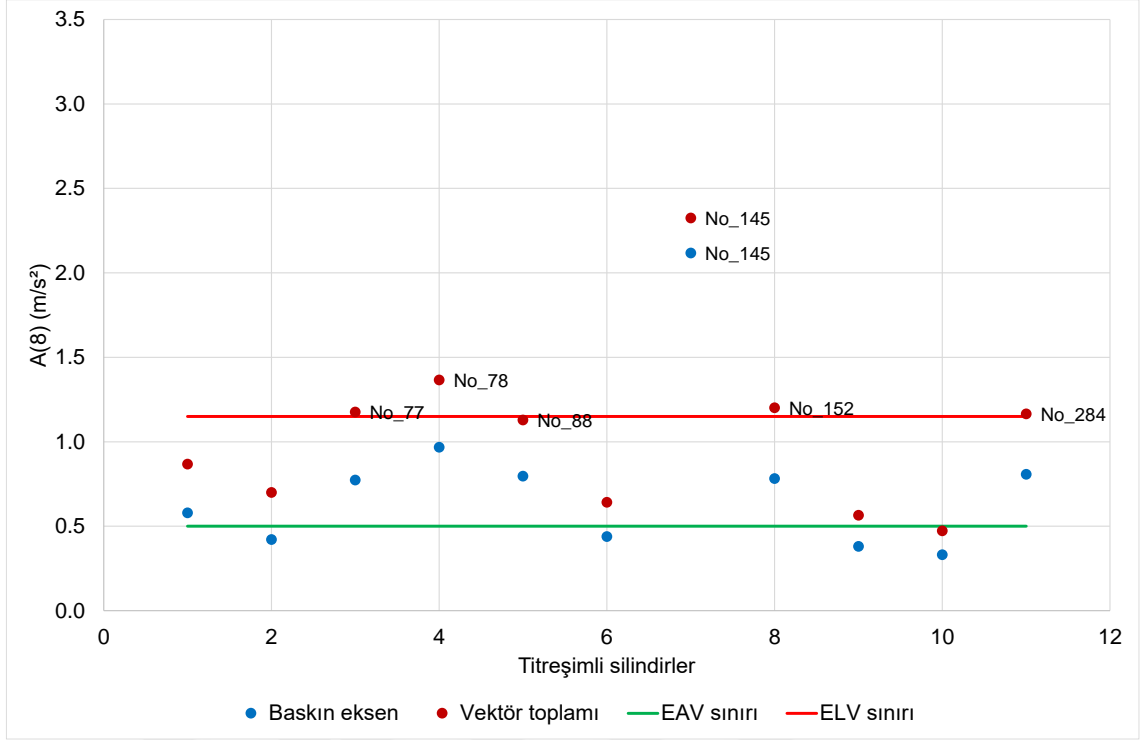
10.2 Net kayıt (RECORD) Evresi

10.2.1 Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme

Silindirlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $A(8)_{Seat}$, ortalama ve standart sapması $(0,764 \pm 0,474) m/s^2$ olacak biçimde $0,332 m/s^2$ ile $2,118 m/s^2$ arasında değişmiştir. Diğer yandan silindirlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $Vector_{1-3}$, ortalama ve standart sapması $(1,056 \pm 0,493) m/s^2$ olacak biçimde $0,474 m/s^2$ ile $2,325 m/s^2$ arasında değişmiştir.

En yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum ekseni 1 silindirde X ekseni (Ch1), 4 silindirde Y ekseni (Ch2) ve 6 silindirde Z ekseni (Ch3) olmuştur. Tüm silindirlerin en kötü durum ekseni ve vektör toplamı ölçütlerine göre $A(8)_{Seat}$ değerlerinin EAV ve ELV sınırları ile karşılaştırılması Şekil 10.1'de sunulmuştur.

Silindirlerin EU 2002/44/EC direktifi ve ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum ölçütü dikkate alındığında araçların oldukça büyük bölümünün EAV ve HGCZ sınırları (dikkat bölgesi) içinde ya da altında olduğu görülmektedir (Çizelge 10.2). Diğer yandan, her üç eksenden vücuda iletilen titreşim enerjisinin birlikte değerlendirildiği vektör toplamı ölçütü dikkate alındığında da silindirlerin en az yarısı ELV ve HGCZ sınırını aşmaktadır.



Şekil 10.1 Titreşimli silindirlerin A(8) değerleri

Çizelge 10.2 Titreşimli silindir operatörlerinin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi

Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		Bölge	ISO2631-1 HGCZ Bölgesi	
	EKDE	VT	EKDE	VT		EKDE	VT
EAV altında	4	1	4	0	HGCZ altında	3	0
EAV içinde	6	5	5	5	HGCZ içinde	6	4
ELV üstünde	1	5	2	6	HGCZ üstünde	2	7

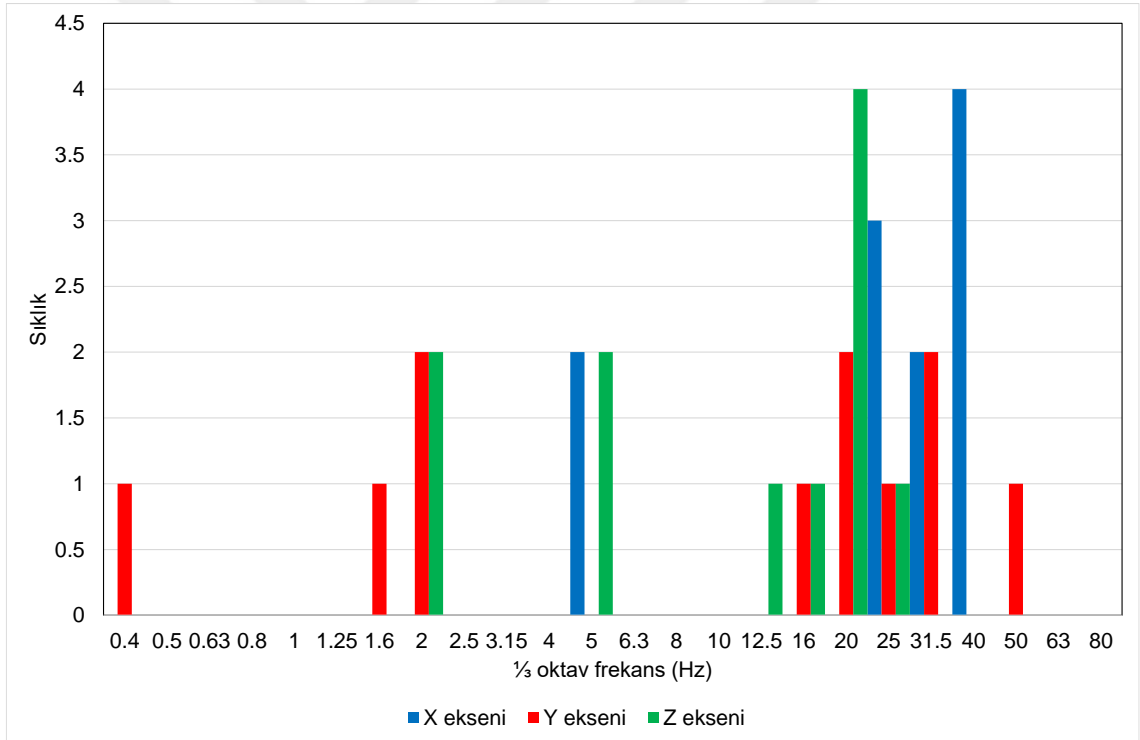
Silindirlerin maruziyet eylem değerine erişim süresi ($EAV_{TT(RMS)}$), en kötü durum eksenini üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması (06:48:39 ± 05:26:06) sa olacak biçimde 00:26:45 sa ile 18:08:42 sa arasında değişmiştir. Diğer yandan silindirlerin maruziyet sınır değerine erişim süresi ($ELV_{TT(RMS)}$), en kötü durum eksenini üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması (36:01:47 ± 28:45:06) sa olacak biçimde 02:21:31 sa ile 95:59:11 sa arasında değişmiştir. 11 silindirden 7'si 8 saatlik vardiya süresi bitmeden operatörü maruziyet eylem değerine ulaşılacak titreşime maruz bırakırken 1 adedi maruziyet sınır değerine erişmektedir.

Net kayıt evresinde operatör koltuğunda X, Y ve en kötü durum Z ekseninde sırasıyla 8, 6 ve 6 silindirin doruk faktörü 9'dan büyük çıkmıştır.

Doruk faktörü	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	6,109	6,350	6,082
En büyük	22,918	18,171	32,870
Ortalama	11,363	10,717	16,418
Standart sapma	4,380	3,852	9,376
≥9	8	6	6
<9	3	5	5

Silindir operatörlerinin maruz kaldığı TVT ivmesine ait frekans spektrumu 1/3 oktav bant dağılımı ile değerlendirildiğinde 0,4 Hz ile 80 Hz arasındaki merkez bant frekanslarına göre her ikisi de yatay düzlemdeki ortogonal eksenler boyunca oluşan titreşimin X ekseninde 25 Hz – 40 Hz aralığına, Y ekseninde 16 Hz – 31,5 Hz aralığına yoğunlaştığı görülmektedir. Diğer yandan, Z eksenini incelendiğinde baskın frekans 12,5 Hz – 25 Hz aralığındadır. Her üç eksendeki TVT ivmelerine ait baskın frekans dağılımı Şekil 10.2’de verilmiştir.

Operatör koltuğunun titreşim sönümlenme özelliğini gösteren koltuk etkinliği genlik geçirgenliği (SEAT) faktörü X eksenini için 0,667 ile 1,472 arasında, Y eksenini için 0,723 ile 1,458 arasında ve Z eksenini için 0,438 ile 2,141 arasında değişmiştir. Her üç ekseninde de zeminde oluşan titreşim silindirlerin bir kısmında koltukta sönümlenirken, bir kısmında şiddetlenmiştir. X ve Y eksenlerinde zeminde oluşan titreşim koltukta şiddetlenmiş ancak Z ekseninde zeminde oluşan titreşim koltukta sönümlenmiştir. Operatör koltuğu genel itibarla Z ekseninde titreşimi sönümlenmektedir.



Şekil 10.2 Titreşimli silindirlerin A(8) değerlerinin 1/3 oktav baskın frekansları

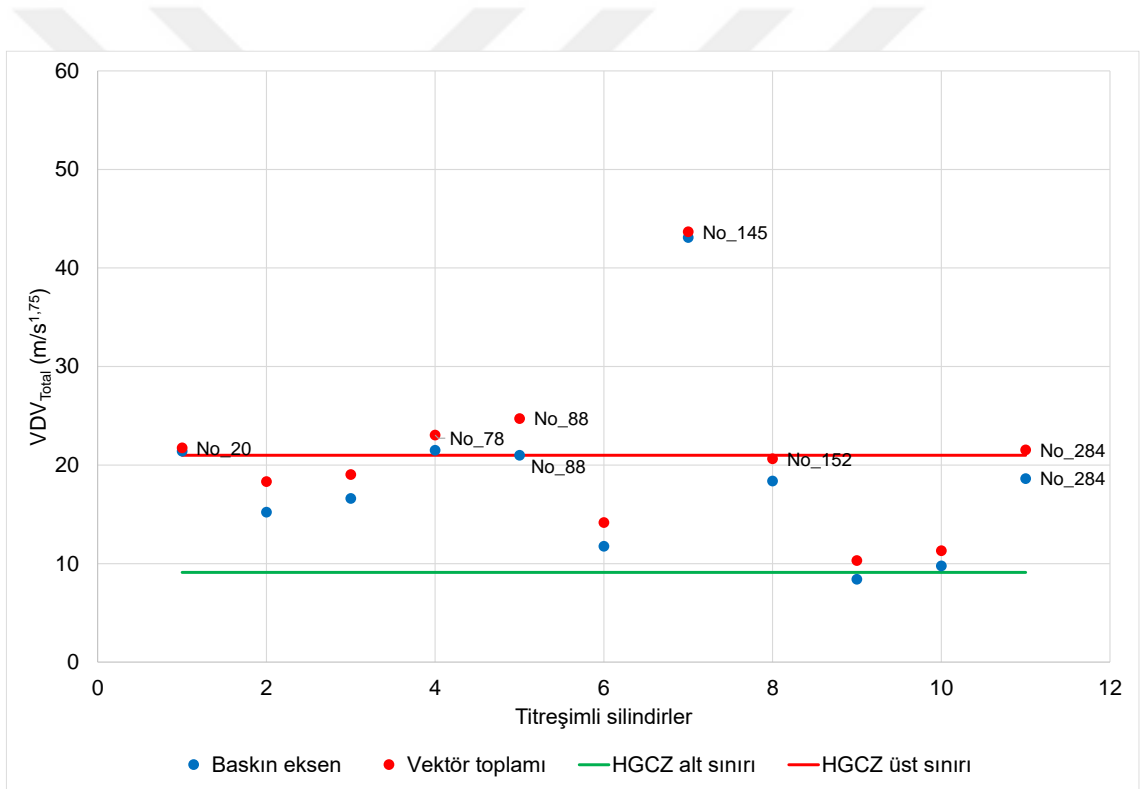
10.2.2 Titreşim dozu üzerinden değerlendirme

Silindirlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT dozu değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde VDV_{Total} , ortalama ve standart sapması $(18,705 \pm 8,870) m/s^{1.75}$ olacak biçimde $8,416 m/s^{1.75}$ ile $43,083 m/s^{1.75}$ arasında değişmiştir. Diğer yandan silindirlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi

vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $Vector_{1-3}$, ortalama ve standart sapması $(20,770 \pm 8,517)$ $m/s^{1,75}$ olacak biçimde $10,309 m/s^{1,75}$ ile $43,664 m/s^{1,75}$ arasında değişmiştir.

En yüksek titreşim dozu kaydedilen en kötü durum eksen 4 silindirde Y (Ch2), 7 silindirde Z (Ch3) olmuştur. Tüm silindirlerin en kötü durum eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre VDV_{Total} değerlerinin HGZ sınırları ile karşılaştırılması Şekil 10.3'de sunulmuştur.

Çizelge 10.3'de görüleceği üzere silindirlerin BS 6841 (1987), ISO 2631-1 (1997) standartları ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum ölçütü dikkate alındığında araçların EAV bölgesi ve ELV sınırı üzerine dağıldığı görülmektedir. Vektör toplamı açısından değerlendirme yapıldığında ise titreşimli silindir operatörlerinin maruz kaldığı ivme değerleri yüksek olduğundan daha fazla sayıda silindir ELV bölgesinde yer almıştır.

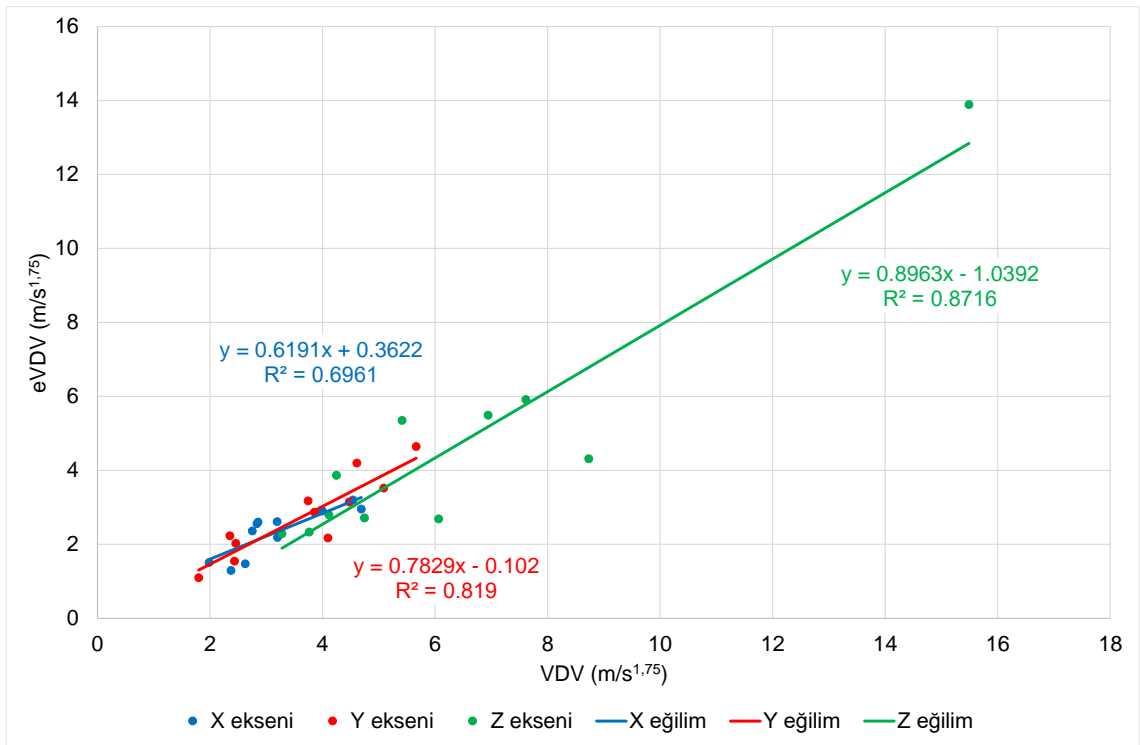


Şekil 10.3 Titreşimli silindirlerin VDV_{Total} değerleri

Çizelge 10.3 Titreşimli silindir operatörlerinin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi

Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)	
	EKDE	VT	EKDE	VT	EKDE	VT
EAV altında	1	0	1	0	3	3
EAV içinde	7	6	4	3	-	-
ELV üstünde	3	5	6	8	8	8

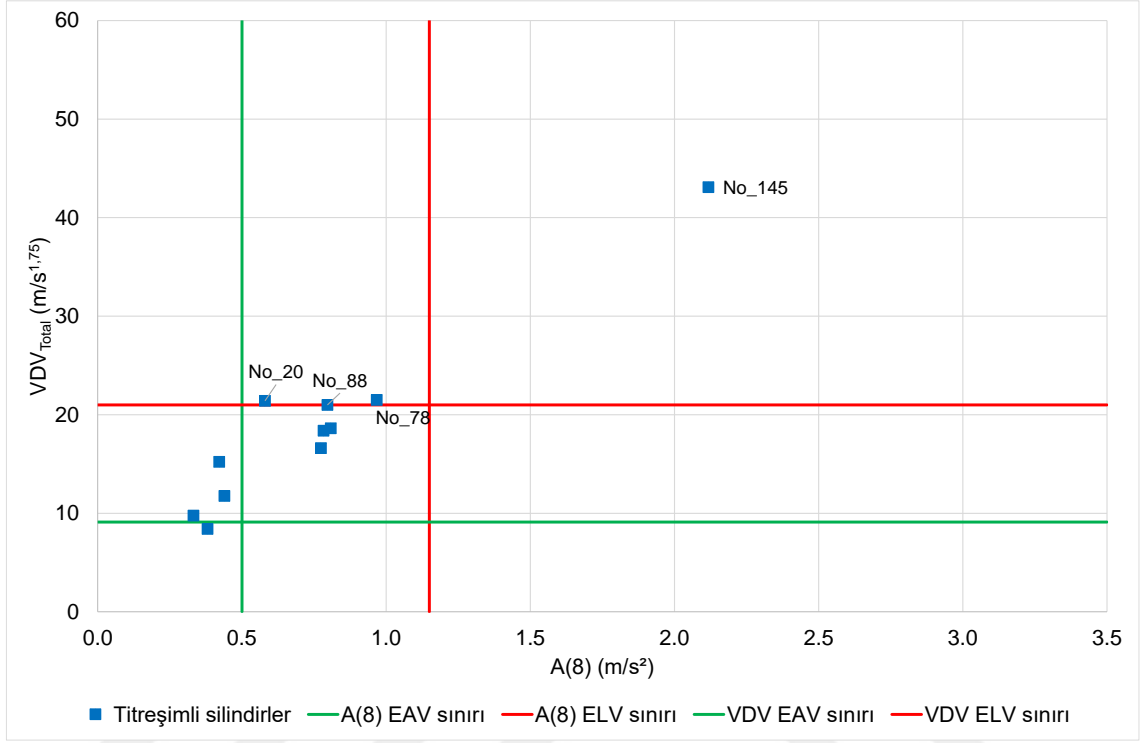
Tez çalışması kapsamında tüm silindirler için titreşim dozu değerleri (VDV) ölçülmüş ve kestirilen titreşim dozu değeri de (eVDV, $m/s^{1.75}$) BS 6841 (1987) standardı uyarınca hesaplanmıştır. Çalışmada örneklenen 11 adet silindirin X, Y ve Z eksenlerinin tümünde doruk faktörü 6'dan büyük çıkmıştır. Bu durum silindir operasyonlarında şokların büyük etkisinin bulunduğunu göstermektedir. Ancak VDV ile RMS üzerinden kestirilen eVDV arasındaki ilişkiyi göstermek amacıyla eVDV değerleri hesaplanmıştır. Ancak doruk faktörünün >6 olduğu durumlarda 1,4'lük çarpan kullanılmamıştır. Sonuçta oluşan tabloda, her üç eksen için VDV – eVDV ilişkisi Şekil 10.4'de verilmiştir. Her üç veri grubu için doğrusal regresyon analizi yapılmış olup, belirlilik katsayıları %69,61 ile %87,16 arasında değişmekte ve beklendiği gibi, regresyon eşitliğinin güçlü olduğuna işaret etmektedir.



Şekil 10.4 Titreşimli silindirlerin VDV – eVDV ilişkisi

Silindirlerin maruziyet eylem değerine erişim süresi ($EAV_{TT(VDV)}$), en kötü durum eksenini üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması ($02:07:23 \pm 03:15:44$) sa olacak biçimde $00:00:57$ sa ile $10:56:02$ sa arasında değişmiştir. Diğer yandan silindirlerin maruziyet sınır değerine erişim süresi ($ELV_{TT(VDV)}$), en kötü durum eksenini üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması ($60:12:44 \pm 92:31:10$) sa olacak biçimde $00:27:06$ sa ile $310:05:27$ sa arasında değişmiştir. Bu durumda toplam 11 silindirden 10 adedi operatörlerini vardiya bitmeden maruziyet eylem değerine ulaştırırken, 3 adedi vardiya bitmeden maruziyet sınır değerine erişirmektedir.

Silindir operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile VDV_{total} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 10.5’de sunulmuştur. A(8) ELV sınırını aşan 1 silindir, VDV_{total} üst sınırını aşan 3 silindir ve her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan yalnızca 1 adet silindir bulunmaktadır.



Şekil 10.5 Titreşimli silindir operatörlerinin A(8) – VDV_{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki

10.2.3 Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme

Silindir operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri kullanılarak hesaplanan S_{ed} değerleri ortalama ve standart sapması $(0,550 \pm 0,204)$ MPa olacak biçimde 0,234 MPa ile 0,895 MPa arasında değişmiştir. Diğer yandan silindir operatörlerinin R(IOP) faktörleri, ortalama ve standart sapması $(0,512 \pm 0,239)$ olacak biçimde 0,207 ile 1,121 arasında, R(TOP) faktörleri ortalama ve standart sapması $(0,688 \pm 0,255)$ olacak biçimde 0,293 ile 1,119 arasında değişmiştir.

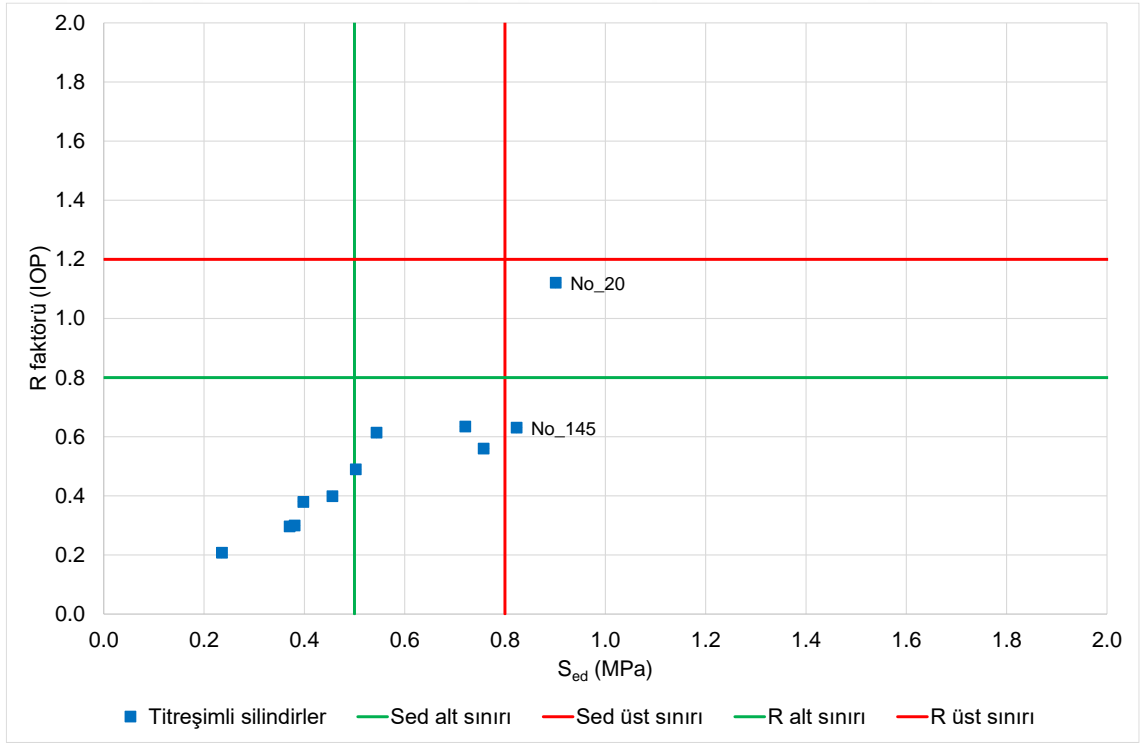
Tüm silindir operatörleri eşdeğer statik basınç dozu değeri (S_{ed}) ölçütüne göre değerlendirildiğinde; 6 operatör 0,5 MPa’dan düşük basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı düşük, 3 operatör 0,5 MPa – 0,8 MPa arası basınca maruz kaldığından titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı orta ve 2 operatör 0,8 MPa’dan yüksek basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı büyüktür.

Silindir operatörleri günlük risk faktörü ölçütüne göre değerlendirildiğinde; 10 operatörün R faktörü 0,8’den düşük olup sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığı düşük ve 1 operatörün R faktörü

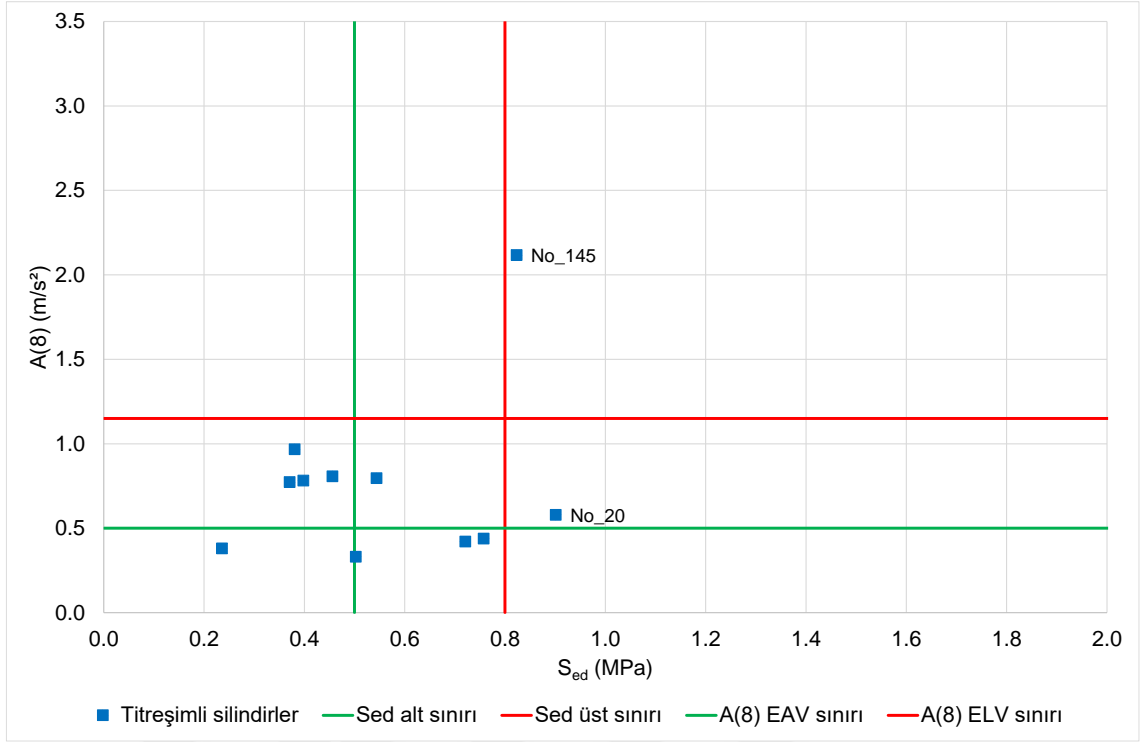
0,8 – 1,2 arası olduğundan sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığı orta düzeydedir. Silindir operatörlerinin her iki ölçüte göre risk sınırları ile karşılaştırılması Şekil 10.6'da sunulmuştur.

Silindir operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 10.7'de sunulmuştur. A(8) ELV sınırını aşan 1 silindir, S_{ed} üst sınırını aşan 2 silindir ve her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan yalnızca 1 adet silindir bulunmaktadır.

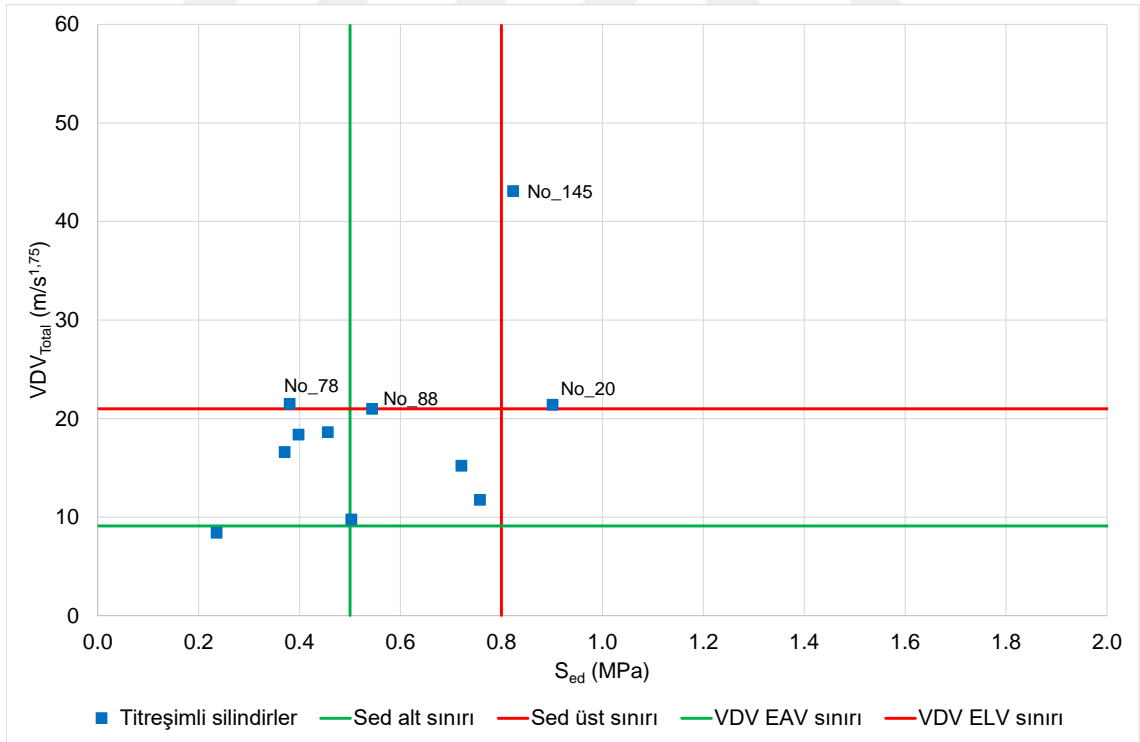
Silindir operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) VDV_{Total} ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 10.8'de sunulmuştur. VDV_{Total} HGCZ sınırını aşan 3 silindir, S_{ed} üst sınırını aşan 2 silindir ve her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan 2 adet silindir bulunmaktadır.



Şekil 10.6 Titreşimli silindir operatörlerinin S_{ed} – R faktörü ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki



Şekil 10.7 Titreşimli silindir operatörlerinin S_{ed} – $A(8)$ ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki



Şekil 10.8 Titreşimli silindir operatörlerinin S_{ed} – VDV_{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki

10.3 Evrelerin Değerlendirilmesi

10.3.1 Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme

Titreşimli silindirlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $A(8)_{\text{Seat}}$, operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde Vector_{1-3} , EAV ve ELV değerleri Çizelge 10.4'de verilmektedir. Bekleme ve geri sıkıştırma evreleri operatörleri daha düşük düzeyli titreşime maruz bırakmaktadır. Tüm silindirlerin en kötü durum eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre $A(8)_{\text{Seat}}$ değerlerinin EAV ve ELV sınırları ile karşılaştırılması Şekil 10.9a-e'de sunulmuştur.

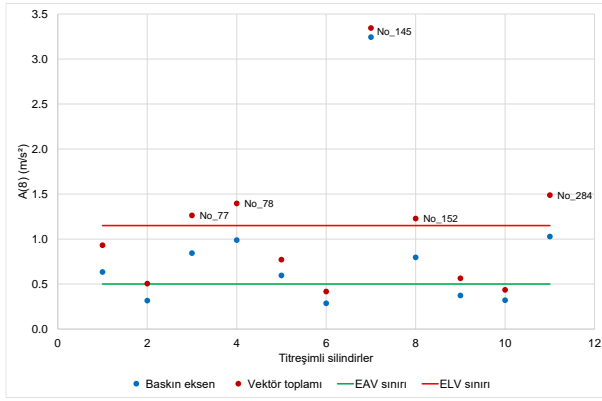
Silindirlerin EU 2002/44/EC direktifi ve ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum ölçütü dikkate alındığında araçların büyük bölümünün EAV ve HGCZ sınırları (dikkat bölgesi) içinde olduğu görülmektedir (Çizelge 10.5). Ancak vektör toplamı ölçütüne göre daha fazla sayıda silindir ELV bölgesine geçmektedir.

Çizelge 10.4 Silindir döngü evrelerinde titreşim ivmesi parametreleri

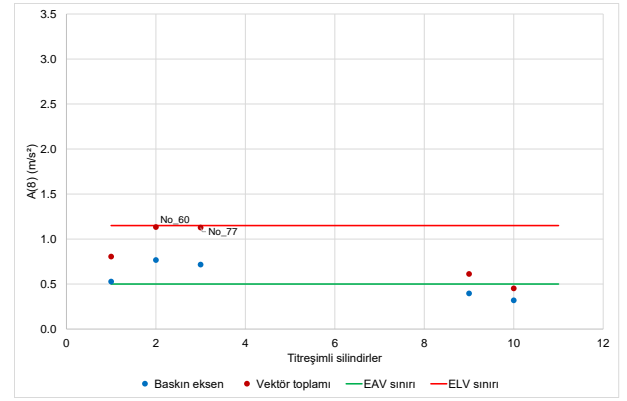
Evre	A(8) (m/s ²)				Vektör ₁₋₃ (m/s ²)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
İleri sıkıştırma	0,857	0,798	0,287	3,243	1,122	0,797	0,417	3,344
Geri sıkıştırma	0,546	0,174	0,320	0,767	0,827	0,272	0,453	1,134
İleri yürüme	0,811	0,277	0,405	1,235	1,191	0,401	0,584	1,903
Geri yürüme	0,831	0,339	0,372	1,182	1,244	0,532	0,547	1,838
Bekleme	0,131	0,055	0,046	0,206	0,167	0,065	0,053	0,241
	EAV _{TT(RMS)} (sa)				ELV _{TT(RMS)} (sa)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
İleri sıkıştırma	08:58:12	08:21:06	00:11:25	>24	>24	>24	01:00:22	>24
Geri sıkıştırma	09:20:50	06:05:04	03:23:53	19:31:53	>24	>24	17:58:30	>24
İleri yürüme	04:37:08	03:44:00	01:18:42	12:13:03	>24	19:44:59	06:56:20	>24
Geri yürüme	06:02:20	05:56:14	01:25:53	14:25:17	>24	>24	07:34:22	>24
Bekleme	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24

Çizelge 10.5 Silindir döngü evrelerinde operatörlerin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi

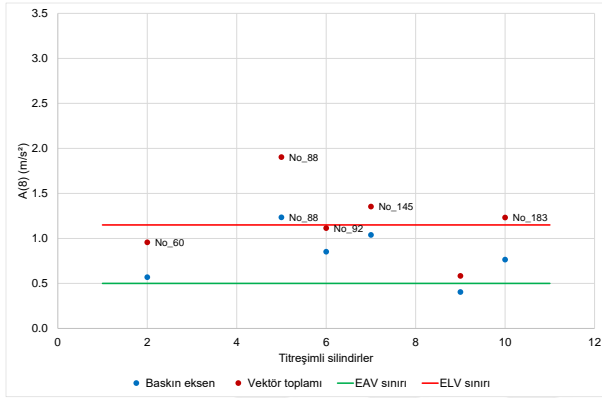
Evre	Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		Bölge	ISO2631-1 HGCZ Bölgesi	
		EKDE	VT	EKDE	VT		EKDE	VT
İleri sıkıştırma	EAV altında	4	2	4	2	HGCZ altında	4	1
	EAV içinde	6	4	4	3	HGCZ içinde	4	4
	ELV üstünde	1	5	3	6	HGCZ üstünde	3	6
Geri sıkıştırma	EAV altında	2	1	2	0	HGCZ altında	2	0
	EAV içinde	3	4	3	3	HGCZ içinde	3	3
	ELV üstünde	0	0	0	2	HGCZ üstünde	0	2
İleri yürüme	EAV altında	1	0	1	0	HGCZ altında	1	0
	EAV içinde	4	3	3	1	HGCZ içinde	3	1
	ELV üstünde	1	3	2	5	HGCZ üstünde	2	5
Geri yürüme	EAV altında	1	0	1	0	HGCZ altında	1	0
	EAV içinde	1	1	0	1	HGCZ içinde	0	1
	ELV üstünde	1	2	2	2	HGCZ üstünde	2	2
Bekleme	EAV altında	8	8	8	8	HGCZ altında	8	8
	EAV içinde	0	0	0	0	HGCZ içinde	0	0
	ELV üstünde	0	0	0	0	HGCZ üstünde	0	0



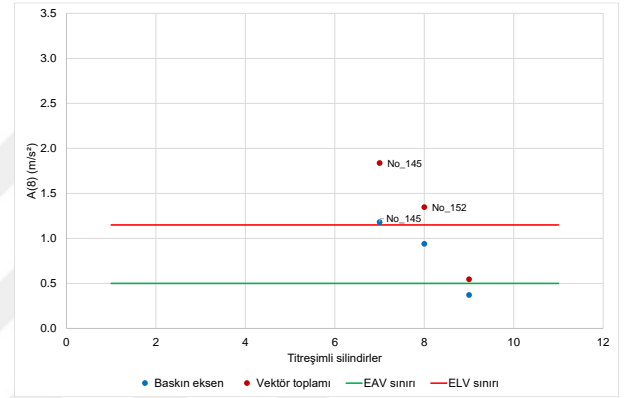
a) İleri sıkıştırma evresi



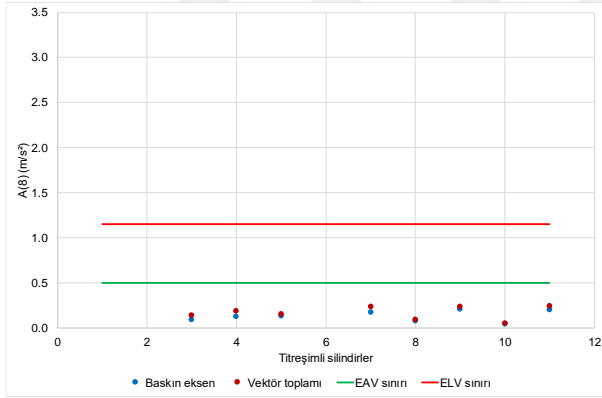
b) Geri sıkıştırma evresi



c) İleri yürüme evresi



d) Geri yürüme evresi



e) Bekleme evresi

Şekil 10.9 Titreşimli silindir evrelerinde A(8) değerleri

Çizelge 10.6'da en yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum ekseninin tüm evreler için değerleri verilmektedir. Evreler tek tek incelendiğinde en yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum eksenini bekleme ve ileri yürüme evrelerinde Y eksenini (Ch2) ve Z eksenini (Ch3) olurken, geri ve ileri sıkıştırma evrelerinde Y (Ch2), geri yürüme evresinde ise Z (Ch3) olmuştur.

Çizelge 10.7'de doruk faktörünün eksenler ve manevralar bazında değerleri verilmektedir. Tüm evrelerde X ve Y eksenlerinde doruk faktörü 9'dan küçük çıkarken, Z ekseninde yalnızca ileri

yürüme evresinde 9'dan büyük çıkmıştır. Titreşimli silindir çalışması yüksek titreşim maruziyetine neden olmakla birlikte şok içermemektedir.

Operatör koltuğunun titreşim sönümlenme özelliğini gösteren koltuk etkinliği genlik geçirgenliği (SEAT) faktörü evreler bazındaki değerleri Çizelge 10.8'de verilmiştir. SEAT faktörü tüm evrelerde X ve Y eksenlerinde koltuktaki titreşimi şiddetlendirecek biçimde 1'den büyük çıkmıştır. Z ekseninde koltuktaki titreşim genellikle sönümlenmektedir.

Çizelge 10.6 Titreşimli silindir döngü evrelerinde A(8) değerine göre en kötü durum eksenleri

Evre	Titreşimli silindir adedi		
	X (Ch1)	Y (Ch2)	Z (Ch3)
İleri sıkıştırma	1	6	4
Geri sıkıştırma	-	3	2
İleri yürüme	2	2	2
Geri yürüme	-	1	2
Bekleme	2	3	3

Çizelge 10.7 Titreşimli silindir döngü evrelerinde titreşim ivmesi doruk faktörleri

Doruk faktörü	İleri sıkıştırma			Geri sıkıştırma			İleri yürüme		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	4,902	4,502	3,972	4,334	3,558	5,043	4,476	4,702	7,054
En büyük	10,622	9,222	18,319	7,316	7,092	29,333	8,717	13,481	23,254
Ortalama	7,088	6,970	8,661	5,528	5,409	11,611	7,351	7,325	12,438
Std. sapma	1,863	1,382	3,833	1,211	1,522	9,051	1,398	3,090	5,340
≥9	3	1	3	0	0	2	0	1	4
<9	8	10	8	5	5	3	6	5	2

Doruk faktörü	Geri yürüme			Bekleme		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	3,580	4,605	6,948	2,468	3,075	3,612
En büyük	8,149	10,620	9,826	25,743	13,048	30,985
Ortalama	5,703	6,846	7,980	7,963	5,971	10,717
Std. sapma	1,879	2,685	1,308	6,939	2,875	8,179
≥9	0	1	1	1	1	3
<9	3	2	2	7	7	5

Çizelge 10.8 Titreşimli silindir döngü evrelerinde titreşim ivmesi SEAT faktörleri

SEAT faktörü	İleri sıkıştırma			Geri sıkıştırma			İleri yürüme		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	1,044	0,978	0,434	0,651	0,651	0,667	0,594	0,572	0,566
En büyük	1,718	1,475	1,387	1,419	1,281	1,123	3,985	3,306	4,673
<1	-	1	7	1	1	3	2	2	3
≥1	11	10	4	4	4	2	4	4	3

SEAT faktörü	Geri yürüme			Bekleme		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	0,969	0,920	1,000	0,774	0,648	0,054
En büyük	1,278	1,304	1,109	3,278	5,880	1,533
<1	1	1	1	2	2	3
≥1	2	2	2	6	6	5

10.3.2 Titreşim dozu üzerinden evrelerin değerlendirilmesi

Titreşimli silindirlerin operatör koltuğunda ölçülen TVT dozu değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde VDV_{Total} , operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $Vector_{1-3}$ değerleri ile EAV ve ELV değerleri Çizelge 10.9'da verilmektedir. İleri ve geri yürüme ile ileri sıkıştırma evrelerinde yüksek, geri sıkıştırma ve bekleme evrelerinde düşük TVT dozu maruziyeti bulunmaktadır. Silindirlerin en kötü durum eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre VDV_{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması Şekil 10.10a-e'de sunulmuştur.

Çizelge 10.9 Silindir döngü evrelerinde titreşim dozu parametreleri

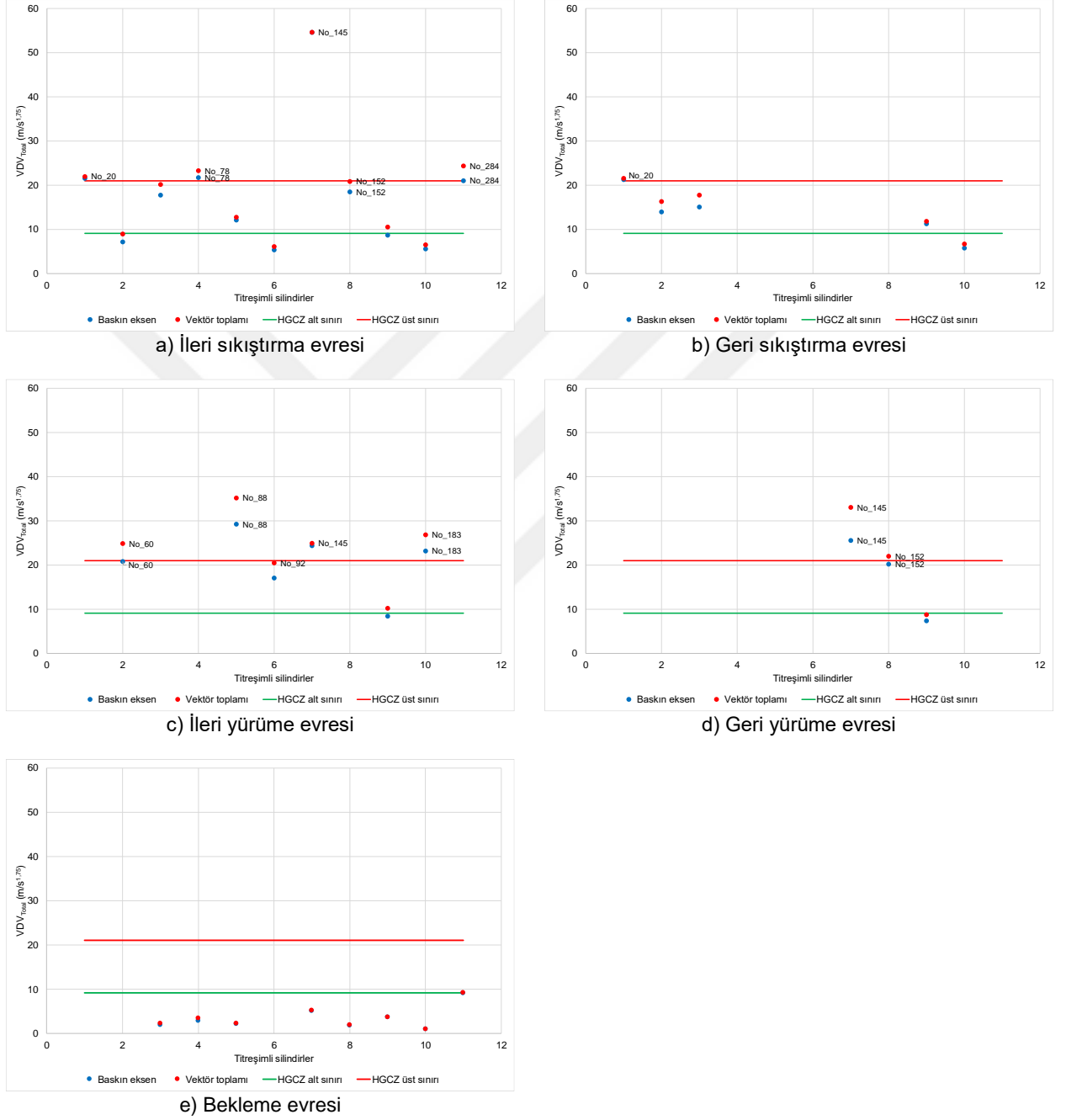
Evre	VDV_{Total} ($m/s^{1.75}$)				$Vektör_{1-3}$ ($m/s^{1.75}$)			
	Ortalama	Standart Sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
İleri sıkıştırma	17,638	13,227	5,359	54,572	19,099	13,010	6,119	54,609
Geri sıkıştırma	13,469	5,060	5,770	21,282	14,837	5,117	6,706	21,551
İleri yürüme	20,518	6,539	8,423	29,257	23,750	7,492	10,207	35,174
Geri yürüme	17,716	7,629	7,378	25,558	21,269	9,931	8,762	33,055
Bekleme	3,440	2,420	1,002	9,041	3,607	2,433	1,019	9,179
	$EAV_{TT(VDV)}$ (sa)				$ELV_{TT(VDV)}$ (sa)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
İleri sıkıştırma	14:20:06	23:06:36	00:00:22	>24	>24	>24	00:10:32	>24
Geri sıkıştırma	11:08:06	19:12:18	00:16:03	>24	>24	>24	07:35:03	>24
İleri yürüme	02:02:35	03:57:53	00:04:30	10:53:58	>24	>24	02:07:24	>24
Geri yürüme	06:19:24	08:37:10	00:07:43	18:30:44	>24	>24	03:38:46	>24
Bekleme	>24	>24	08:12:34	>24	>24	>24	>24	>24

Titreşimli silindirlerin BS 6841 (1987), ISO 2631-1 (1997) standartları ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum ölçütü dikkate alındığında araçların büyük bölümü ileri ve geri yürüme ile ileri sıkıştırma evrelerinde ELV sınırı üzerinde, geri sıkıştırma ve bekleme evrelerinde EAV bölgesi içinde ve altında bulunmaktadır (Çizelge 10.10). Daha yüksek titreşim dozu değerlerinin üretildiği vektör toplamı açısından değerlendirme yapıldığında ise bekleneceği gibi, daha fazla sayıda silindir ELV bölgesine geçmektedir.

Çizelge 10.11'de en yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum ekseninin tüm evreler için değerleri verilmektedir. En yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum eksen, geri sıkıştırma evresinde Y (Ch2) haricinde, Z eksen (Ch3) olmuştur.

Tez çalışması kapsamında tüm titreşimli silindirlerin titreşim dozu değerleri (VDV) ölçülmüş ve kestirilen titreşim dozu değeri de ($eVDV$, $m/s^{1.75}$) BS 6841 (1987) standardı uyarınca hesaplanmıştır. Çizelge 10.12 incelendiğinde, geri yürüme ve bekleme evrelerinde X ve Y eksenleri haricinde silindir çalışmasının şokların etkisi altında olduğunu göstermektedir. Her üç eksen için VDV – $eVDV$ ilişkisi Şekil 10.11a-e'de verilmiştir.

Silindir operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile VDV_{Total} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 10.12a-e'de sunulmuştur. İleri sıkıştırma ile ileri yürüme ve geri yürüme evrelerinde 1 silindir, her iki ölçütün ELV sınırlarını geçerek, operatöre olumsuz sağlık riski potansiyeli bulunan bölgede yer almaktadır.



Şekil 10.10 Titreşimli silindir evrelerinde VDV_{Total} değerlerinin HG CZ sınırları ile karşılaştırılması

Çizelge 10.10 Titreşimli silindir döngü evrelerinde operatörlerin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi

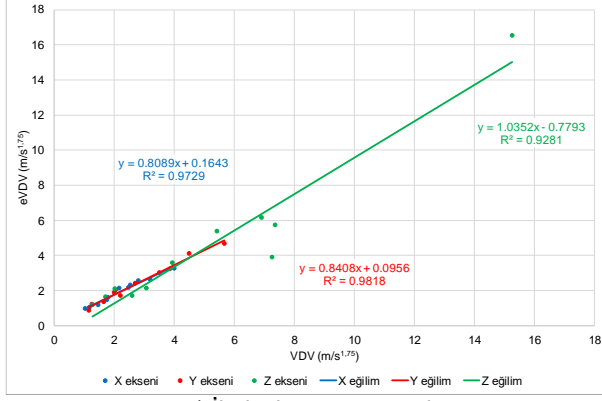
Evre	Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)	
		EKDE	VT	EKDE	VT	EKDE	VT
İleri sıkıştırma	EAV altında	4	3	3	3	5	5
	EAV içinde	3	4	2	2	-	-
	ELV üstünde	4	4	6	6	6	6
Geri sıkıştırma	EAV altında	1	1	1	1	3	2
	EAV içinde	3	3	3	2	-	-
	ELV üstünde	1	1	1	2	2	3
İleri yürüme	EAV altında	1	0	1	0	1	1
	EAV içinde	2	2	0	1	-	-
	ELV üstünde	3	4	5	5	5	5
Geri yürüme	EAV altında	1	1	1	0	1	1
	EAV içinde	1	0	0	1	-	-
	ELV üstünde	1	2	2	2	2	2
Bekleme	EAV altında	8	7	7	7	8	8
	EAV içinde	0	1	1	1	-	-
	ELV üstünde	0	0	0	0	0	0

Çizelge 10.11 Titreşimli silindir döngü evrelerinde VDV_{Total} değerine göre en kötü durum eksenleri

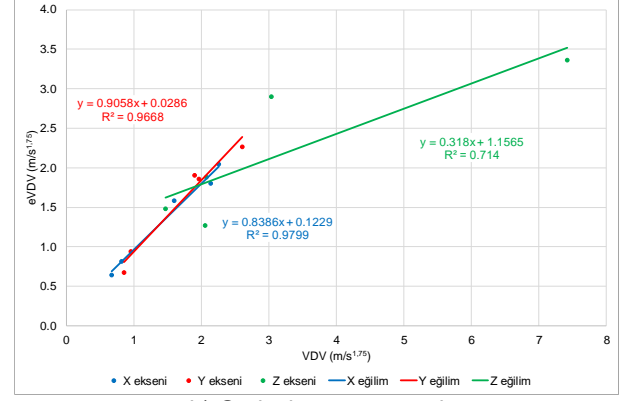
Evre	Titreşimli silindir adedi		
	X (Ch1)	Y (Ch2)	Z (Ch3)
İleri sıkıştırma	-	5	6
Geri sıkıştırma	-	3	2
İleri yürüme	-	2	4
Geri yürüme	-	1	2
Bekleme	3	2	3

Çizelge 10.12 Titreşimli silindir evrelerinin doruk faktörü değerleri

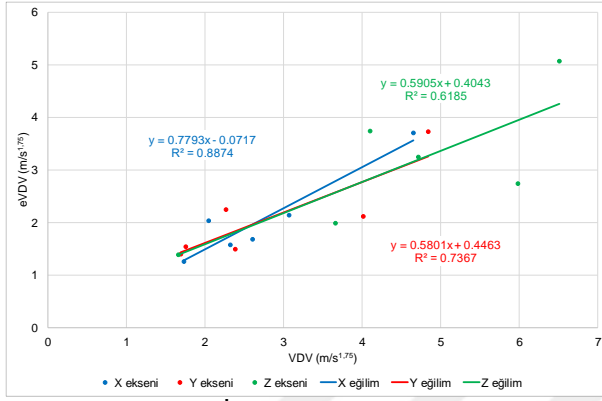
Doruk faktörü	İleri sıkıştırma			Geri sıkıştırma			İleri yürüme		
	VDV_x	VDV_y	VDV_z	VDV_x	VDV_y	VDV_z	VDV_x	VDV_y	VDV_z
≥ 6	7	8	9	2	3	4	5	3	6
< 6	4	3	2	3	2	1	1	3	-
R^2	0,97	0,98	0,93	0,98	0,97	0,71	0,89	0,74	0,62
Doruk faktörü	Geri yürüme			Bekleme					
	VDV_x	VDV_y	VDV_z	VDV_x	VDV_y	VDV_z			
≥ 6	1	1	3	3	3	6			
< 6	2	2	-	5	5	2			
R^2	0,99	0,90	1,00	0,89	0,87	0,95			



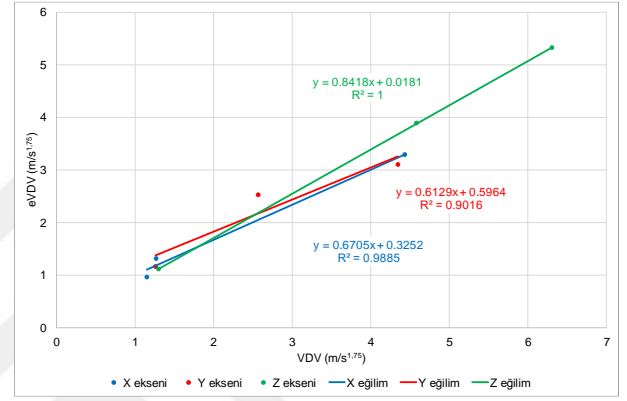
a) İleri sıkıştırma evresi



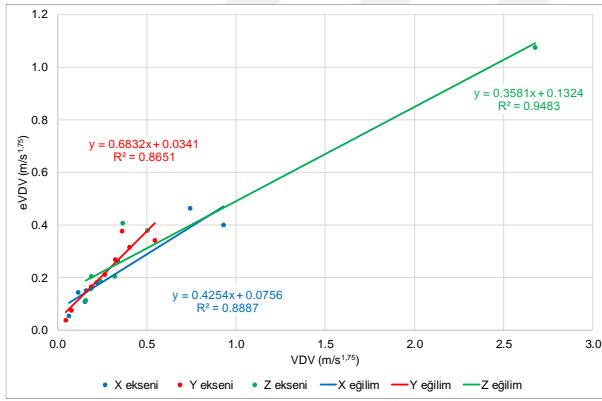
b) Geri sıkıştırma evresi



c) İleri yürüme evresi

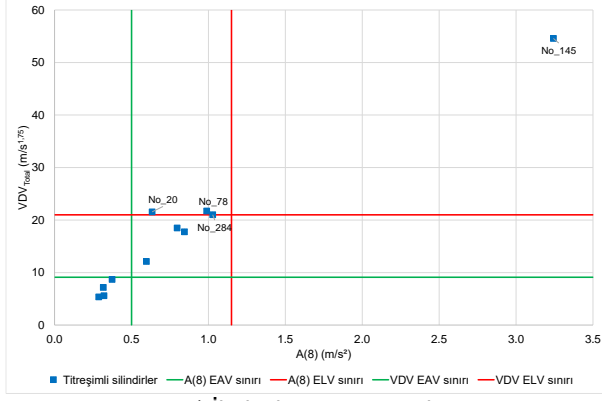


d) Geri yürüme evresi

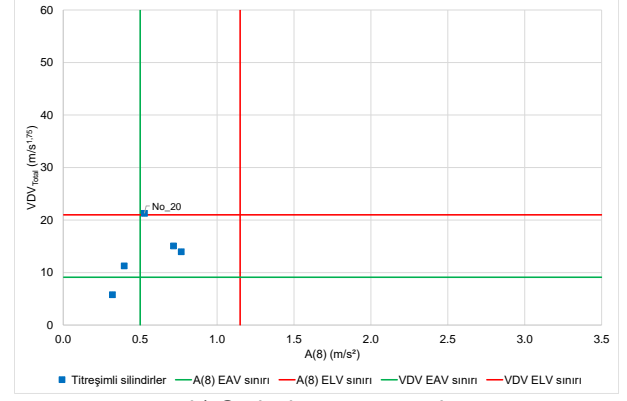


e) Bekleme evresi

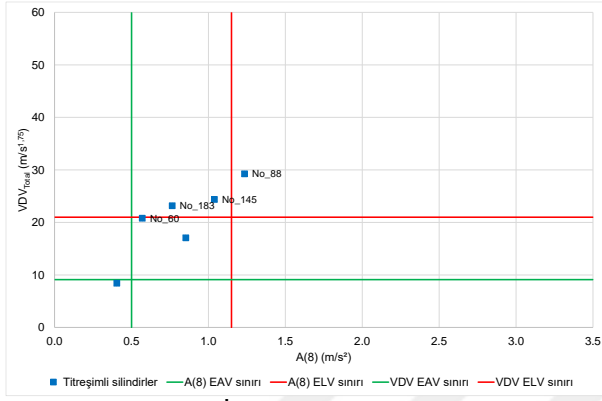
Şekil 10.11 Titreşimli silindir evrelerinde VDV – eVDV ilişkisi



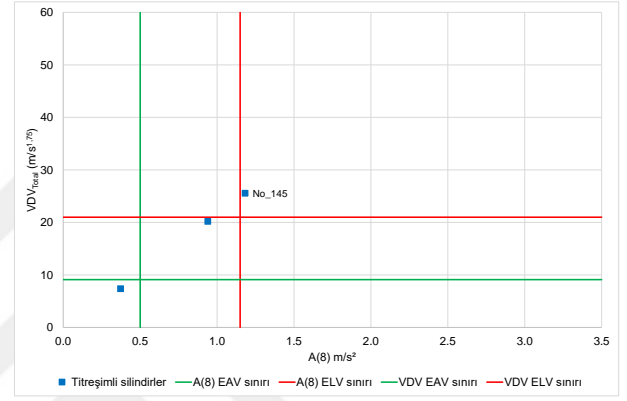
a) İleri sıkıştırma evresi



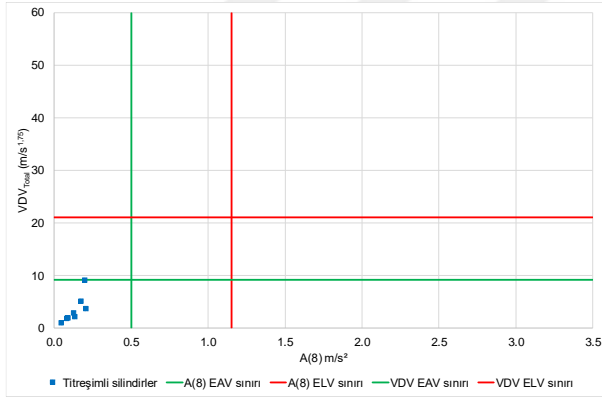
b) Geri sıkıştırma evresi



c) İleri yürüme evresi



d) Geri yürüme evresi



e) Bekleme evresi

Şekil 10.12 Titreşimli silindir operatörlerinin evrelerdeki $A(8) - VDV_{Total}$ ilişkisi

10.3.3 Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme

Titreşimli silindir operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri kullanılarak hesaplanan S_{ed} değerleri, $R(IOP)$ ve $R(TOP)$ faktörleri Çizelge 10.13'de verilmektedir. En yüksek statik basınç dozu ve risk faktörü değerleri ileri ve geri yürüme evrelerine aittir. Bu evreleri ileri ve geri sıkıştırma evreleri izlemiştir. Bekleme evresi en düşük risk değerlerine sahiptir.

Tüm silindir operatörleri eşdeğer statik basınç dozu değeri (S_{ed}) ve risk faktörü (R) ölçütlerine göre değerlendirildiği sonuçlar Çizelge 10.14'de verilmektedir. İleri yürüme evresi haricindeki evrelerde operatörlerin büyük bölümü 0,5 MPa'dan düşük basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı

olumsuz sağlık etkisi olasılığı düşüktür. Operatörlerin çoğunluğu ileri yürüme evresinde 0,8 MPa'dan yüksek basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı yüksektir. Diğer yandan, operatörlerin hemen tümünün R faktörü 0,8'den düşük olup sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılıkları düşüktür. Silindir operatörlerinin her iki ölçüte göre risk sınırları ile karşılaştırılması Şekil 10.13a-e'de sunulmuştur. Yalnızca geri sıkıştırma evresinde 1 operatör her iki ölçütün üst sınırlarını geçerek olumsuz sağlık riski potansiyeli ile karşı karşıya kalmıştır.

Çizelge 10.13 Titreşimli silindir döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörleri

Evre	S_{ed} (MPa)				R(IOP) faktör				R(TOP) faktör			
	Ort.	Std. sapma	En küçük	En büyük	Ort.	Std. sapma	En küçük	En büyük	Ort.	Std. sapma	En küçük	En büyük
İ sıkıştır	0,388	0,255	0,086	0,958	0,360	0,255	0,064	0,955	0,486	0,319	0,107	1,198
G sıkıştır	0,442	0,287	0,174	0,994	0,461	0,396	0,170	1,244	0,552	0,359	0,217	1,243
İ yürüme	0,708	0,276	0,145	0,966	0,635	0,256	0,129	0,887	0,885	0,346	0,182	1,208
G yürüme	0,557	0,325	0,158	0,954	0,471	0,248	0,140	0,736	0,697	0,406	0,198	1,193
Bekleme	0,104	0,129	0,034	0,441	0,092	0,113	0,028	0,389	0,130	0,161	0,043	0,552

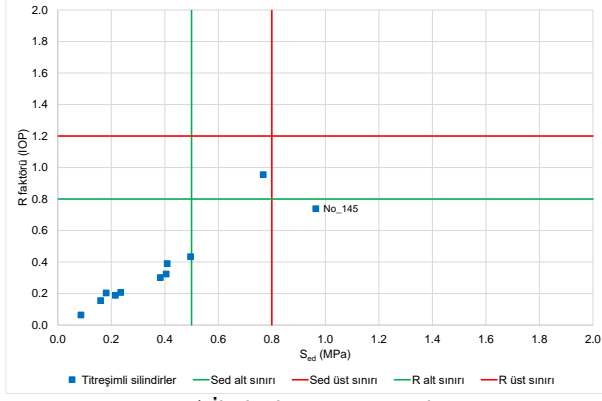
Çizelge 10.14 Titreşimli silindir döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörüne göre sağlık riski

Evre	S_{ed} (MPa)		
	<0,5	0,5 – 0,8	>0,8
İleri sıkıştırma	9	1	1
Geri sıkıştırma	4	-	1
İleri yürüme	1	2	3
Geri yürüme	1	1	1
Bekleme	8	-	-

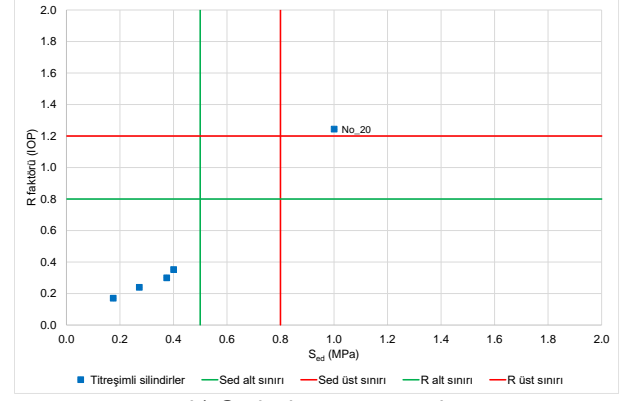
Evre	R faktörü		
	<0,8	0,8 – 1,2	>1,2
İleri sıkıştırma	10	1	-
Geri sıkıştırma	4	-	1
İleri yürüme	5	1	-
Geri yürüme	3	-	-
Bekleme	8	-	-

Silindir operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 10.14a-e'de sunulmuştur. İleri sıkıştırma ve geri yürüme evrelerinde 1'er operatör her iki ölçütün üst sınırlarını geçerek olumsuz sağlık riski potansiyeli ile karşı karşıya kalmıştır.

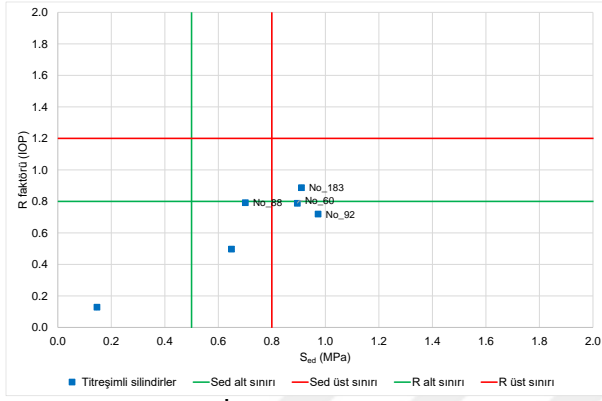
Silindir operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) (VDV_{Total}) ile ISO 2631-5 (2004) (S_{ed}) ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 10.15a-e'de sunulmuştur. İleri sıkıştırma, geri sıkıştırma, ileri yürüme ve geri yürüme evrelerinde 1'er operatör her iki ölçütün üst sınırlarını geçerek olumsuz sağlık riski potansiyeli ile karşı karşıya kalmıştır.



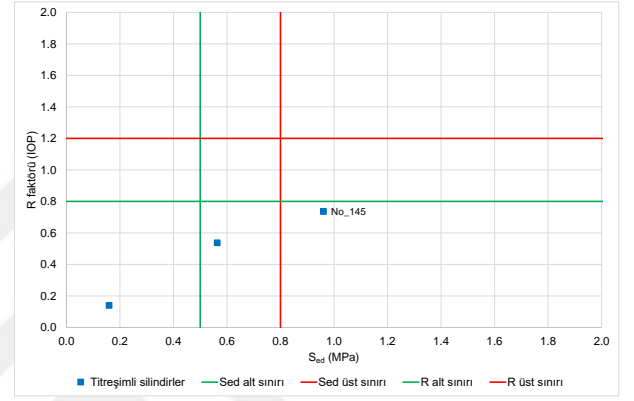
a) İleri sıkıştırma evresi



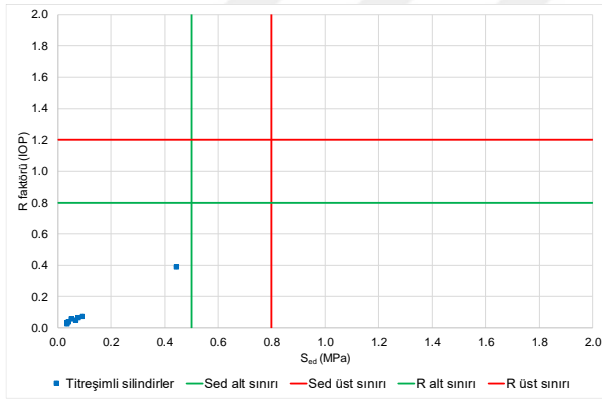
b) Geri sıkıştırma evresi



c) İleri yürüme evresi

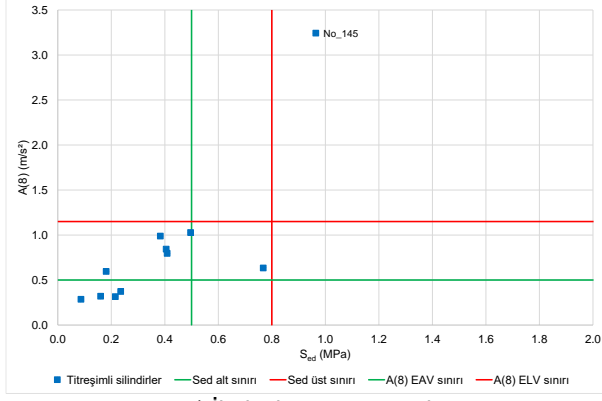


d) Geri yürüme evresi

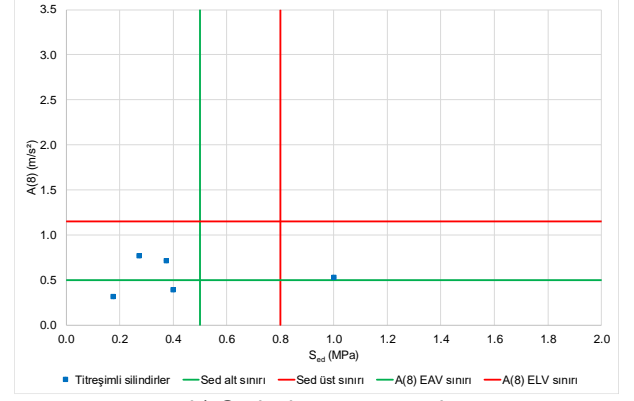


e) Bekleme evresi

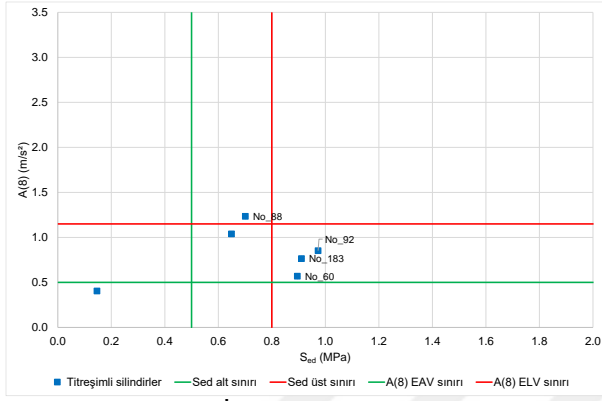
Şekil 10.13 Titreşimli silindir operatörlerinin evreler bazında S_{ed} – R faktörü ilişkisi



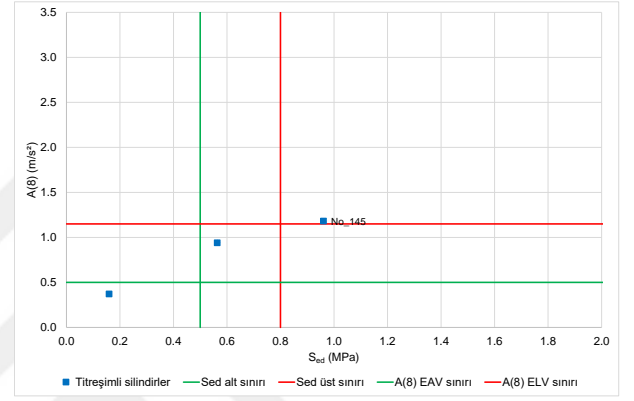
a) İleri sıkıştırma evresi



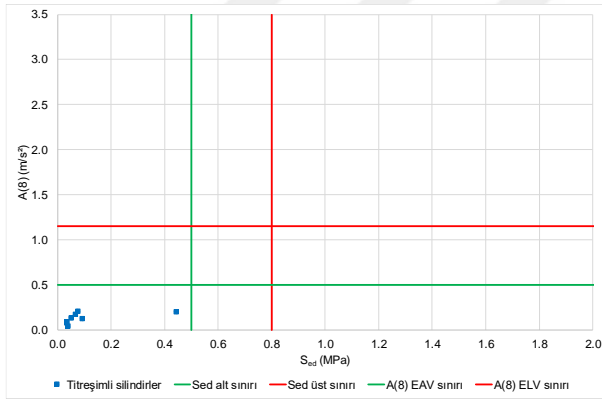
b) Geri sıkıştırma evresi



c) İleri yürüme evresi

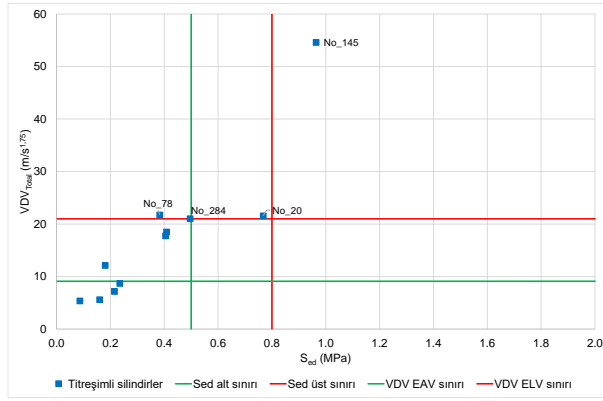


d) Geri yürüme evresi

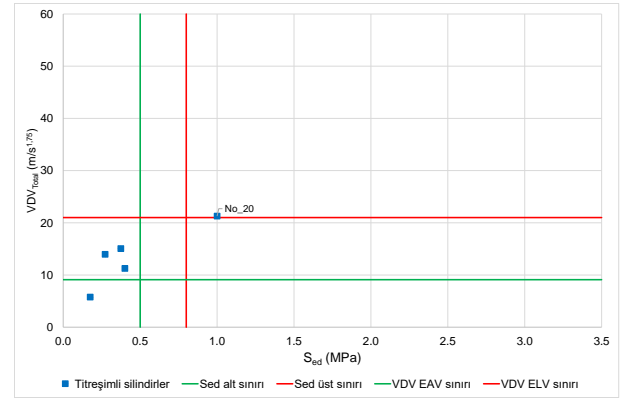


e) Bekleme evresi

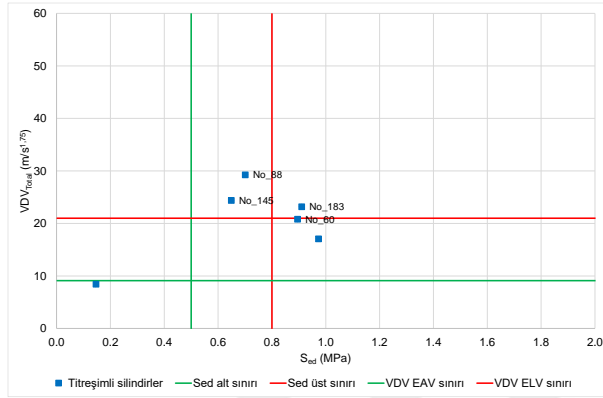
Şekil 10.14 Titreşimli silindir operatörlerinin evreler bazında $S_{ed} - A(8)$ ilişkisi



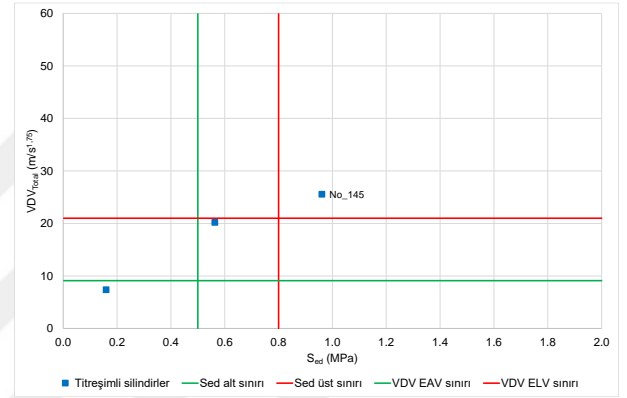
a) İleri sıkıştırma evresi



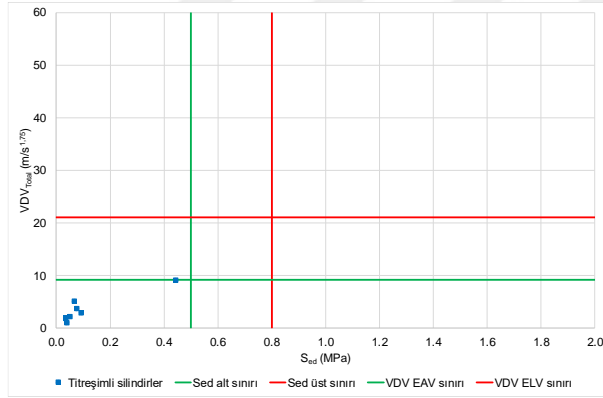
b) Geri sıkıştırma evresi



c) İleri yürüme evresi



d) Geri yürüme evresi



e) Bekleme evresi

Şekil 10.15 Titreşimli silindir operatörlerinin evreler bazında S_{ed} – VDV_{Total} ilişkisi

10.4 İstatistiksel Analizler

10.4.1 Döngü evre gruplarının TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Döngü evreleri bazında aşağıdaki sayıda silindirden ölçüm alınmıştır: ileri sıkıştırma 5 silindir, geri sıkıştırma 11 silindir, ileri yürüme 6 silindir, geri yürüme 3 silindir ve bekleme 8 silindir. TVT ölçümleri alınan silindirlerle ilgili hesaplanan titreşim ivmesi ve dozu değerlerinin kullanıldığı analizlerde önce betimleyici istatistikler hesaplanmış sonra da hipotez testleri yapılmıştır. Çizelge 10.15'de evreler bazında betimleyici istatistikler verilmiştir. Silindir operatörlerinin geri sıkıştırma

ve bekleme dışındaki evrelerde benzer titreşim ivmesi ile dozuna maruz kaldığı görülmektedir. Titreşim ivmesi ve dozu ortalamaları karşılaştırıldığında en büyük maruziyet ileri yürüme ve geri yürüme ile ileri sıkıştırma evrelerinde oluşmaktadır. Operatörler bekleme evresinde en düşük TVT ivmesi ve dozuna maruz kalmaktadırlar.

Çizelge 10.15 Silindir döngüsünü oluşturan evrelerin betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Evre	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	geri sıkıştırma	5	,54560	,194924	,087173	,320	,767
	ileri sıkıştırma	11	,85709	,836611	,252248	,287	3,243
	ileri yürüme	6	,81100	,302870	,123646	,405	1,235
	geri yürüme	3	,83133	,415790	,240056	,372	1,182
	Bekleme	8	,13125	,058365	,020635	,046	,206
VDV _{Total}	geri sıkıştırma	5	13,46900	5,656736	2,529769	5,770	21,282
	ileri sıkıştırma	11	17,63845	13,873210	4,182930	5,359	54,572
	ileri yürüme	6	20,51850	7,163334	2,924419	8,423	29,257
	geri yürüme	3	17,71600	9,343480	5,394460	7,378	25,558
	bekleme	8	3,44050	2,586760	,914558	1,002	9,041

Evreler bazında ortalaması alınmış TVT ivmesi ve dozu değerlerinin silindir döngüsünü oluşturan evreler bazında anlamlı biçimde değişip değişmediği, hipotez testleri aracılığıyla araştırılmıştır. Evre verisinin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testi (çarpıklık-basıklık ilişkisi) yapılarak değerlendirilmiş ve TVT ivmesi ve dozu için tüm evre verisinin normal dağılıma uygun olduğu belirlenmiştir (Sig. > 0,05). Varyansların homojenliği testine göre TVT ivmesi ve dozu grup varyansı homojendir (Sig_{A(8)} = 0,224; Sig_{VDV_{Total}} = 0,245). TVT ivmesi ve dozu için silindir döngüsünü oluşturan evrelerin ortalamaları arasındaki farklılığın anlamlı olup olmadığı *Tukey* testi ile incelenmiştir (Çizelge 10.16).

Çizelge 10.16'da verilen çoklu karşılaştırma testi sonucunda titreşim ivmesi için bekleme evresi ile ileri sıkıştırma evreleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. Titreşim dozu için de bekleme evresi ile ileri sıkıştırma ve yürüme evreleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 10.16 Silindir döngüsü evrelerinin çoklu karşılaştırması

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)
TUKEY	geri	i sıkıştırma	-,311491	TUKEY	geri	i sıkıştırma	-4,169455
HSD	sıkıştırma	ileri yürüme	-,265400	HSD	sıkıştırma	ileri yürüme	-7,049500
		geri yürüme	-,285733			geri yürüme	-4,247000
		bekleme	,414350			bekleme	10,028500
	ileri	g sıkıştırma	,311491		ileri	g sıkıştırma	4,169455
	sıkıştırma	ileri yürüme	,046091		sıkıştırma	ileri yürüme	-2,880045
		geri yürüme	,025758			geri yürüme	-,077545
		bekleme	,725841*			bekleme	14,197955*
	ileri	g sıkıştırma	,265400		ileri	g sıkıştırma	7,049500
	yürüme	i sıkıştırma	-,046091		yürüme	i sıkıştırma	2,880045
		geri yürüme	-,020333			geri yürüme	2,802500
		bekleme	,679750			bekleme	17,078000*
	geri	g sıkıştırma	,285733		geri	g sıkıştırma	4,247000
	yürüme	i sıkıştırma	-,025758		yürüme	i sıkıştırma	-,077545
		ileri yürüme	,020333			ileri yürüme	-2,802500
		bekleme	,700083			bekleme	14,275500
	bekleme	g sıkıştırma	-,414350		bekleme	g sıkıştırma	-10,028500
		i sıkıştırma	-,725841*			i sıkıştırma	-14,197955*
		ileri yürüme	-,679750			ileri yürüme	-17,078000*
		geri yürüme	-,700083			geri yürüme	-14,275500

10.4.2 Silindir tipinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi

TVT ivmesi (A(8)) ve dozu (VDV_{Total}) düzeylerinin silindir tipindeki farklılıklar ile anlamlı biçimde değişip değişmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Bu analizde silindirler aşağıdaki gruplardan oluşturulmuştur. Grupların istatistikleri Çizelge 10.17'de verilmiştir.

- Orta → 2 silindir
- Büyük → 9 silindir

Çizelge 10.17 Silindir verilerinin betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	11	,76364	,496835	,332	2,118	,76364
VDV _{Total}	11	18,70536	9,303178	8,416	43,083	18,70536

Bu çalışmada normal dağılıma uygunluk Shapiro-Wilk testi üzerinden değerlendirilmiş ve TVT ivmesi ve dozu değerleri normal dağılıma uygun çıkmamıştır (Sig. < 0,05). Tabachnik ve Fidell (2013), çarpıklık ve basıklık değerlerinin +1,500 ile -1,500, George ve Mallery (2010) ise çarpıklık ve basıklık değerlerinin +2,000 ile -2,000 arasında olduğunda verinin normal dağıldığını kabul etmektedirler. TVT ivmesi çarpıklığı 2,268 ve basıklığı 6,209 iken titreşim dozu için 1,874 ile 4,973 normal dağılıma uygun değildir. Bu yüzden nonparametrik (parametrik olmayan) teknikler kullanılarak silindir grupları analiz edilmiştir. Parametrik olmayan iki grubun karşılaştırılması *Mann Whitney U*-testi ile yapılmaktadır. Silindir tipinin karşılaştırıldığı Mann Whitney U-testi sonucuna göre Sig_{A(8)} = 0,346 ve Sig_{VDV_{Total}} = 0,480 çıkmıştır. Sig.>0,05 büyük çıktığı için silindir tipleri arasında anlamlı bir farklılık yoktur.

10.4.3 Silindir tambur sayısının TVT düzeyi üzerindeki etkisi

TVT ivmesi ($A(8)$) ve dozu (VDV_{Total}) düzeylerinin silindir tambur sayısındaki farklılıklar ile anlamlı biçimde değişip değişmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Gruplar aşağıdaki gibidir;

- Tek tamburlu → 7 silindir
- Çift tamburlu → 2 silindir
- Lastik tekerlekli → 2 silindir

Bu analiz için çalışmada örneklenen tambur sayısı grupları arasında fark olup olmadığı yorumlamak için parametrik olmayan ikiden fazla grup olduğunda kullanılan *Kruskal-Wallis Varyans Analizi* uygulanmıştır. Kruskal-Wallis varyans analizi sonucuna göre $Sig_{A(8)} = 0,751$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,931$ çıkmıştır. $Sig.>0,05$ büyük çıktığı için silindir tambur sayıları grupları arasında titreşim ivmesi ve dozu bakımından anlamlı bir farklılık yoktur.

10.4.4 Silindir titreşim durumunun TVT düzeyi üzerindeki etkisi

TVT ivmesi ($A(8)$) ve dozu (VDV_{Total}) düzeylerinin silindirleri titreşimli tambura sahip olup olmaması durumundaki farklılıklar ile anlamlı biçimde değişip değişmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Gruplar aşağıdaki şekilde oluşmaktadır.

- Titreşimsiz → 2 silindir
- Titreşimli → 9 silindir

Silindir titreşim yeteneğinin karşılaştırıldığı Mann Whitney U-testi sonucuna göre $Sig_{A(8)} = 0,637$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,814$ çıkmıştır. $Sig.>0,05$ büyük çıktığı için titreşimli ve titreşimsiz silindirlerin operatörlerinin titreşim ivmesi ve dozu maruziyetleri arasında anlamlı bir farklılık yoktur.

10.4.5 Hizmet süresinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi

TVT ölçümünün alındığı tarih itibarıyla hesaplanmış olan silindir hizmet sürelerinin TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Hizmet süresi 5 yıllık gruplara ayrılmıştır. Silindirlerin hizmet sürelerine göre yapılan gruplandırma aşağıda verilmektedir.

- 1-5 → 7 silindir
- 6-10 → 2 silindir
- >11 → 2 silindir

Parametrik olmayan ikiden fazla grup olduğunda uygulanan *Kruskal-Wallis Varyans Analizi* çalışmada örneklenen hizmet süresi gruplarının arasında fark olup olmadığı yorumlamak için kullanılmıştır. Kruskal-Wallis varyans analizi sonucuna göre $Sig_{A(8)} = 0,391$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,125$ çıkmıştır. $Sig.>0,05$ büyük çıktığı için hizmet süresi grupları arasında titreşim ivmesi ve dozu maruziyeti bakımından anlamlı bir farklılık yoktur.

10.4.6 Operatör yaşının TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Operatör yaşının TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Bu analizde, operatör yaşları 10 yıllık kategorilere ayrılmış ve buna göre aşağıdaki sayıda operatör bulunmaktadır;

- a) 31-40 → 5 operatör
- b) 41-50 → 5 operatör
- c) ≥ 51 → 2 operatör

Parametrik olmayan ikiden fazla grup olduğunda uygulanan *Kruskal-Wallis Varyans Analizi* çalışmada örneklenen operatör yaşı gruplarının arasında fark olup olmadığı yorumlamak için kullanılmıştır. Kruskal-Wallis varyans analizi sonucuna göre $Sig_{A(8)} = 0,100$ ve $Sig_{VDVT_{Total}} = 0,103$ çıkmıştır. $Sig.>0,05$ büyük çıktığı için operatör yaşı grupları arasında titreşim ivmesi ve dozu maruziyeti bakımından anlamlı bir farklılık yoktur.

10.4.7 Operatör deneyiminin TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Operatör deneyiminin TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Bu analizde, operatör deneyimi 10 yıllık kategorilere ayrılmıştır. Buna göre aşağıdaki sayıda gruplarda operatör bulunmaktadır;

- a) 1-10 → 6 operatör
- b) 11-20 → 3 operatör
- c) ≥ 21 → 2 operatör

Kruskal-Wallis varyans analizi sonucuna göre $Sig_{A(8)} = 0,256$ ve $Sig_{VDVT_{Total}} = 0,827$ çıkmıştır. $Sig.>0,05$ büyük çıktığı için operatör deneyimi grupları arasında titreşim ivmesi ve dozu maruziyeti bakımından anlamlı bir farklılık yoktur.

11 DELİCİLERİN TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ ve DEĞERLENDİRİLMESİ

11.1 Genel

Bu çalışma kapsamında farklı tip ve modelde toplam 10 adet deliciden TVT maruziyeti ölçümleri alınmış ve analiz edilmiştir. Delicilerin iş döngüsünün aşağıdaki evrelerden oluştuğu kabul edilerek, ölçümlerin delici çalışmasını kapsamına dikkat edilmiş ve tüm delicilerin iş döngüsünü temsil edecek süre boyunca kayıt alınmıştır.

- a) Tüm kayıt (Whole data); Delicilerin tipik iş döngüsündeki tüm evreleri kapsayacak biçimde, araç hareketi öncesi ve döngü bitişi sonrası durağan haller de dahil olmak üzere alınan tüm kaydın brüt TVT maruziyetini göstermektedir. Operatörün TVT maruziyeti hesaplarında kullanılmamaktadır.
- b) Net kayıt (RECORD); Delicilerin tipik iş döngüsündeki tüm evreleri kapsamakta ve bu süredeki TVT maruziyetini göstermektedir. Hareketin başında sürücünün koltuğa yerleşme ve hareketin sonunda koltuktan kalkma çabaları sırasında koltuk üzerindeki disk tipi ivmeölçer ile kabin zeminindeki ivmeölçere şok etkilerinden kaynaklanabilen çok yüksek titreşim ivmeleri ayıklanarak, analizlerden çıkartılmaktadır. Operatörün genel TVT maruziyetini temsil etmekte ve hesaplarda kullanılmaktadır.
- c) Delmeye hazırlık (PREPARE TO DRILL); Delicinin delme işlemine başlamadan önce hazırlık amacıyla yaptığı hareket sırasında maruz kalınan titreşimi kaydedilmektedir.
- d) Delme (DRILL); Delme işlemi gerçekleştirilirken maruz kalınan titreşim kaydedilmektedir.
- e) Tij değiştirme (ROD CHANGE); Delicii tij değiştirirken maruz kalınan titreşim kaydedilmektedir.
- f) İleri yürüme (FORWARD); Delicinin diğer bir patlatma deliğine doğru ilerleme hareketi yaparken maruz kalınan titreşimi temsil etmek için kaydedilmektedir.

Delicilerin 6 adedi küçük, 4 adedi büyük boyutludur. Çizelge 11.1'de TVT ölçümü alınan delicilerin işletmelere dağılımı ile temel çalışma özellikleri verilmiştir.

Delicilerin TVT maruziyeti ölçümleri, üç adedi koltuktan ($Seat_x$, $Seat_y$, $Seat_z$), üç adedi de kabin zemininden ($Floor_x$, $Floor_y$, $Floor_z$) olmak üzere toplam altı kanaldan, aracın bir tam çevrimini kapsayacak biçimde gerçekleştirilmiştir. Titreşim analizörü ile frekans ağırlıklı ivme (a_w), titreşim dozu (VDV), maksimum geçici titreşim değeri (MTVV), tepe titreşim ivmesi (PEAK) ve tepe-tepe titreşim ivmesi (P-P) ölçülerek, değerlendirilmiştir. Kayıt süreleri 04 dakika 44 saniye ile 14 dakika 07 saniye arasında değişmiştir. ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca TVT maruziyeti değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılan parametrelerin değerleri, koltuk ve zemin için hesaplanmıştır.

Çizelge 11.1 Delicilerin temel bilgileri

İşletme	Delici	Hizmete giriş	Malzeme sınıfı	Kapasite (m ³)
Alçı Ocağı	No_10	2006	Az_ayrışmış_kayaç	Küçük
Hazır Beton İşletmesi	No_13	2011	Az_ayrışmış_kayaç	Küçük
Kömür İşletmesi	No_123	1985	Ayrışmış_kayaç	Büyük
Kömür İşletmesi	No_136	2006	Ayrışmış_kayaç	Büyük
Altın İşletmesi	No_158	2011	Az_ayrışmış_kayaç	Küçük
Altın İşletmesi	No_159	2013	Az_ayrışmış_kayaç	Küçük
Altın İşletmesi	No_160	2012	Az_ayrışmış_kayaç	Küçük
Demir İşletmesi	No_201	2010	Ayrışmamış_kayaç	Küçük
Kömür İşletmesi	No_235	1985	Ayrışmış_kayaç	Büyük
Kömür İşletmesi	No_263	1988	Bloklu_toprak	Büyük

11.2 Net kayıt (RECORD) Evresi

11.2.1 Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme

Delicilerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $A(8)_{\text{Seat}}$, ortalama ve standart sapması $(0,233 \pm 0,123)$ m/s² olacak biçimde $0,083$ m/s² ile $0,451$ m/s² arasında değişmiştir. Diğer yandan delicilerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $Vector_{1-3}$, ortalama ve standart sapması $(0,298 \pm 0,149)$ m/s² olacak biçimde $0,102$ m/s² ile $0,557$ m/s² arasında değişmiştir.

En yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum eksen 2 delicide X (Ch1), 1 delicide Y (Ch2), 7 delicide ise Z (Ch3) olmuştur. Tüm delicilerin en kötü durum eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre $A(8)_{\text{Seat}}$ değerlerinin EAV ve ELV sınırları ile karşılaştırılması Şekil 11.1'de sunulmuştur.

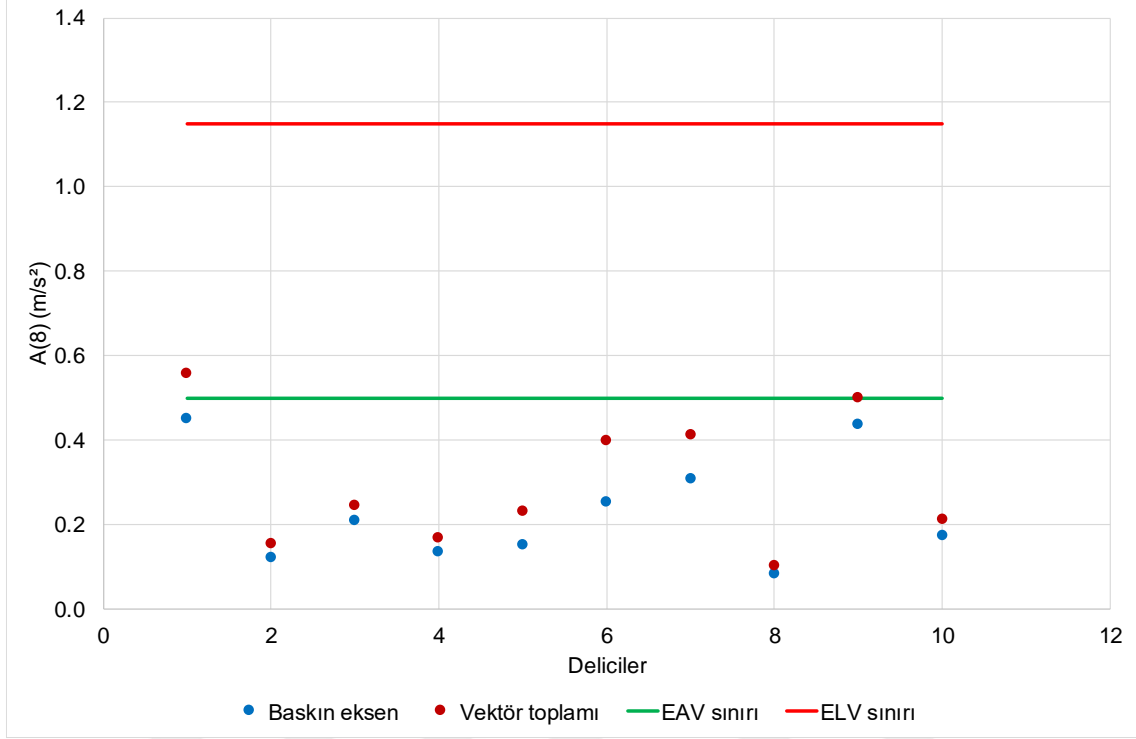
Delicilerin EU 2002/44/EC direktifi ve ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum ölçütü dikkate alındığında araçların hemen tümünün EAV ve HGCZ sınırları (dikkat bölgesi) altında olduğu görülmektedir (Çizelge 11.2). Vektör toplamı ölçütü dikkate alındığında da hiçbir delici EAV ve HGCZ sınırını aşmamaktadır.

Çizelge 11.2 Delici operatörlerinin $A(8)$ değerine göre sağlık riski bölgesi

Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		Bölge	ISO2631-1 HGCZ Bölgesi	
	EKDE	VT	EKDE	VT		EKDE	VT
EAV altında	10	9	9	8	HGCZ altında	8	8
EAV içinde	0	1	1	2	HGCZ içinde	2	2
ELV üstünde	0	0	0	0	HGCZ üstünde	0	0

Delicilerin maruziyet eylem değerine erişim süresi ($EAV_{TT(RMS)}$), en kötü durum eksen üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması $(80:47:16 \pm 81:31:03)$ sa olacak biçimde $09:49:58$ sa ile $293:08:11$ sa arasında değişmiştir. Diğer yandan delicilerin maruziyet sınır değerine erişim süresi ($ELV_{TT(RMS)}$), en kötü durum eksen üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması $(427:22:02 \pm 431:13:38)$ sa olacak biçimde $52:00:56$ sa ile $1550:41:32$ sa arasında

değişmiştir. Bu durumda 10 delicinin hiçbirisi 8 saatlik vardiya süresi bitmeden operatörü maruziyet eylem değerine, dolayısıyla maruziyet sınır değerine erişmemektedir.



Şekil 11.1 Delicilerin A(8) değerleri

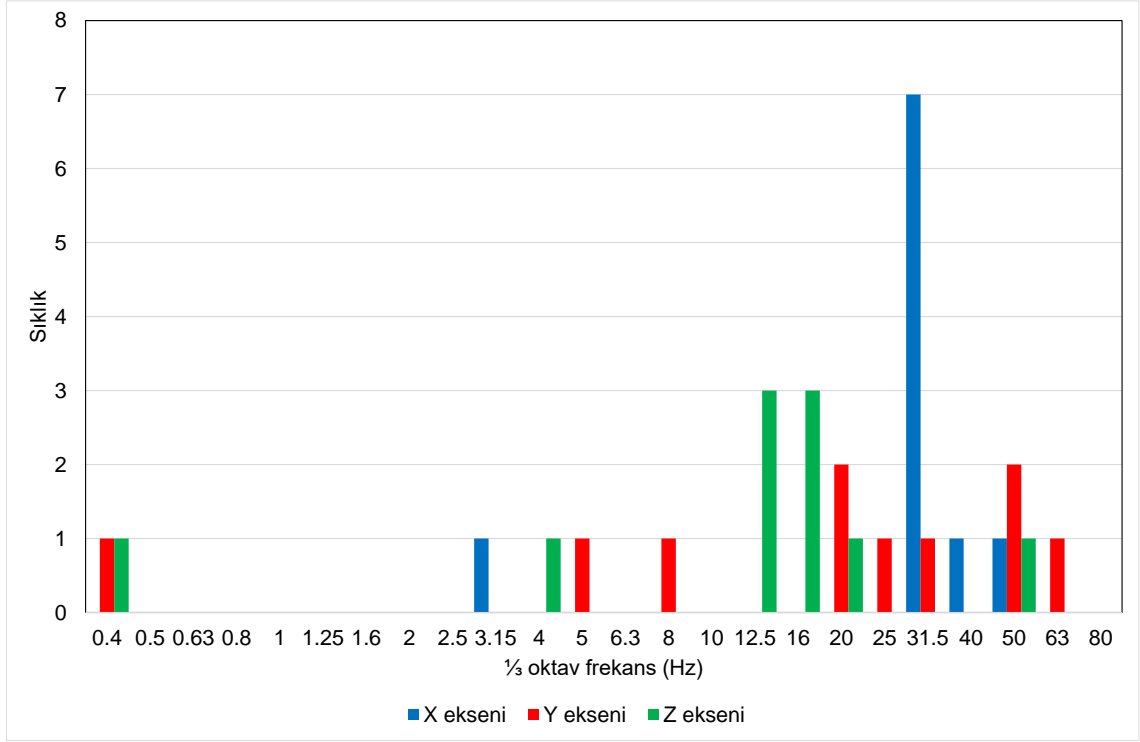
Net kayıt evresinde operatör koltuğunda X, Y ve en kötü durum Z ekseninde sırasıyla 10, 9 ve 10 delicinin doruk faktörü 9'dan büyük çıkmıştır.

Doruk faktörü	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	9,900	5,542	9,181
En büyük	32,000	28,372	61,975
Ortalama	19,601	16,578	24,713
Standart sapma	6,485	6,760	18,360
≥9	10	9	10
<9	0	1	0

Delici operatörlerinin maruz kaldığı TVT ivmesine ait frekans spektrumu 1/3 oktav bant dağılımı ile değerlendirildiğinde 0,4 Hz ile 80 Hz arasındaki merkez bant frekanslarına göre her ikisi de yatay düzlemdeki ortogonal eksenler boyunca oluşan titreşimin X ekseninde 31,5 Hz – 50 Hz aralığına, Y ekseninde 20 Hz – 63 Hz aralığına yoğunlaştığı görülmektedir. Diğer yandan, Z eksenini incelendiğinde baskın frekans 12,5 Hz – 20 Hz aralığındadır. Her üç eksenindeki TVT ivmelerine ait baskın frekans dağılımı Şekil 11.2'de verilmiştir.

Operatör koltuğunun titreşim sönümlenme özelliğini gösteren koltuk etkinliği genlik geçirgenliği (SEAT) faktörü X eksenini için 1,040 ile 2,818 arasında, Y eksenini için 1,031 ile 3,080 arasında ve

Z eksenini için 0,435 ile 1,391 arasında değişmiştir. Her üç ekseninde de zeminde oluşan titreşim delicilerin bir kısmında koltukta sönümlenirken, bir kısmında şiddetlenmiştir. Buna göre titreşim, X ve Y eksenlerinde tüm delicilerde şiddetlenmiş ancak Z ekseninde 5 delicide koltukta sönümlenirken 5 delicide şiddetlenmiştir. Operatör koltuğu Z ekseninde titreşimi kısmen sönümlenmektedir.



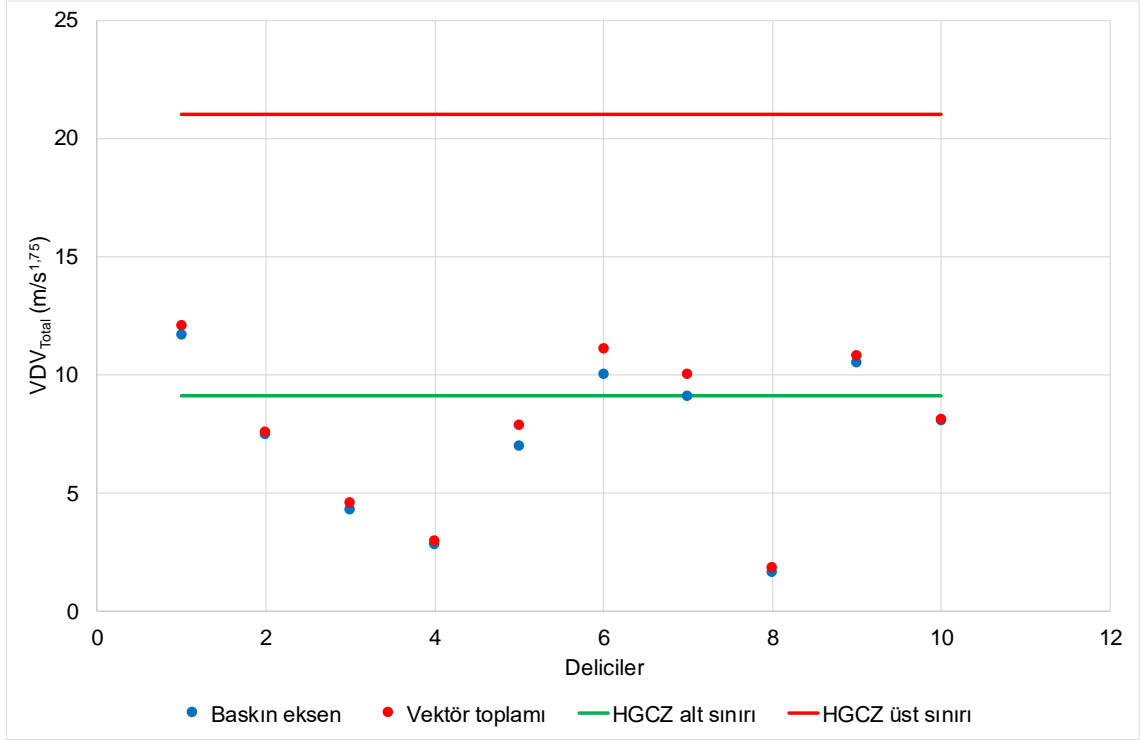
Şekil 11.2 Delicilerin A(8) değerlerinin 1/3 oktav baskın frekansları

11.2.2 Titreşim dozu (VDV) üzerinden değerlendirme

Delicilerin operatör koltuğunda ölçülen TVT dozu değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde VDV_{Total} , ortalama ve standart sapması $(7,243 \pm 3,190) m/s^{1.75}$ olacak biçimde $1,636 m/s^{1.75}$ ile $11,663 m/s^{1.75}$ arasında değişmiştir. Diğer yandan delicilerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $Vector_{1-3}$, ortalama ve standart sapması $(7,682 \pm 3,357) m/s^{1.75}$ olacak biçimde $1,806 m/s^{1.75}$ ile $12,089 m/s^{1.75}$ arasında değişmiştir.

En yüksek titreşim dozu kaydedilen en kötü durum eksenini 2 delicide X (Ch1), 1 delicide Y, 7 delicide ise Z eksenini (Ch3) olmuştur. Tüm delicilerin en kötü durum eksenini ve vektör toplamı ölçütlerine göre VDV_{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması Şekil 11.3'de sunulmuştur.

Delicilerin BS 6841 (1987), ISO 2631-1 (1997) standartları ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum ölçütü dikkate alındığında araçların büyük bölümünün EAV sınırı altında ve küçük kısmının EAV bölgesi içinde olduğu görülmektedir (Çizelge 11.3). Vektör toplamı açısından değerlendirme yapıldığında, ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) ölçütlerine göre EAV ile ELV bölgeleri arasında önemli geçişler bulunmamaktadır. Diğer yandan BS 6841 (1987) standardı uyarınca değerlendirme yapıldığında tüm delicilerin tehlike sınırı olan $15 \text{ m/s}^{1.75}$ altında kaldığı görülmektedir.



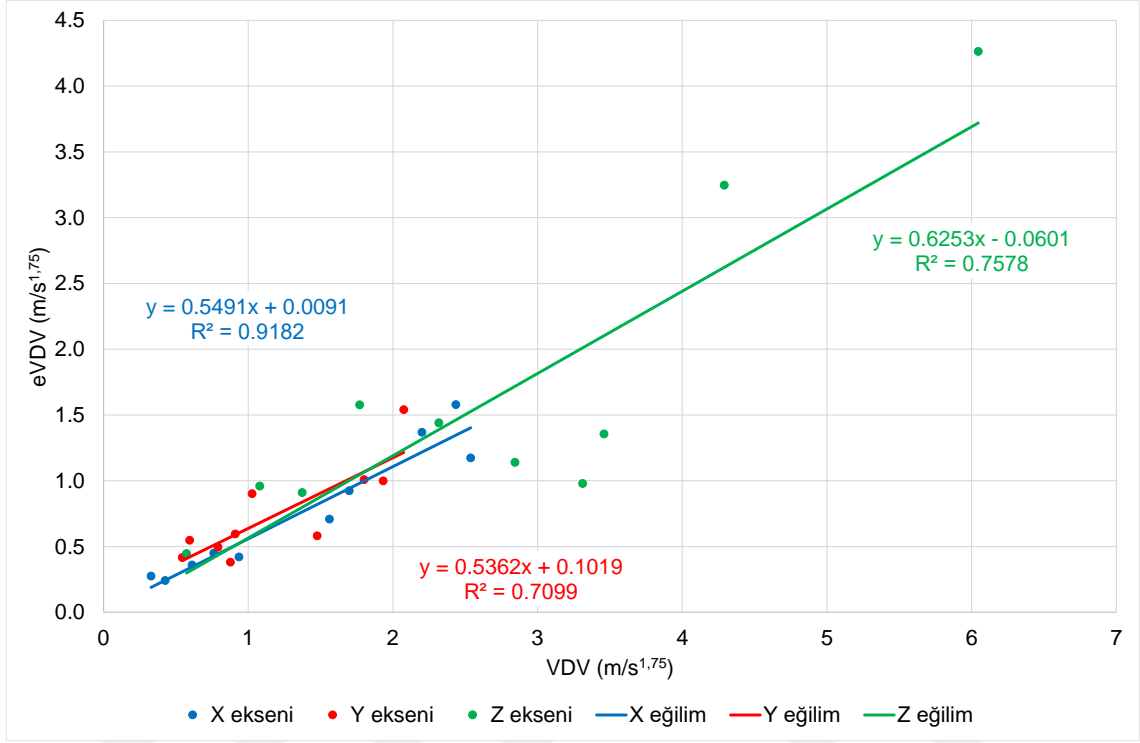
Şekil 11.3 Delicilerin VDV_{Total} değerleri

Çizelge 11.3 Delici operatörlerinin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi

Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)	
	EKDE	VT	EKDE	VT	EKDE	VT
EAV altında	7	6	6	6	10	10
EAV içinde	3	4	4	4	-	-
ELV üstünde	0	0	0	0	0	0

Tez çalışması kapsamında tüm deliciler için titreşim dozu değerleri (VDV) ölçülmüş ve kestirilen titreşim dozu değeri de ($eVDV, \text{m/s}^{1.75}$) BS 6841 (1987) standardı uyarınca hesaplanmıştır. Çalışmada örneklenen 10 adet deliciden X ve Z eksenlerinde tümünün, Y ekseninde ise 9 adedinin doruk faktörü 6'dan büyük çıkmıştır. Bu durum delici operasyonlarında şokların etkisinin bulunduğunu göstermektedir. VDV ile RMS üzerinden kestirilen $eVDV$ arasındaki ilişkiyi göstermek amacıyla $eVDV$ değerleri hesaplanmıştır. Sonuçta oluşan tabloda, her üç eksen için

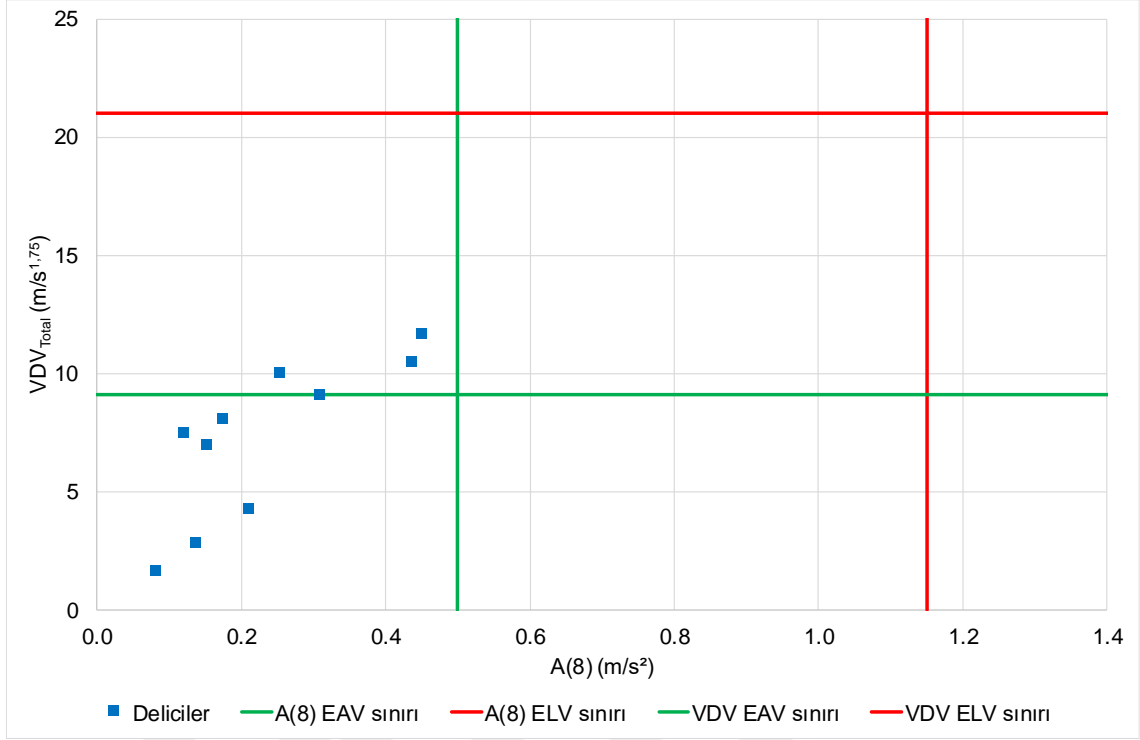
VDV – eVDV ilişkisi Şekil 11.4’de verilmiştir. Her üç veri gurubu için doğrusal regresyon analizi yapılmış olup, belirlilik katsayıları %70,99 ile %91,82 arasında değişmekte olup regresyon eşitliklerinin güçlü olduğuna işaret etmektedir.



Şekil 11.4 Delicilerin VDV – eVDV ilişkisi

Delicilerin maruziyet eylem değerine erişim süresi ($EAV_{TT(VDV)}$), en kötü durum eksenı üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması (880:47:47 ± 2277:35:06) sa olacak biçimde 02:57:55 sa ile 7667:12:03 sa arasında değişmiştir. Diğer yandan delicilerin maruziyet sınır değerine erişim süresi ($ELV_{TT(VDV)}$), en kötü durum eksenı üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması (24979:41:46 ± 64593:06:54) sa olacak biçimde 84:05:39 sa ile 217444:30:33 sa arasında değişmiştir. Bu durumda toplam 10 deliciden 3 adedi operatörlerini vardiya bitmeden titreşim eylem değerine eriştirirken, hiçbirisi vardiya bitmeden maruziyet sınır değerine eriştirmemektedir.

Delici operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile VDV_{total} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 11.5’de sunulmuştur. A(8) ve VDV_{total} ölçütlerinin üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan delici bulunmamaktadır.



Şekil 11.5 Delici operatörlerinin A(8) – VDV_{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki

11.2.3 Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme

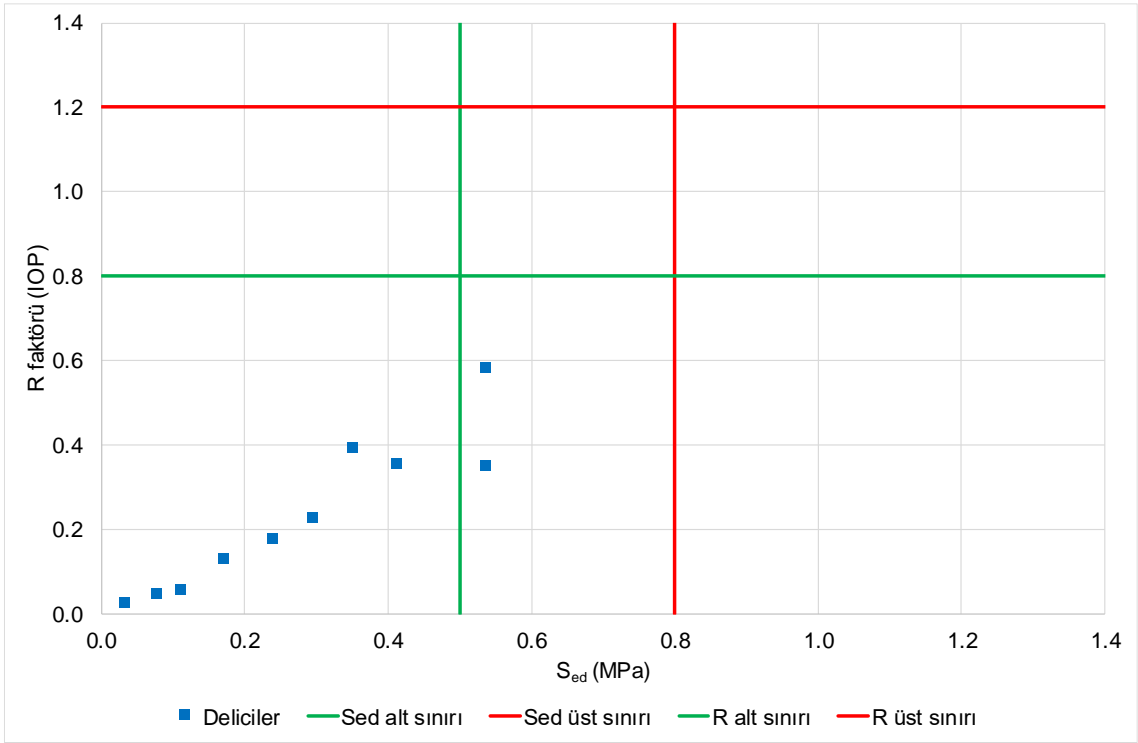
Delici operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri kullanılarak hesaplanan S_{ed} değerleri ortalama ve standart sapması $(0,275 \pm 0,172)$ MPa olacak biçimde 0,033 MPa ile 0,534 MPa arasında değişmiştir. Diğer yandan delici operatörlerinin R(IOP) faktörleri, ortalama ve standart sapması $(0,234 \pm 0,173)$ olacak biçimde 0,025 ile 0,582 arasında, R(TOP) faktörleri ortalama ve standart sapması $(0,343 \pm 0,215)$ olacak biçimde 0,041 ile 0,668 arasında değişmiştir.

Tüm delici operatörleri eşdeğer statik basınç dozu değeri (S_{ed}) ölçütüne göre değerlendirildiğinde; 8 operatör 0,5 MPa'dan düşük basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı düşük ve 2 operatör 0,5 MPa – 0,8 MPa arası basınca maruz kaldığından titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı orta düzeydedir.

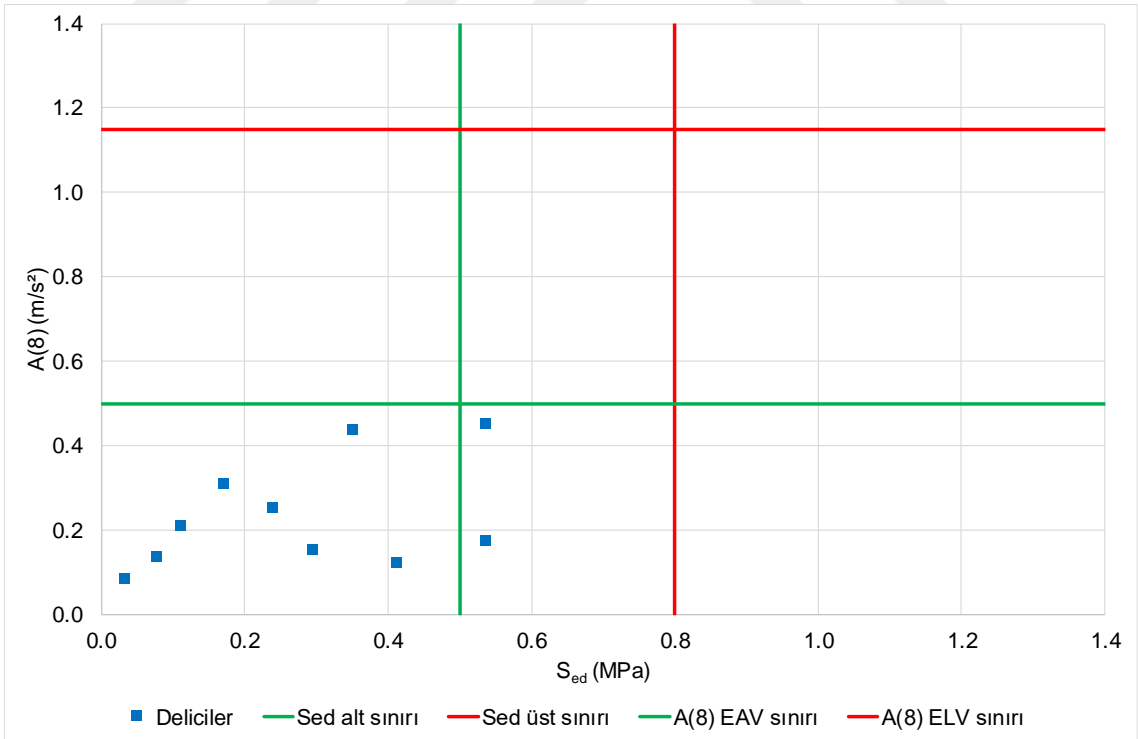
Delici operatörleri günlük risk faktörü ölçütüne göre değerlendirildiğinde; 10 operatörün tümünün R faktörü 0,8'den düşük olup sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığı düşüktür. Delici operatörlerinin her iki ölçüte göre risk sınırları ile karşılaştırılması Şekil 11.6'da sunulmuştur.

Delici operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 11.7'de sunulmuştur. A(8) ve S_{ed} ölçütlerinin üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan delici bulunmamaktadır.

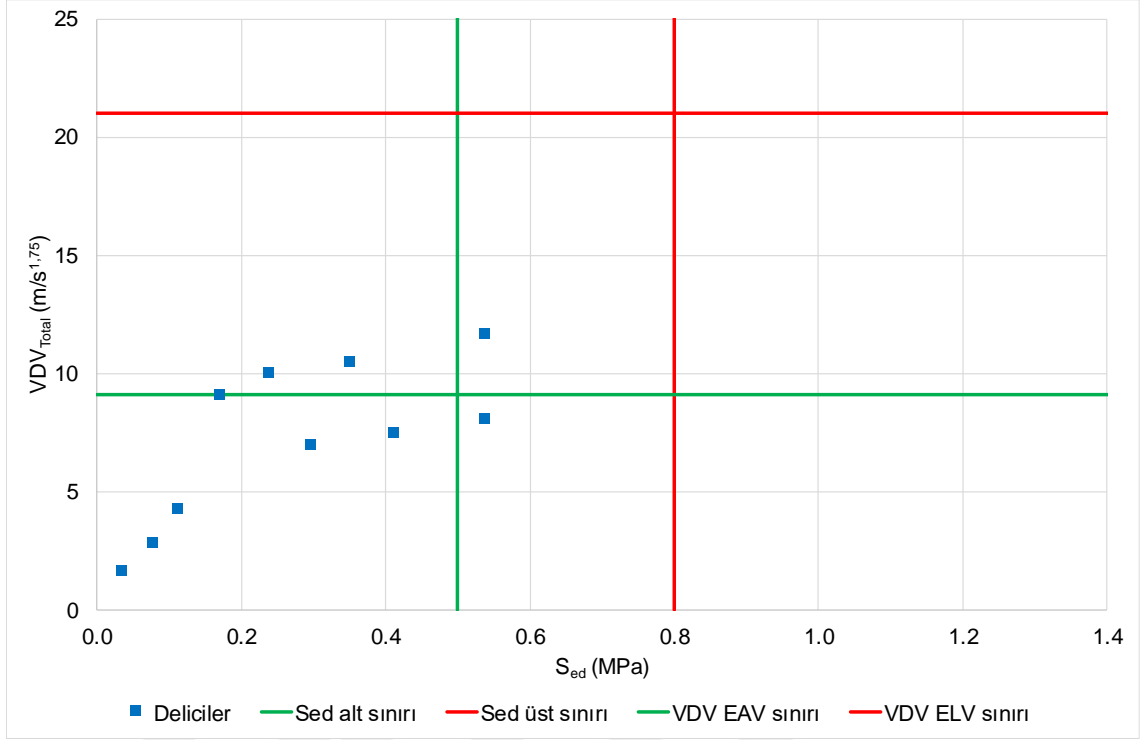
Delici operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) VDV_{Total} ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 11.8'de sunulmuştur. VDV_{total} ve S_{ed} ölçütlerinin üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan delici bulunmamaktadır.



Şekil 11.6 Delici operatörlerinin S_{ed} – R faktörü ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki



Şekil 11.7 Delici operatörlerinin S_{ed} – A(8) ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki



Şekil 11.8 Delici operatörlerinin S_{ed} – VDV_{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki

11.3 Evrelerin Değerlendirilmesi

11.3.1 Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme

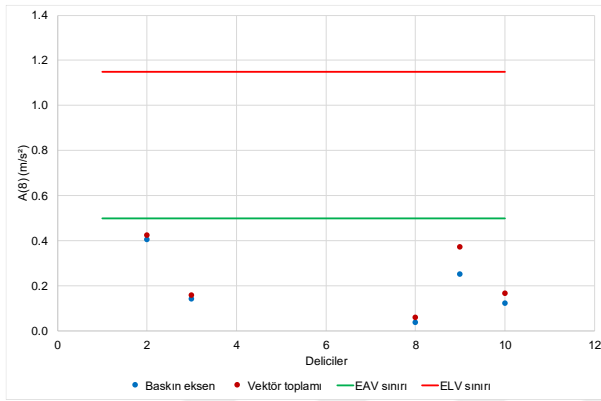
Delicilerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $A(8)_{Seat}$, operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $Vector_{1-3}$, EAV ve ELV değerleri Çizelge 11.4'de verilmektedir. İleri yürüme haricindeki tüm evreler çok düşük düzeyli titreşim maruziyeti oluşturmakta olup, bu evre de EAV sınırı altında kalmaktadır. Tüm delicilerin en kötü durum eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre $A(8)_{Seat}$ değerlerinin EAV ve ELV sınırları ile karşılaştırılması Şekil 11.9a-d'de sunulmuştur.

Çizelge 11.5'de görüleceği gibi delicilerin EU 2002/44/EC direktifi ve ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum ölçütü dikkate alındığında araçların hemen tümünün EAV ve HGCZ sınırları (dikkat bölgesi) altında olduğu görülmektedir. Vektör toplamı ölçütüne göre değerlendirme yapıldığında ise yalnızca ileri yürüme evresinde 1 adet delici HGCZ sınırını aşmaktadır.

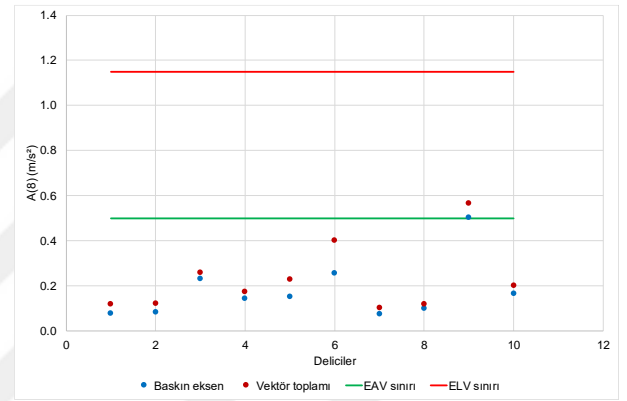
Çizelge 11.6'da en yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum ekseninin tüm evreler için değerleri verilmektedir. Evreler tek tek incelendiğinde, çok düşük düzeyli titreşim maruziyetine neden olan delmeye hazırlık ve delme evreleri haricinde yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum eksen Z (Ch3) olmuştur. Bu iki evrede X ve Y eksenleri de en kötü durum eksen olarak kaydedilmiştir.

Çizelge 11.4 Delici döngü evrelerinde titreşim ivmesi parametreleri

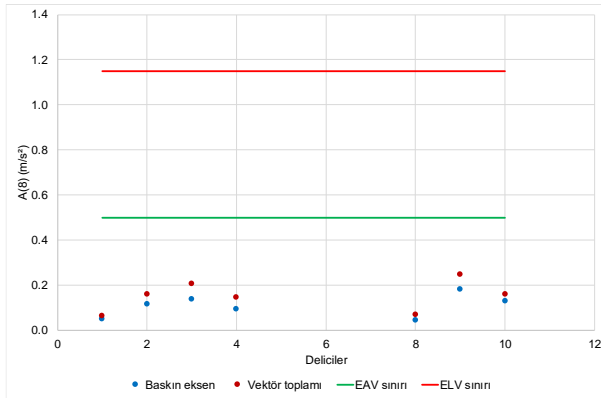
Evre	A(8) (m/s ²)				Vektör ₁₋₃ (m/s ²)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Delme h	0,191	0,126	0,038	0,403	0,236	0,138	0,060	0,422
Delme	0,179	0,123	0,074	0,502	0,229	0,142	0,103	0,567
Tij değiş	0,108	0,045	0,046	0,182	0,150	0,062	0,065	0,247
İleri yürü	0,259	0,222	0,102	0,745	0,327	0,272	0,118	0,916
	EAV _{TT(RMS)} (sa)				ELV _{TT(RMS)} (sa)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Delme h	>24	>24	12:18:53	>24	>24	>24	>24	>24
Delme	>24	>24	07:56:11	>24	>24	>24	>24	>24
Tij değiş	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24
İleri yürü	>24	>24	03:36:12	>24	>24	>24	19:03:44	>24



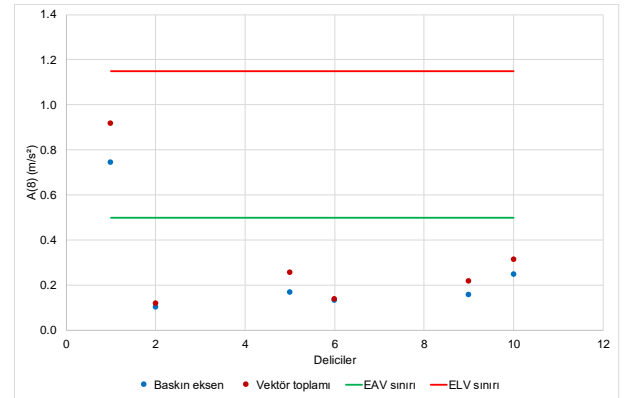
a) Delmeye hazırlık evresi



b) Delme evresi



c) Tij değiştirme evresi



d) İleri yürüme evresi

Şekil 11.9 Delici evrelerinde A(8) değerleri

Çizelge 11.7'de eksenler ve evreler bazında doruk faktörü değerleri verilmektedir. En yüksek titreşim ivmesine maruz kalınan ileri yürüme evresinde tüm eksenlerde doruk faktörü 9'dan küçüktür. Diğer yandan düşük düzeyli titreşim oluşturan delme evresinde tüm eksenlerde doruk faktörü 9'dan büyük çıkmıştır. Tij değiştirme ve delmeye hazırlık evrelerinde şok yüklemeleri gösteren doruk faktörleri X ve Y eksenlerinde 9'dan küçük iken Z ekseninde büyüktür.

Çizelge 11.5 Delici döngü evrelerinde operatörlerin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi

Evre	Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		Bölge	ISO2631-1 HGCZ Bölgesi	
		EKDE	VT	EKDE	VT		EKDE	VT
Delmeye hazırlık	EAV altında	5	5	5	5	HGCZ altında	5	5
	EAV içinde	0	0	0	0	HGCZ içinde	0	0
	ELV üstünde	0	0	0	0	HGCZ üstünde	0	0
Delme	EAV altında	9	9	9	9	HGCZ altında	9	9
	EAV içinde	1	1	1	1	HGCZ içinde	1	1
	ELV üstünde	0	0	0	0	HGCZ üstünde	0	0
Tij değiştirme	EAV altında	7	7	7	7	HGCZ altında	7	7
	EAV içinde	0	0	0	0	HGCZ içinde	0	0
	ELV üstünde	0	0	0	0	HGCZ üstünde	0	0
İleri yürüme	EAV altında	5	5	5	5	HGCZ altında	5	5
	EAV içinde	1	1	1	0	HGCZ içinde	1	0
	ELV üstünde	0	0	0	1	HGCZ üstünde	0	1

Çizelge 11.6 Delici döngü evrelerinde A(8) değerine göre en kötü durum eksenleri

Evre	Delici adedi		
	X (Ch1)	Y (Ch2)	Z (Ch3)
Delmeye hazırlık	1	-	4
Delme	1	1	8
Tij değiştirme	-	-	7
İleri yürüme	-	-	6

Çizelge 11.7 Delici döngü evrelerinde titreşim ivmesi doruk faktörleri

Doruk faktörü	Delmeye hazırlık			Delme		
	Seatx	Seaty	Seatz	Seatx	Seaty	Seatz
En küçük	5,919	5,379	3,064	7,393	4,606	8,310
En büyük	30,815	12,048	20,406	39,688	28,740	57,530
Ortalama	14,516	7,885	12,209	18,322	15,957	21,151
Standart sapma	8,911	2,583	6,907	9,311	7,989	14,417
≥9	3	2	3	9	8	8
<9	2	3	2	1	2	2
Doruk faktörü	Tij değiştirme			İleri yürüme		
	Seatx	Seaty	Seatz	Seatx	Seaty	Seatz
En küçük	6,583	7,269	7,673	4,647	4,935	7,609
En büyük	18,067	23,780	64,094	9,201	15,707	14,549
Ortalama	10,339	10,479	18,027	7,487	8,149	9,984
Standart sapma	3,558	5,499	18,898	1,672	3,655	2,477
≥9	3	2	4	1	1	2
<9	4	5	3	5	5	4

Operatör koltuğunun titreşim sönümlenme özelliğini gösteren koltuk etkinliği genlik geçirgenliği (SEAT) faktörü evreler bazındaki değerleri Çizelge 11.8'de verilmiştir. Yatay düzlemdeki X ve Y eksenlerinde tüm evrelerde ve delicilerin hemen tümünde zemindeki titreşim koltukta şiddetlenmiştir. Bu davranış, delme evresi haricinde Z eksenini için de geçerlidir. Sonuç olarak, delicilerin operatör kabini zeminindeki titreşimin koltukta şiddetlendiği söylenebilir.

Çizelge 11.8 Delici döngü evrelerinde titreşim ivmesi SEAT faktörleri

SEAT faktörü	Delmeye hazırlık			Delme		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	2,176	2,000	0,931	0,966	0,892	0,481
En büyük	9,889	6,000	6,500	2,913	3,214	1,221
<1	-	-	-	1	1	7
≥1	5	5	5	9	9	3

SEAT faktörü	Tij değiştirme			İleri yürüme		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	1,000	1,390	0,636	1,128	0,960	0,773
En büyük	4,611	2,952	1,551	2,028	2,091	1,600
<1	1	-	3	-	1	1
≥1	6	7	4	6	5	5

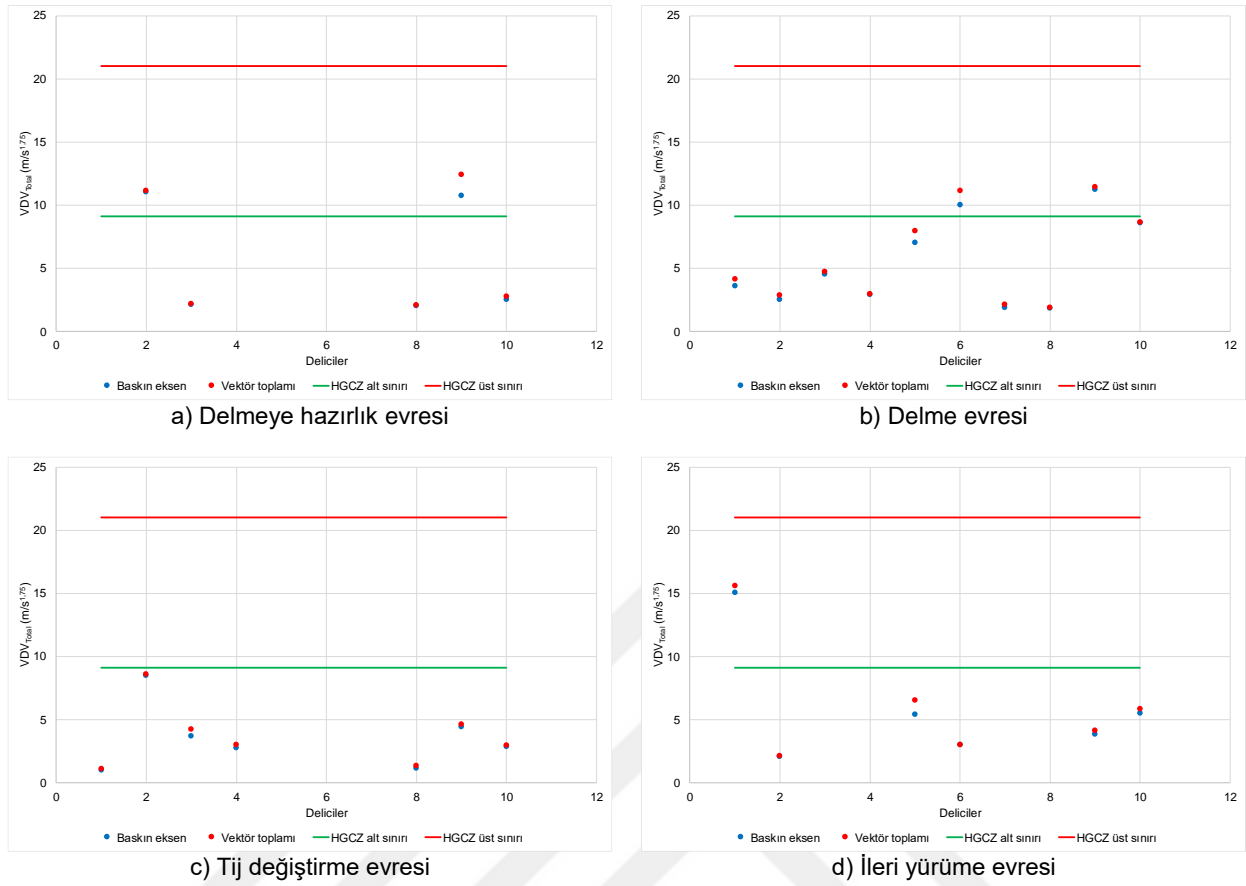
11.3.2 Titreşim dozu üzerinden değerlendirme

Delicilerin operatör koltuğunda ölçülen TVT dozu değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde VDV_{Total} , operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $Vector_{1-3}$, EAV ve ELV değerleri Çizelge 11.9'da verilmektedir. Tüm evrelerde benzer titreşim dozu maruziyeti izlenmektedir. Delicilerin en kötü durum eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre VDV_{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması Şekil 11.10a-d'de sunulmuştur.

Delicilerin BS 6841 (1987), ISO 2631-1 (1997) standartları ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum ölçütü dikkate alındığında araçların büyük bölümünün EAV sınırı altında, küçük kısmının ise EAV bölgesi içinde olduğu görülmektedir (Çizelge 11.10). Vektör toplamı açısından değerlendirme yapıldığında, ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) ölçütlerine göre EAV ile ELV bölgeleri arasında önemli geçişler bulunmamaktadır. Bunun nedeni titreşim maruziyetlerinin düşük düzeyli olması ve vektör toplamı üzerinden maruziyet hesaplandığında da yüksek titreşim dozu değerlerine erişilmemesidir.

Çizelge 11.9 Delici döngü evrelerinde titreşim dozu parametreleri

Evre	VDV_{Total} ($m/s^{1,75}$)				Vektör ₁₋₃ ($m/s^{1,75}$)			
	Ort.	Std. sapma	En küçük	En büyük	Ort.	Std. sapma	En küçük	En büyük
Delmeye h	5,685	4,252	2,029	11,043	6,121	4,650	2,082	12,433
Delme	5,416	3,355	1,826	11,260	5,784	3,499	1,895	11,452
Tij değiş	3,482	2,344	1,007	8,495	3,680	2,345	1,091	8,581
İleri yürü	5,819	4,304	2,093	15,051	6,210	4,457	2,124	15,584
	EAV _{TT(VDV)} (sa)				ELV _{TT(VDV)} (sa)			
	Ort.	Std. sapma	En küçük	En büyük	Ort.	Std. sapma	En küçük	En büyük
Delmeye h	>24	>24	03:41:20	>24	>24	>24	>24	>24
Delme	>24	>24	03:24:47	>24	>24	>24	>24	>24
Tij değiş	>24	>24	10:31:59	>24	>24	>24	>24	>24
İleri yürü	>24	>24	01:04:09	>24	>24	>24	>24	>24



Şekil 11.10 Delici evrelerinin VDV_{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması

Çizelge 11.10 Delici döngü evrelerinde operatörlerin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi

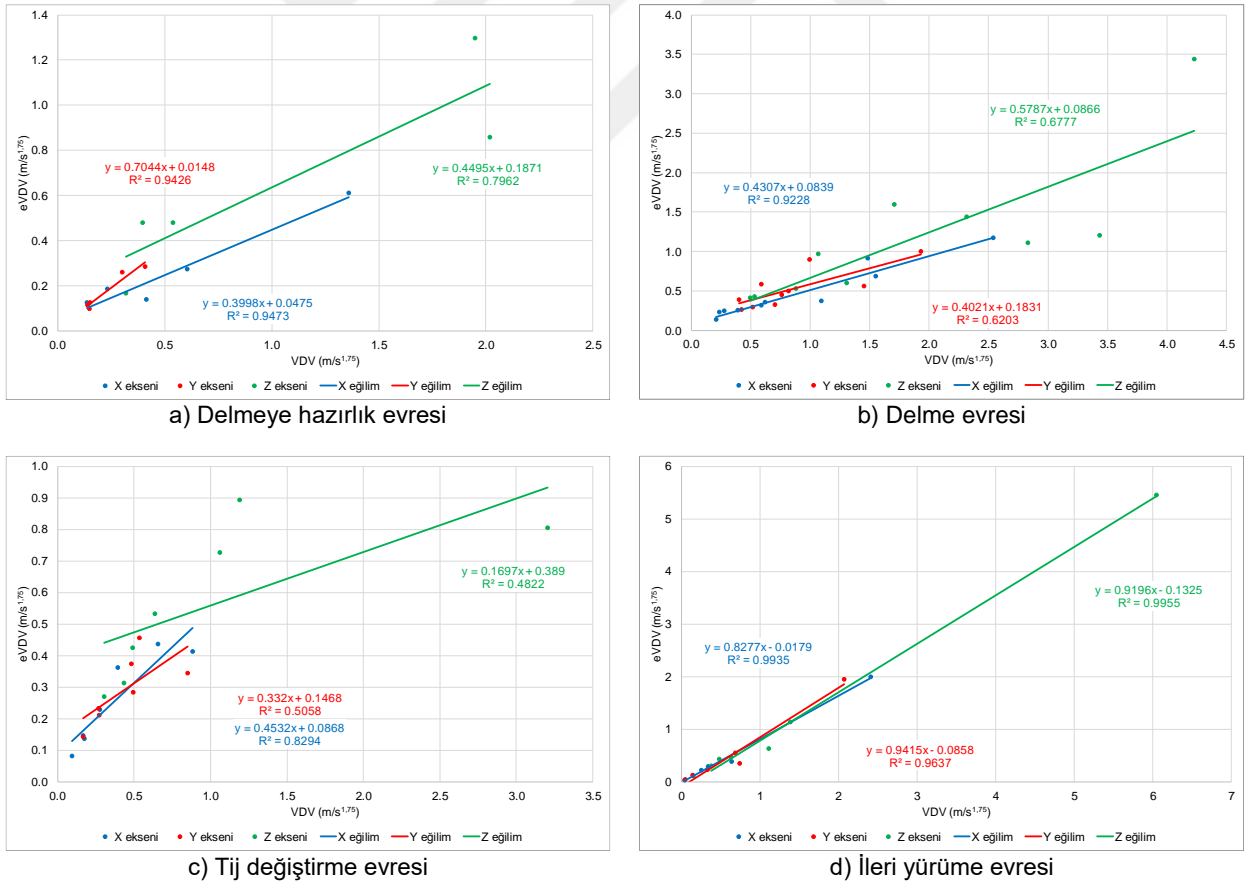
Evre	Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)	
		EKDE	VT	EKDE	VT	EKDE	VT
Delmeye hazırlık	EAV altında	3	3	3	3	5	5
	EAV içinde	2	2	2	2	-	-
	ELV üstünde	0	0	0	0	0	0
Delme	EAV altında	8	8	7	7	10	10
	EAV içinde	2	2	3	3	-	-
	ELV üstünde	0	0	0	0	0	0
Tij değiştirme	EAV altında	7	7	7	6	7	7
	EAV içinde	0	0	0	1	-	-
	ELV üstünde	0	0	0	0	0	0
İleri yürüme	EAV altında	5	5	5	5	5	5
	EAV içinde	1	1	1	1	-	-
	ELV üstünde	0	0	0	0	1	1

Çizelge 11.11'de en yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum ekseninin tüm evreler için değerleri verilmektedir. Evreler incelendiğinde en yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum eksenini Z (Ch3) olmuş ancak çok düşük düzeyli titreşim maruziyeti veren delme evresinde ikişer delicide X ve Y eksenleri de en kötü eksen olmuşlardır.

Çizelge 11.11 Delici döngü evrelerinde VDV_{Total} değerine göre en kötü durum eksenleri

Evre	Delici adedi		
	X (Ch1)	Y (Ch2)	Z (Ch3)
Delmeye hazırlık	1	-	4
Delme	2	2	6
Tij değiştirme	-	1	6
İleri yürüme	-	-	6

Tez çalışması kapsamında tüm deliciler için titreşim dozu değerleri (VDV) ölçülmüş ve kestirilen titreşim dozu değeri de (eVDV, $m/s^{1.75}$) BS 6841 (1987) standardı uyarınca hesaplanmıştır. Standartta eVDV kestirimi için verilen formülün şoklar, tekrarlı şoklar ve geçici titreşimler için uygun olmadığı ve doruk faktörünün (PEAK/RMS) ≤ 6 olduğu durumlarda doğru sonuç vereceği ifade edilmektedir. Çizelge 11.12 delici operasyonlarında şokların büyük etkisinin bulunduğunu göstermektedir. Yine de VDV ile RMS üzerinden kestirilen eVDV arasındaki ilişkiyi göstermek amacıyla eVDV değerleri hesaplanmıştır. Sonuçta oluşan tabloda, her üç eksen için VDV – eVDV ilişkisi Şekil 11.11’de verilmiştir.



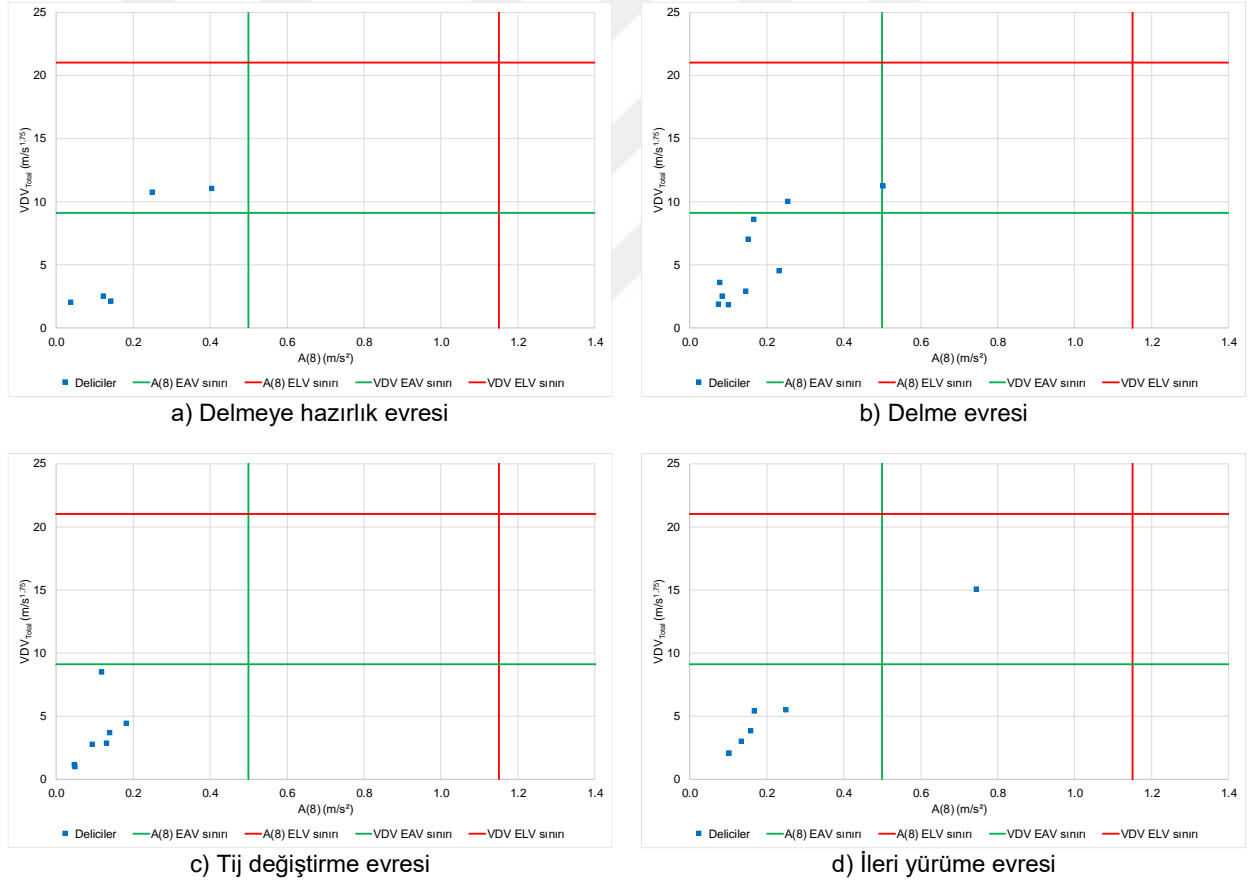
Şekil 11.11 Delici evrelerinde VDV – eVDV ilişkisi

Çizelge 11.12 Delici evrelerinin doruk faktörü değerleri

Doruk faktörü	Delmeye hazırlık			Delme		
	VDV _X	VDV _Y	VDV _Z	VDV _X	VDV _Y	VDV _Z
≥6	4	3	4	10	9	10
<6	1	2	1	-	1	-
R ²	0,95	0,94	0,80	0,92	0,62	0,68

Doruk faktörü	Tij değiştirme			İleri yürüme		
	VDV _X	VDV _Y	VDV _Z	VDV _X	VDV _Y	VDV _Z
≥6	7	7	7	4	4	6
<6	-	-	-	2	2	-
R ²	0,83	0,51	0,48	0,99	0,96	0,99

Delici operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile VDV_{total} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 11.12’de sunulmuştur. Her iki ölçütün üst sınırlarını geçerek operatörleri yüksek sağlık riskine maruz bırakan delici bulunmamaktadır.



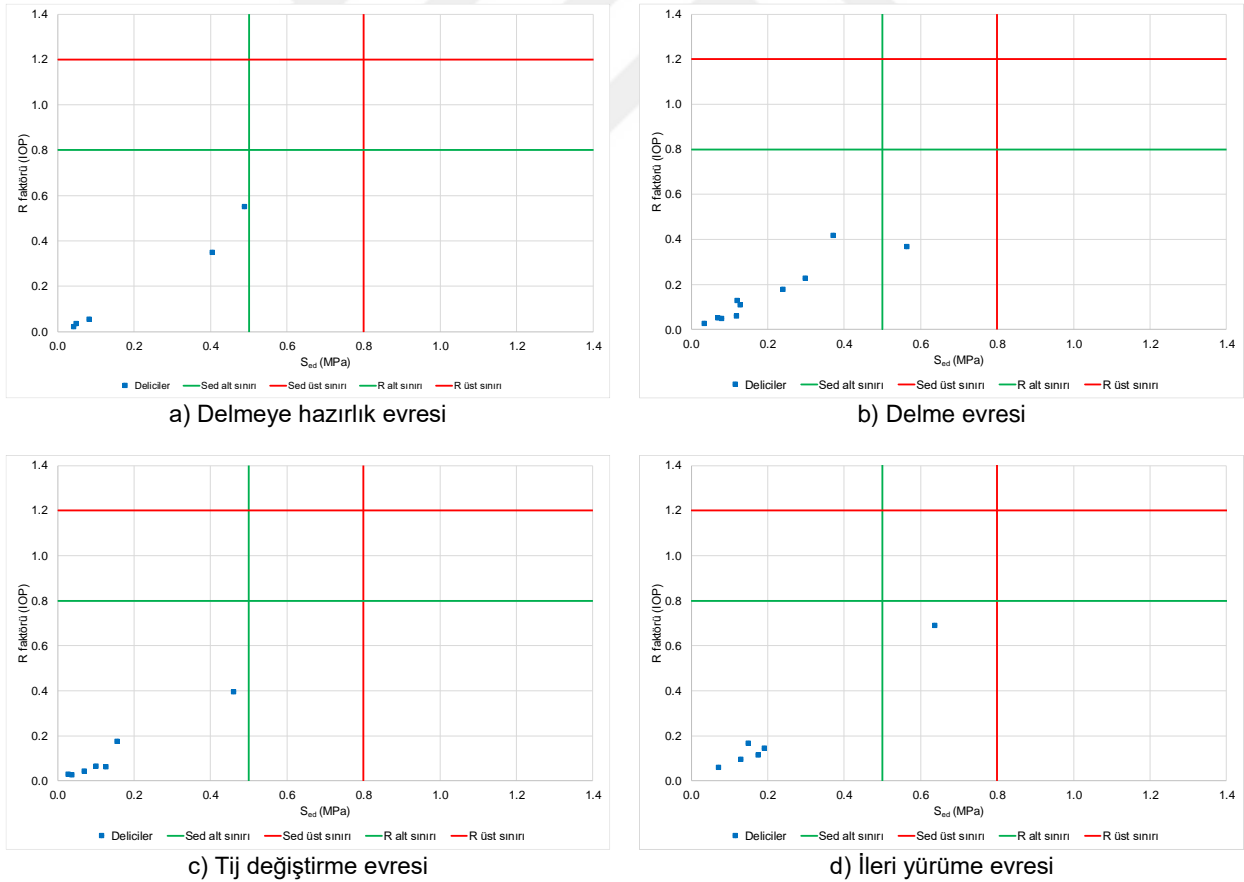
Şekil 11.12 Delici operatörlerinin evrelerdeki A(8) – VDV_{Total} ilişkisi

11.3.3 Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme

Delici operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri kullanılarak hesaplanan S_{ed} değerleri, R(IOP) ve R(TOP) faktörleri Çizelge 11.13'de verilmektedir. Tij değiştirme haricindeki tüm evrelerin S_{ed} değerleri benzerdir.

Tüm delici operatörleri eşdeğer statik basınç dozu değeri (S_{ed}) ölçütüne göre değerlendirildiği sonuçlar Çizelge 11.14'de verilmektedir. Tüm evrelerde operatörlerin hemen tümü 0,5 MPa'dan düşük basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı düşüktür. Delici operatörleri günlük risk faktörü ölçütüne göre değerlendirildiğinde de tümünün R faktörü 0,8'den düşük olup sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığı düşüktür. Delici operatörlerinin her iki ölçüte göre risk sınırları ile karşılaştırılması Şekil 11.13a-d'de sunulmuştur. Her iki ölçütün üst sınırlarını geçerek operatörleri yüksek sağlık riskine maruz bırakan delici bulunmamaktadır.

Delici operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 11.14a-d'de sunulmuştur. Her iki ölçütün üst sınırlarını geçerek operatörleri yüksek sağlık riskine maruz bırakan delici bulunmamaktadır.

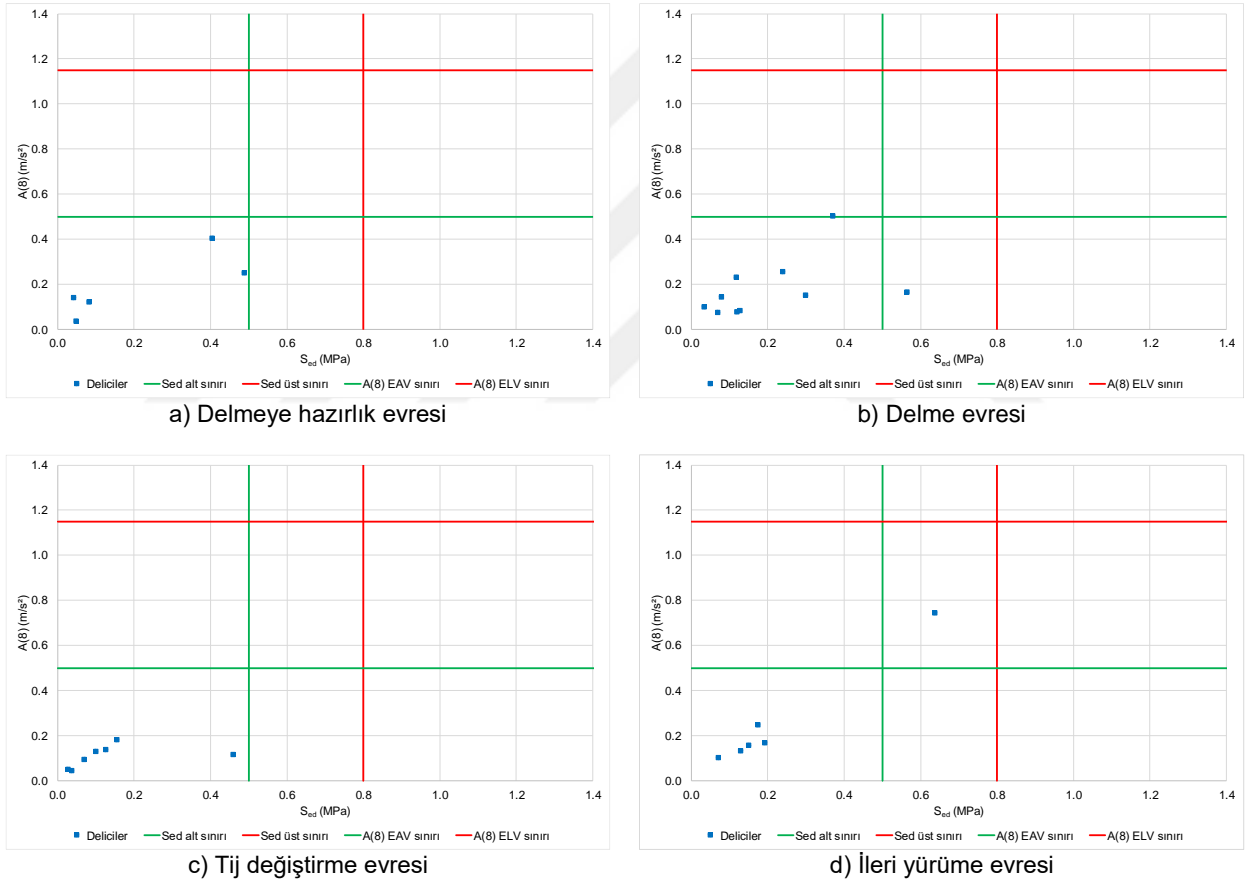


Şekil 11.13 Delici operatörlerinin evreler bazında S_{ed} – R faktörü ilişkisi

Delici operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) VDV_{Total} ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 11.15a-d'de sunulmuştur. Her iki ölçütün üst sınırlarını geçerek operatörleri yüksek sağlık riskine maruz bırakan delici bulunmamaktadır.

Çizelge 11.13 Delici döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörleri

Evre	S_{ed} (MPa)				R(IOP) faktör				R(TOP) faktör			
	Ort.	Std. sapma	En küçük	En büyük	Ort.	Std. sapma	En küçük	En büyük	Ort.	Std. sapma	En küçük	En büyük
D hazırlık	0,212	0,191	0,042	0,485	0,202	0,212	0,022	0,550	0,265	0,239	0,053	0,607
Delme	0,201	0,157	0,034	0,560	0,162	0,130	0,026	0,417	0,251	0,196	0,042	0,700
Tij değiş	0,138	0,137	0,027	0,457	0,114	0,124	0,028	0,396	0,173	0,171	0,034	0,571
İ yürüme	0,224	0,187	0,070	0,633	0,213	0,216	0,061	0,690	0,280	0,234	0,088	0,791

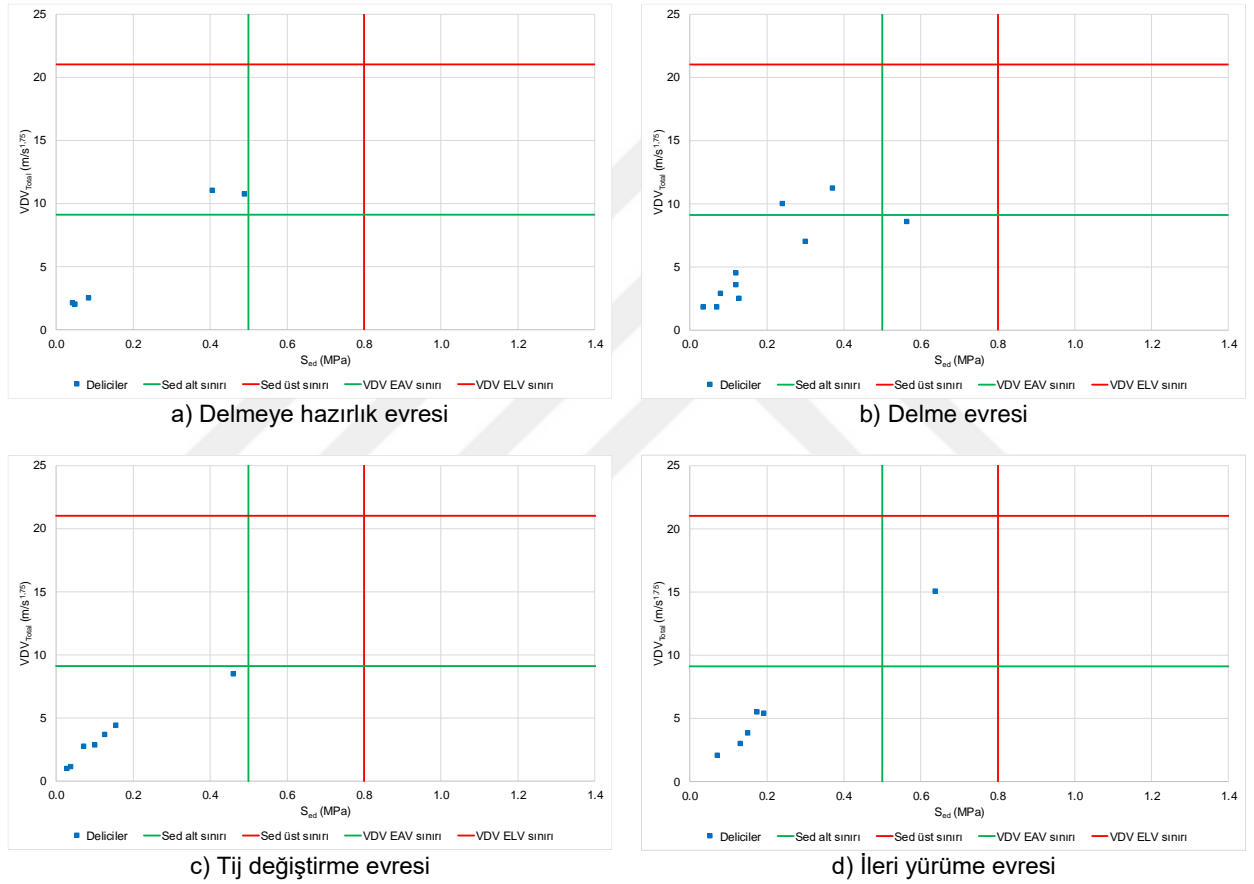


Şekil 11.14 Delici operatörlerinin evreler bazında S_{ed} – $A(8)$ ilişkisi

Çizelge 11.14 Delici döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörüne göre sağlık riski

Evre	S_{ed} (MPa)		
	<0,5	0,5 – 0,8	>0,8
İleri yürüme	5	1	-
Delmeye hazırlık	5	-	-
Delme	9	1	-
Tij değiştirme	7	-	-

Evre	R faktörü		
	<0,8	0,8 – 1,2	>1,2
İleri yürüme	6	-	-
Delmeye hazırlık	5	-	-
Delme	10	-	-
Tij değiştirme	7	-	-



Şekil 11.15 Delici operatörlerinin evreler bazında S_{ed} – VDV_{Total} ilişkisi

11.4 İstatistiksel Analizler

11.4.1 Döngü evre gruplarının TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Döngü evreleri bazında aşağıdaki sayıda deliciden ölçüm alınmıştır: ileri yürüme 6 delici, tij değiştirme 7 delici, delme 10 delici, delmeye hazırlık 5 delici. TVT ölçümleri alınan delicilerle ilgili hesaplanan titreşim ivmesi ve dozu değerlerinin kullanıldığı analizlerde önce betimleyici istatistiksel değerler hesaplanmıştır. Daha sonra da hipotez tezleri yapılmıştır. Çizelge 11.15'de evreler bazında betimleyici istatistikler verilmiştir. Delici operatörlerinin ileri yürüme evresinde en

yüksek titreşim ivmesi ve dozuna, diğer evrelerde ise benzer titreşim ivmesi ile dozuna maruz kaldığı görülmektedir.

Çizelge 11.15 Delici döngüsünü oluşturan evrelerin betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Evre	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	tij değiştirme	7	,10786	,049144	,018575	,046	,182
	delme	10	,18250	,100867	,031897	,077	,416
	ileri yürüme	6	,25900	,243107	,099248	,102	,745
	hazırlık	5	,19080	,140619	,062887	,038	,403
VDV _{Total}	tij değiştirme	7	3,48214	2,531863	,956954	1,007	8,495
	delme	10	5,41570	3,536889	1,118462	1,826	11,260
	ileri yürüme	6	5,81933	4,714663	1,924753	2,093	15,051
	hazırlık	5	5,68440	4,754168	2,126128	2,029	11,043

Evreler bazında ortalaması alınmış TVT ivmesi ve dozu değerlerinin delici döngüsünü oluşturan manevraların birbiriyle anlamlı biçimde farklılık olmadığı, hipotez testleri aracılığıyla araştırılmıştır. Evre verisinin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testi (çarpıklık-basıklık ilişkisi) yapılarak değerlendirilmiş ve TVT ivmesi ve dozu için tüm evre verisinin normal dağılıma uygun olduğu belirlenmiştir (Sig. > 0,05). Varyansların homojenliği testine göre TVT ivmesi ve dozu grup varyansı homojendir (Sig_{A(8)} = 0,119; Sig_{VDV_{Total}} = 0,243). TVT ivmesi ve dozu için delici döngüsünü oluşturan evrelerin ortalamaları arasındaki farklılığın anlamlı olup olmadığı *Tukey* testi ile incelenmiştir (Çizelge 11.16). Çizelge 11.16'da verilen çoklu karşılaştırma testi sonucunda titreşim ivmesi ve dozu için istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur.

Çizelge 11.16 Delici döngüsü evrelerinin çoklu karşılaştırması

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)
TUKEY HSD	tij değiştirme	delme	-,074643	TUKEY HSD	tij değiştirme	delme	-1,933557
		ileri yürüme	-,151143			ileri yürüme	-2,337190
		hazırlık	-,082943			hazırlık	-2,202257
	delme	tij değiştirme	,074643	delme	tij değiştirme	1,933557	
		ileri yürüme	-,076500		ileri yürüme	-,403633	
		hazırlık	-,008300		hazırlık	-,268700	
	İleri yürüme	tij değiştirme	,151143	İleri yürüme	tij değiştirme	2,337190	
		delme	,076500		delme	,403633	
		hazırlık	,068200		hazırlık	,134933	
	hazırlık	tij değiştirme	,082943	hazırlık	tij değiştirme	2,202257	
		delme	,008300		delme	,268700	
		ileri yürüme	-,068200		ileri yürüme	-,134933	

11.4.2 Hizmet süresinin TVT düzeyi üzerindeki etkisi

TVT ölçümünün alındığı tarih itibarıyla hesaplanmış olan delici hizmet sürelerinin TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Hizmet süresi 5 yıllık gruplara ayrılmıştır. Delicilerin hizmet sürelerine göre yapılan

gruplandırma aşağıda verilmektedir. Bu çalışmada örneklem sayısı yeterli düzeyde olduğu için normal dağılıma uygunluk Shapiro-Wilk testi üzerinden değerlendirilmiş ve TVT ivmesi ve dozu değerleri normal dağılıma uygun çıkmıştır (Sig. > 0,05).

- a) 1-5 → 5 delici
- b) 6-10 → 2 delici
- c) ≥11 → 3 delici

Varyansların homojenliği testi sonucuna göre titreşim ivmesi ve dozu grup varyanslarının homojen olduğu belirlenmiştir (Sig_{A(8)} = 0,320 ve Sig_{VDV_{Total}} = 0,148). Gruplara göre yapılan betimleyici istatistiksel bilgiler Çizelge 11.17’de verilmektedir.

Çizelge 11.17 Hizmet süresini oluşturan grupların betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Hizmet grubu	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	1-5	5	,17180	,089486	,040019	,083	,309
	6-10	2	,35200	,140007	,099000	,253	,451
	≥11	3	,25400	,157934	,091183	,153	,436
VDV _{Total}	1-5	5	5,05200	3,135786	1,402366	1,636	9,076
	6-10	2	10,82600	1,183697	,837000	9,989	11,663
	≥11	3	8,50467	1,815298	1,048063	6,962	10,505

5 yıllık hizmet süresi grupları ANOVA kullanılarak incelendiğinde; H₀ hipotezi kabul edilerek ve grupların ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna varılmıştır (Sig_{A(8)} = 0,256 ve Sig_{VDV_{Total}} = 0,069). Delici hizmet süresi grubu ortalamaları arasındaki farklılık çoklu karşılaştırma tablosunda TVT ivmesi ve dozu için *Tukey* testi baz alınarak ikilik gruplar arasındaki incelenmiştir (Çizelge 11.18). Buna göre titreşim ivmesi ve dozu için gruplar arasında anlamlı bir farklılık yoktur. Böylece TVT ivmesi ve dozu delici hizmet süresinden etkilenmemekte ve ondan bağımsızdır.

Çizelge 11.18 Delici hizmet süresi gruplarının çoklu karşılaştırması

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)
TUKEY HSD	1-5	6-10	-,180200	TUKEY HSD	1-5	6-10	-5,774000
		≥11	-,082200			≥11	-3,452667
	6-10	1-5	,180200	TUKEY HSD	6-10	1-5	5,774000
		≥11	,098000			≥11	2,321333
	≥11	1-5	,082200	TUKEY HSD	≥11	1-5	3,452667
		6-10	-,098000			6-10	-2,321333

11.4.3 Operatör yaşının TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Operatör yaşının TVT ivmesi $A(8)$ ve dozu VDV_{Total} düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Bu analizde, operatör yaşları 10 yıllık kategorilere ayrılmış olup; buna göre yaş aralıklarında aşağıdaki sayıda operatör bulunmaktadır;

- a) 20-30 → 6 operatör
- b) 31-40 → 2 operatör
- c) ≥ 41 → 2 operatör

Varyansların homojenliği testi sonucuna göre titreşim ivmesi uygun çıktığından ($Sig_{A(8)} = 0,151$ ve $Sig_{VDV_{Total}} = 0,295$) H_0 hipotezine göre grup varyanslarının homojen olduğu kabul edilmiştir. Gruplara göre yapılan betimleyici istatistiksel bilgiler Çizelge 11.19'da verilmektedir.

Çizelge 11.19 Operatör yaş gruplarının betimleyici istatistikleri

Bağımlı değişken	Yaş grubu	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	En küçük	En büyük
A(8)	20--30	6	,19683	,079192	,032330	,083	,309
	31-40	2	,12850	,010607	,007500	,121	,136
	≥ 41	2	,44350	,010607	,007500	,436	,451
VDV _{Total}	20--30	6	6,66833	3,154173	1,287686	1,636	9,989
	31-40	2	5,12400	3,300774	2,334000	2,790	7,458
	≥ 41	2	11,08400	,818830	,579000	10,505	11,663

Tek yönlü varyans analizi sonuçlarına göre titreşim ivmesi ($Sig_{A(8)} = 0,004$) için anlamlı bir farklılık varken, titreşim dozu için istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna varılmıştır ($Sig_{VDV_{Total}} = 0,170$). Operatör yaş grubu ortalamaları arasındaki farklılık çoklu karşılaştırma tablosunda titreşim ivmesi ve dozu için *Tukey* testi baz alınarak ikilik gruplar arasındaki incelenmiştir (Çizelge 11.20). Buna göre, titreşim ivmesi için anlamlı bir farklılık varken titreşim dozu için tüm gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur. Dolayısıyla ≥ 41 yaş ve üzeri operatörler diğer yaş gruplarına göre daha fazla titreşim ivmesine maruz kalmaktadırlar.

Çizelge 11.20 Operatör yaş gruplarının çoklu karşılaştırması

A(8)	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)	VDV _{Total}	(I)	(J)	Ortalamaların farkı (I-J)
TUKEY HSD	20-30	31-40	,068333	TUKEY HSD	20-30	31-40	1,544333
		≥ 41	-,246667*			≥ 41	-4,415667
	31-40	20-30	-,068333	31-40	20-30	-1,544333	
		≥ 41	-,315000*		≥ 41	-5,960000	
	≥ 41	20-30	,246667*	≥ 41	20-30	4,415667	
		31-40	,315000*		31-40	5,960000	

11.4.4 Operatör deneyiminin TVT düzeyi üzerindeki etkisi

Operatör deneyiminin TVT ivmesi ve dozu düzeylerini anlamlı biçimde değiştirip değiştirmediği, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmıştır. Bu bölümde, 10 yıllık operatör deneyimi grupları için tek yönlü varyans analizi yapılmıştır. Buna göre yaş aralıklarında aşağıdaki sayıda sürücü bulunmaktadır;

- a) 1-10 → 6 operatör
- b) 11-20 → 4 operatör

Yaş grup ortalamaları arasındaki farklılık bağımsız örneklem t-testi yöntemi ile incelenmiştir. Grupların istatistikleri Çizelge 11.21'de verilmiştir. Ortalamaların birbirine yakın olduğu dikkat çekicidir. Çizelge 11.22 incelendiğinde, A(8) ve VDV_{Total} için grup varyanslarının eşit olduğunu kabul eden önem derecesi değerleri 0,05'ten büyük olduğundan t-testi için varyansların eşit olduğu önem değerleri kontrol edilmiş ve iki-yönlü önem değeri, tek-yönlü değerin iki katı olduğundan t-testi değeri ikiye bölünmüştür (Sig_{A(8)} = 0,358, Sig_{VDV_{Total}} = 0,489). Her iki değer de 0,05'ten büyük olduğundan H₀ hipotezi doğru kabul edilmiş olup grup ortalamaları arasında farklılık yoktur. Böylece yaş gruplarındaki farklılıkların titreşim ivmesi ve dozuna üzerinde etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 11.21 Operatör deneyimi grupları için varyansların grup istatistikleri

Bağımlı değişken	Yaş grubu	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata
A(8)	1-10	6	,24567	,159338	,065050
	11-20	4	,21275	,082350	,041175
VDV _{Total}	1-10	6	7,26817	3,767375	1,538025
	11-20	4	7,20425	3,204298	1,602149

Çizelge 11.22 Operatör deneyimi grupları için bağımsız örneklem testi

Bağımlı değişken	Varyanslar	Varyansların eşitliği Levene testi		Ortalamaların eşitliği t-testi				
		F	Önem	t	Serb. Dere.	Önem (2 kuyr.)	Ortalama-ların farkı	Farkın standart hatası
A(8)	Eşit	3,202	,111	,376	8	,717	,032917	,087586
	Eşit değil			,428	7,739	,681	,032917	,076986
VDV _{Total}	Eşit	,181	,682	,028	8	,979	,063917	2,302265
	Eşit değil			,029	7,338	,978	,063917	2,220901

12 HİDROLİK KIRICILARIN TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ ve DEĞERLENDİRİLMESİ

12.1 Genel

Bu çalışma kapsamında farklı modelde toplam 7 adet hidrolik kırıcıdan TVT maruziyeti ölçümleri alınmış ve analiz edilmiştir. Hidrolik kırıcıların iş döngüsünün aşağıdaki evrelerden oluştuğu kabul edilerek, ölçümler kırıcıların bir tam turunu kapsayacak biçimde kayıt alınmıştır.

- Tüm kayıt (Whole data); Kırıcıların tipik iş döngüsündeki tüm evreleri kapsayacak biçimde, araç hareketi öncesi ve döngü bitişi sonrası durağan haller de dahil olmak üzere alınan tüm kaydın brüt TVT maruziyetini göstermektedir. Operatörün TVT maruziyeti hesaplarında kullanılmamaktadır.
- Net kayıt (RECORD); Hidrolik kırıcının tipik iş döngüsündeki tüm evreleri kapsamakta ve bu süredeki TVT maruziyetini göstermektedir. Hareketin başında operatörün koltuğa yerleşme ve hareketin sonunda koltuktan kalkma çabaları sırasında koltuk üzerindeki disk tipi ivmeölçer ile kabin zeminindeki ivmeölçere şok etkilerinden kaynaklanabilen çok yüksek titreşim ivmeleri ayıklanarak, analizlerden çıkartılmaktadır. Operatörün genel TVT maruziyetini temsil etmekte ve hesaplarda kullanılmaktadır.
- Kırma (BREAK); Kırma işlemi gerçekleştirilirken maruz kalınan titreşimi temsil etmek için kaydedilmektedir.
- İleri yürüme (FORWARD); Hidrolik kırıcının diğer bir çalışma noktasına doğru ileri yürüme hareketi yaparken maruz kalınan titreşimi temsil etmek için kaydedilmektedir.
- Geri yürüme (RETURN); Hidrolik kırıcının diğer bir çalışma noktasına doğru geri yürüme hareketi yaparken maruz kalınan titreşimi temsil etmek için kaydedilmektedir.
- Bekleme (WAIT); Hidrolik kırıcı herhangi bir evre içerisinde iken durmak ve motor devinimi askıda iken hareketsiz olarak beklemek durumunda kaldığında, ayrı bir evre olarak alınmakta ve bu sırada maruz kalınan titreşimi kaydedilmektedir.

Hidrolik kırıcıların 3 adedi orta, 4 adedi büyük kapasiteye sahiptir. Çizelge 12.1'de TVT ölçümü alınan hidrolik kırıcıların işletmelere dağılımı ile temel çalışma özellikleri verilmiştir.

Hidrolik kırıcıların TVT maruziyeti ölçümleri, üç adedi koltuktan ($Seat_x$, $Seat_y$, $Seat_z$), üç adedi de kabin zemininden ($Floor_x$, $Floor_y$, $Floor_z$) olmak üzere toplam altı kanaldan, aracın bir tam çevrimini kapsayacak biçimde gerçekleştirilmiştir. Titreşim analizörü ile frekans ağırlıklı ivme (a_w), titreşim dozu (VDV), maksimum geçici titreşim değeri (MTVV), tepe titreşim ivmesi (PEAK) ve tepe-tepe titreşim ivmesi (P-P) ölçülerek, değerlendirilmiştir. Kayıt süreleri 07 dakika 31 saniye ile 19 dakika 40 saniye arasında değişmiştir. ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca TVT maruziyeti değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılan parametrelerin değerleri, koltuk ve zemin için hesaplanmıştır.

Çizelge 12.1 Hidrolik kırıcıların temel bilgileri

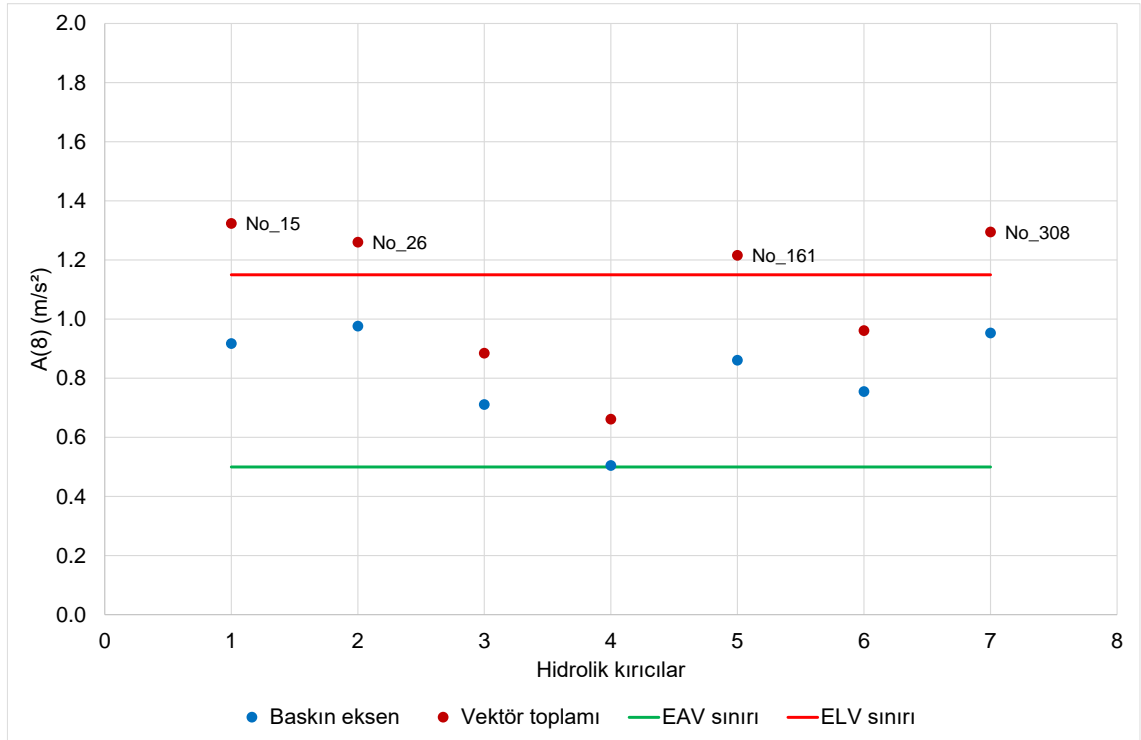
İşletme	Hidrolik kırıcı	Hizmete giriş	Malzeme sınıfı	Kapasite sınıfı
Kalker ocağı	No_15	2014	Sert_kireçtaşı_patarları_ocak	Büyük
Alçı ocağı	No_26	1994	Sert_jips_patarları_ocak	Orta
Mermer İşletmesi	No_47	1999	Traverten_blokları_ocak	Büyük
Yol inşaatı	No_62	2004	Zeminde_jips_patarlar_yol	Orta
Altın İşletmesi	No_161	2009	Sert_kireçtaşı_patarlar_yol	Büyük
Altın İşletmesi	No_172	2013	Sert_kireçtaşı_şev_kesme_yol	Orta
Kalker ocağı	No_308	2013	Sert_kireçtaşı_patarları_ocak	Büyük

12.2 Net kayıt (RECORD) Evresi

12.2.1 Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme

Hidrolik kırıcıların operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $A(8)_{Seat}$, ortalama ve standart sapması $(0,811 \pm 0,155)$ m/s^2 olacak biçimde $0,505 m/s^2$ ile $0,976 m/s^2$ arasında değişmiştir. Diğer yandan kırıcıların operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $Vector_{1-3}$, ortalama ve standart sapması $(1,086 \pm 0,234)$ m/s^2 olacak biçimde $0,662 m/s^2$ ile $1,324 m/s^2$ arasında değişmiştir.

En yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum eksenini kırıcıların tümünde Z (Ch3) olmuştur. Tüm kırıcıların en kötü durum eksenini ve vektör toplamı ölçütlerine göre $A(8)_{Seat}$ değerlerinin EAV ve ELV sınırları ile karşılaştırılması Şekil 12.1'de sunulmuştur.



Şekil 12.1 Hidrolik kırıcıların $A(8)$ değerleri

Hidrolik kırıncıların EU 2002/44/EC direktifi ve ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum ölçütü dikkate alındığında araçların büyük bölümünün EAV ve HGCZ sınırları (dikkat bölgesi) içinde olduğu görülmektedir (Çizelge 12.2). Diğer yandan, daha yüksek titreşim değerleri oluşturan vektör toplamı ölçütü dikkate alındığında kırıncıların büyük bölümü ELV ve HGCZ sınırını aşmaktadır.

Çizelge 12.2 Hidrolik kırıncı operatörlerinin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi

Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		Bölge	ISO2631-1 HGCZ Bölgesi	
	EKDE	VT	EKDE	VT		EKDE	VT
EAV altında	0	0	0	0	HGCZ altında	0	0
EAV içinde	7	3	4	2	HGCZ içinde	4	1
ELV üstünde	0	4	3	5	HGCZ üstünde	3	6

Hidrolik kırıncıların maruziyet eylem değerine erişim süresi ($EAV_{TT(RMS)}$), en kötü durum eksenini üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması ($03:31:35 \pm 01:52:30$) sa olacak biçimde $02:05:58$ sa ile $07:50:33$ sa arasında değişmiştir. Diğer yandan kırıncıların maruziyet sınır değerine erişim süresi ($ELV_{TT(RMS)}$), en kötü durum eksenini üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması ($18:39:18 \pm 09:55:05$) sa olacak biçimde $11:06:24$ sa ile $41:29:10$ sa arasında değişmiştir. Bu durumda toplam 7 kırıncının tümü, 8 saatlik vardiya süresi bitmeden operatörü maruziyet eylem değerine ulaştıracak kadar titreşime maruz bırakırken hiçbirisi maruziyet sınır değerine erişmemektedir.

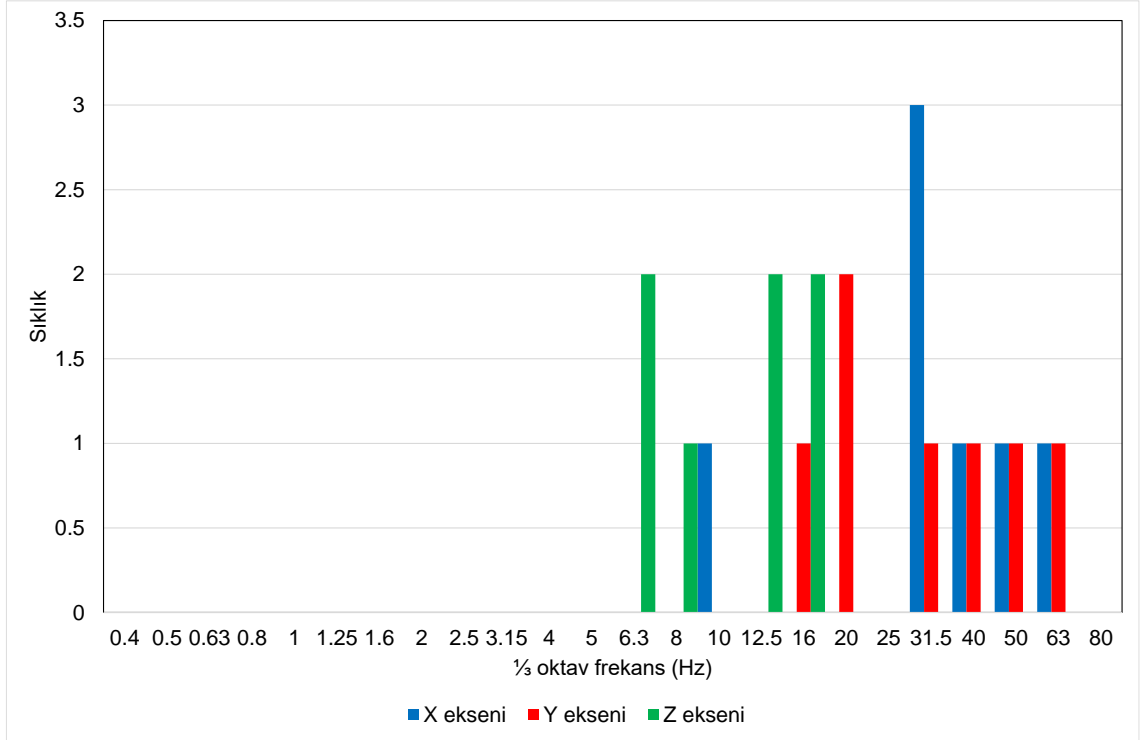
Net kayıt evresinde operatör koltuğunda X, Y ve en kötü durum Z ekseninde sırasıyla 5, 5 ve 6 kırıncının doruk faktörü 9'dan büyük çıkmıştır.

Doruk faktörü	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	7,809	8,841	8,511
En büyük	15,809	16,031	65,570
Ortalama	10,315	11,935	20,791
Standart sapma	2,456	2,815	18,795
≥ 9	5	5	6
< 9	2	2	1

Hidrolik kırıncı operatörlerinin maruz kaldığı TVT ivmesine ait frekans spektrumu $\frac{1}{3}$ oktav bant dağılımı ile değerlendirildiğinde 0,4 Hz ile 80 Hz arasındaki merkez bant frekanslarına göre her ikisi de yatay düzlemdeki ortogonal eksenler boyunca oluşan titreşimin X ekseninde 31,5 Hz – 63 Hz aralığına, Y ekseninde 16 Hz – 63 Hz aralığına yoğunlaştığı görülmektedir. Diğer yandan, Z eksenini incelendiğinde baskın frekans 6,3 Hz – 16 Hz aralığındadır. Her üç eksenindeki TVT ivmelerine ait baskın frekans dağılımı Şekil 12.2'de verilmiştir.

Operatör koltuğunun titreşim sönümlenme özelliğini gösteren koltuk etkinliği genlik geçirgenliği (SEAT) faktörü X eksenini için 0,734 ile 1,091 arasında, Y eksenini için 0,577 ile 1,362 arasında ve Z eksenini için 0,596 ile 0,749 arasında değişmiştir. Zeminde oluşan titreşim yatay düzlemdeki X

ve Y eksenlerinde 2 kırıcıda sönümlenirken, 5 kırıcıda şiddetlenmiş ancak Z ekseninde tüm kırıcılarda koltukta sönümlenmiştir. Operatör koltuğu Z ekseninde titreşim sönümlenme yeteneğine sahiptir.



Şekil 12.2 Hidrolik kırıcıların A(8) değerlerinin 1/3 oktav baskın frekansları

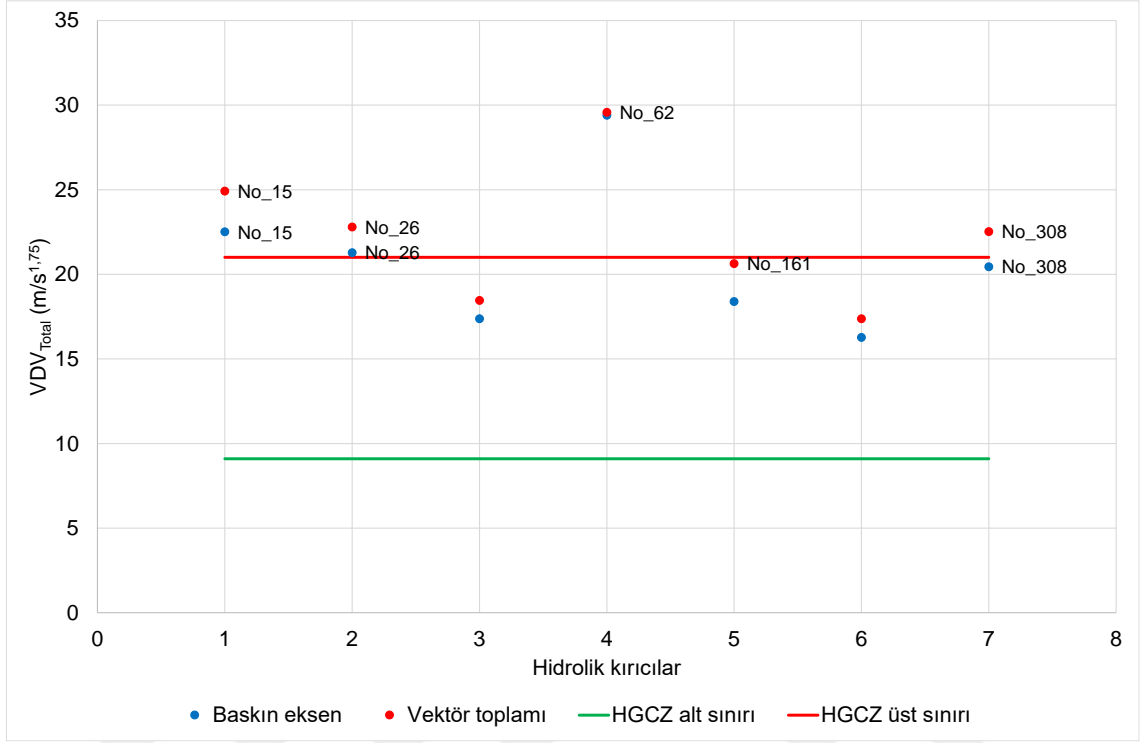
12.2.2 Titreşim dozu üzerinden değerlendirme

Hidrolik kırıcıların operatör koltuğunda ölçülen TVT dozu değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde VDV_{Total} , ortalama ve standart sapması $(20,811 \pm 4,058) m/s^{1.75}$ olacak biçimde $16,272 m/s^{1.75}$ ile $29,398 m/s^{1.75}$ arasında değişmiştir. Diğer yandan hidrolik kırıcıların operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $Vector_{1-3}$, ortalama ve standart sapması $(22,326 \pm 3,815) m/s^{1.75}$ olacak biçimde $17,375 m/s^{1.75}$ ile $29,574 m/s^{1.75}$ arasında değişmiştir.

En yüksek titreşim dozu kaydedilen en kötü durum eksen 7 hidrolik kırıcının tümünde Z (Ch3) olmuştur. Tüm hidrolik kırıcıların en kötü durum eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre VDV_{Total} değerlerinin HGCS sınırları ile karşılaştırılması Şekil 12.3'de sunulmuştur.

Hidrolik kırıcıların BS 6841 (1987), ISO 2631-1 (1997) standartları ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum ölçütü dikkate alındığında araçların büyük bölümünün ELV sınırı üzerindeki risk bölgesi içinde olduğu görülmektedir (Çizelge 12.3). Vektör toplamı açısından değerlendirme yapıldığında, ISO 2631-1 (1997)

standartı ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) ölçütlerine göre EAV ile ELV bölgeleri arasında önemli geçişler bulunmamakta olup kırıcıların hemen tümü ELV ve HGCZ sınırı üzerinde yer almaktadır.



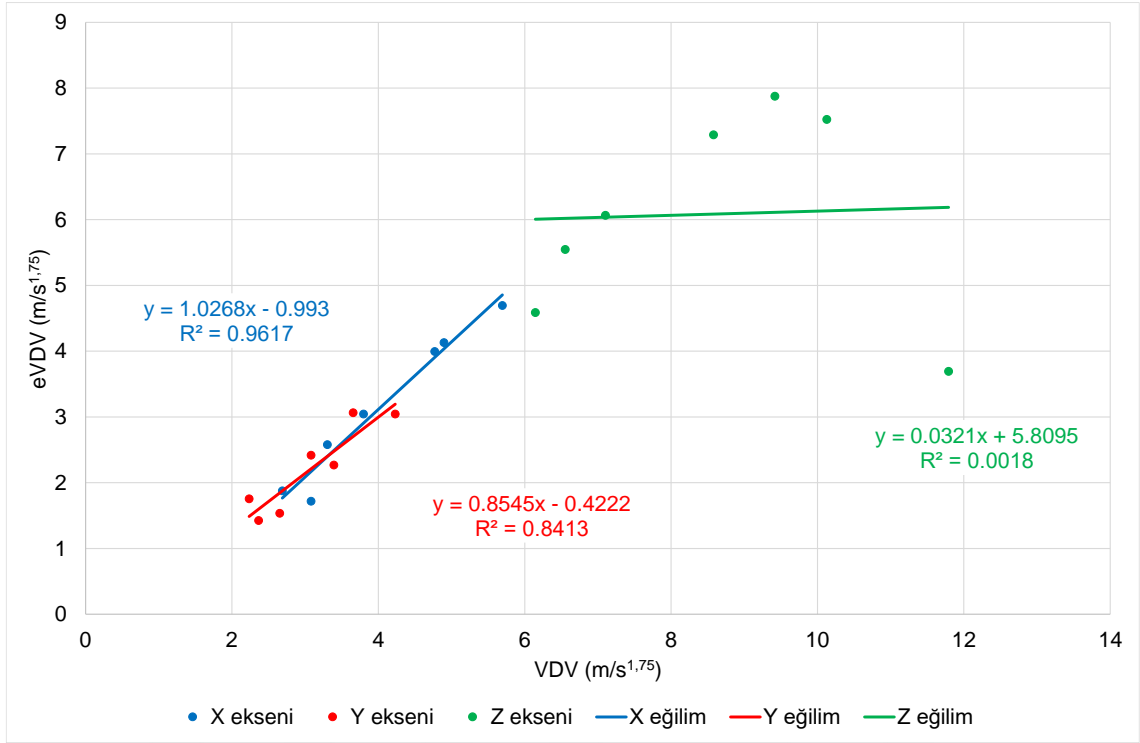
Şekil 12.3 Hidrolik kırıcıların VDV_{Total} değerleri

Çizelge 12.3 Hidrolik kırıcı operatörlerinin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi

Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)	
	EKDE	VT	EKDE	VT	EKDE	VT
EAV altında	0	0	0	0	0	0
EAV içinde	4	3	1	0	-	-
ELV üstünde	3	4	6	7	7	7

Tez çalışması kapsamında tüm hidrolik kırıcıların kestirilen titreşim dozu değeri de (eVDV, m/s^{1.75}) BS 6841 (1987) standardı uyarınca hesaplanmıştır. Standartta eVDV kestirimi için verilen formülün şoklar, tekrarlı şoklar ve geçici titreşimler için uygun olmadığı ve doruk faktörünün (PEAK/RMS) ≤6 olduğu durumlarda doğru sonuç vereceği ifade edilmektedir. Çalışmada örneklenen 7 adet kırıcının tümüne ait doruk faktörü X, Y ve Z eksenlerinde 6'dan büyük çıkmıştır. Bu durum kırıcı operasyonlarında şokların büyük etkisinin bulunduğunu göstermektedir. Yine de, VDV ile RMS üzerinden kestirilen eVDV arasındaki ilişkiyi göstermek amacıyla eVDV değerleri hesaplanmıştır. Ancak doruk faktörünün >6 olduğu durumlarda 1,4'lük çarpan kullanılmamıştır. Sonuçta oluşan tabloda, her üç eksen için VDV – eVDV ilişkisi Şekil 12.4'de verilmiştir. Her üç

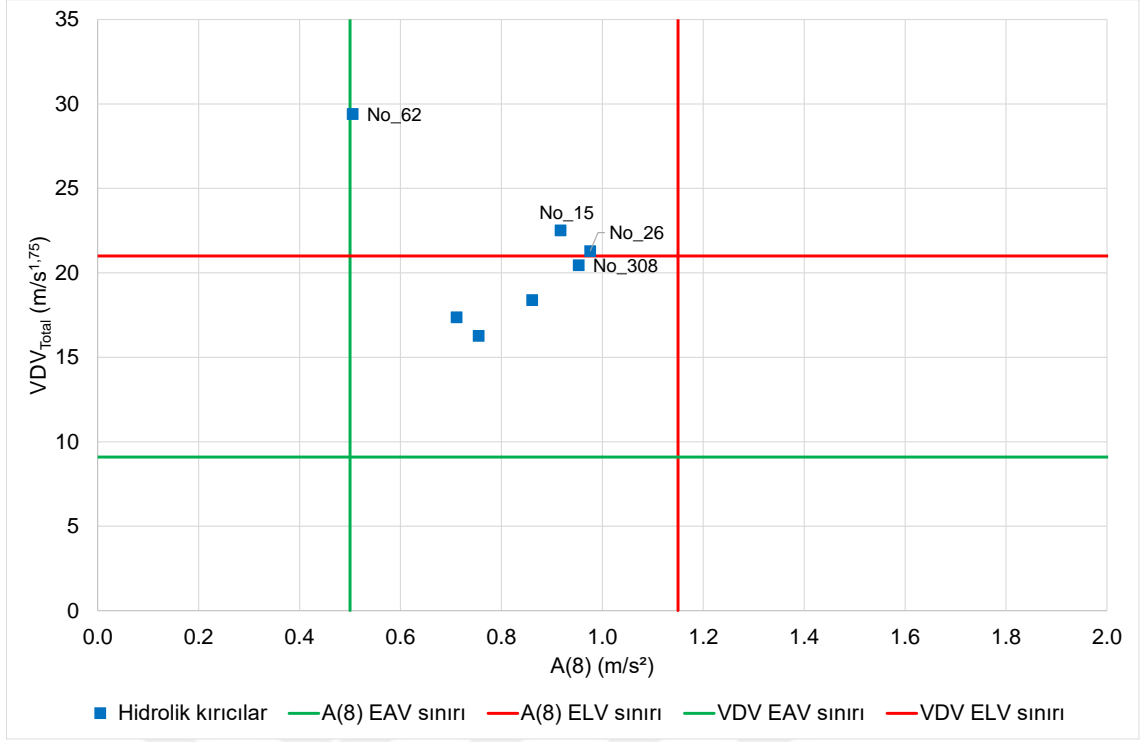
veri grubu için doğrusal regresyon analizi yapılmış olup, belirlilik katsayıları %00,18 ile %96,17 arasında değişmekte ve beklendiği gibi, regresyon eşitliğinin güçlü olmadığına işaret etmektedir.



Şekil 12.4 Hidrolik kırıcıların VDV – eVDV ilişkisi

Hidrolik kırıcıların maruziyet eylem değerine erişim süresi ($EAV_{TT(VDV)}$), en kötü durum eksenini üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması ($00:23:25 \pm 00:13:26$) sa olacak biçimde $00:04:24$ sa ile $00:46:57$ sa arasında değişmiştir. Diğer yandan kırıcıların maruziyet sınır değerine erişim süresi ($ELV_{TT(VDV)}$), en kötü durum eksenini üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması ($11:04:15 \pm 06:25:34$) sa olacak biçimde $02:04:59$ sa ile $22:11:35$ sa arasında değişmiştir. Bu durumda toplam 7 kırıcının tümü vardiya süresi bitmeden operatörü maruziyet eylem değerine ulaştırırken, 3 adedi maruziyet sınır değerine de erişirmektedir.

Hidrolik kırıcı operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile VDV_{total} ölçütlerine göre birlikte sağlık riski karşılaştırılması Şekil 12.5'de sunulmuştur. A(8) ELV sınırını aşan kırıcı yokken, VDV_{total} üst sınırını aşan 3 kırıcı bulunmaktadır. Böylece, her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan kırıcı bulunmamaktadır.



Şekil 12.5 Hidrolik kırıcı operatörlerinin A(8) – VDV_{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki

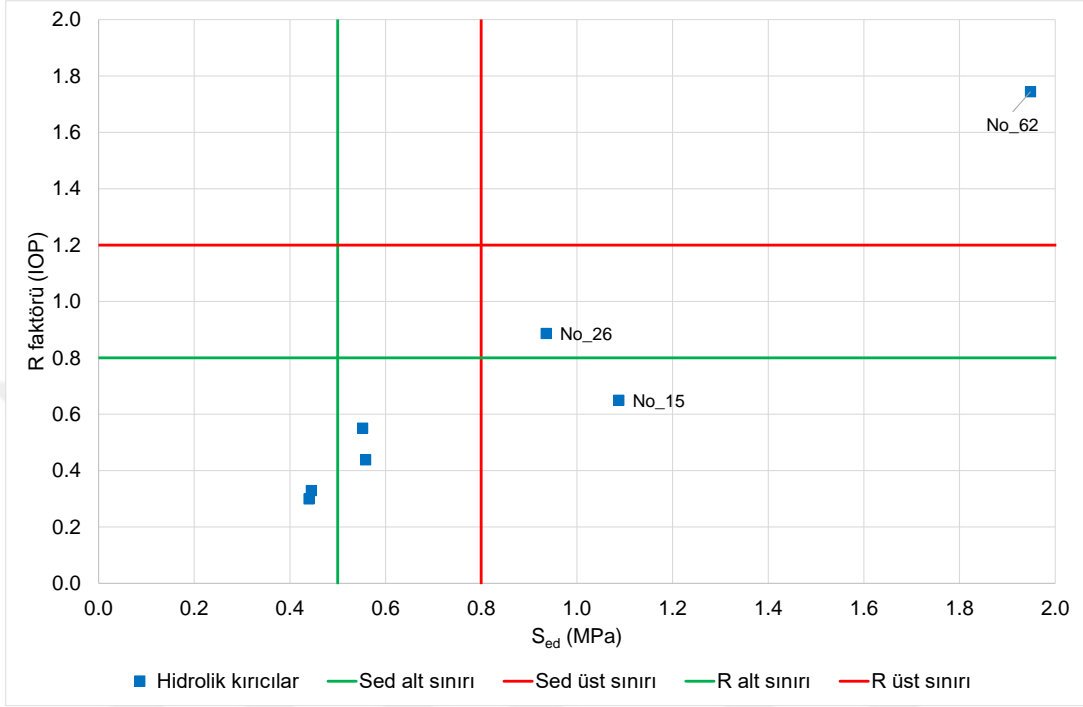
12.2.3 Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme

Hidrolik kırıcı operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri kullanılarak hesaplanan S_{ed} değerleri ortalama ve standart sapması $(0,847 \pm 0,500)$ MPa olacak biçimde 0,437 MPa ile 1,935 MPa arasında değişmiştir. Diğer yandan kırıcı operatörlerinin R(IOP) faktörleri, ortalama ve standart sapması $(0,700 \pm 0,465)$ olacak biçimde 0,300 ile 1,744 arasında, R(TOP) faktörleri ortalama ve standart sapması $(1,059 \pm 0,626)$ olacak biçimde 0,547 ile 2,420 arasında değişmiştir.

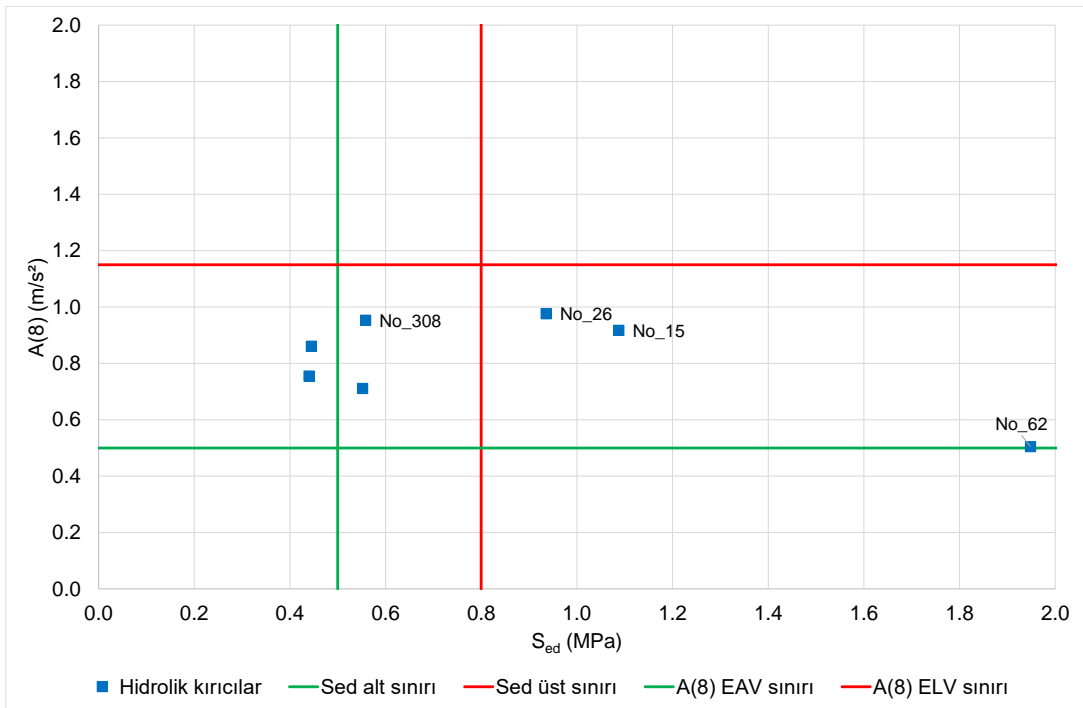
Tüm hidrolik kırıcı operatörleri eşdeğer statik basınç dozu değeri (S_{ed}) ölçütüne göre değerlendirildiğinde; 2 operatör 0,5 MPa'dan düşük basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı düşük, 2 operatör 0,5 MPa – 0,8 MPa arası basınca maruz kaldığından titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı orta ve 3 operatör 0,8 MPa'dan yüksek basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı büyüktür.

Hidrolik kırıcı operatörleri günlük risk faktörü ölçütüne göre değerlendirildiğinde; 5 operatörün R faktörü 0,8'den düşük olup sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığı düşük, 1 operatörün R faktörü 0,8 – 1,2 arası olduğundan sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığı orta ve 1 operatörün R faktörü 1,2'den büyük olduğundan sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığı büyüktür. Hidrolik kırıcı operatörlerinin her iki ölçüte göre risk sınırları ile karşılaştırılması Şekil 12.6'da sunulmuştur. Her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan 1 kırıcı vardır.

Hidrolik kırıcı operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 12.7’de sunulmuştur. A(8) ELV sınırını aşan kırıcı yokken, S_{ed} üst sınırını aşan 3 kırıcı vardır. İki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan kırıcı yoktur.

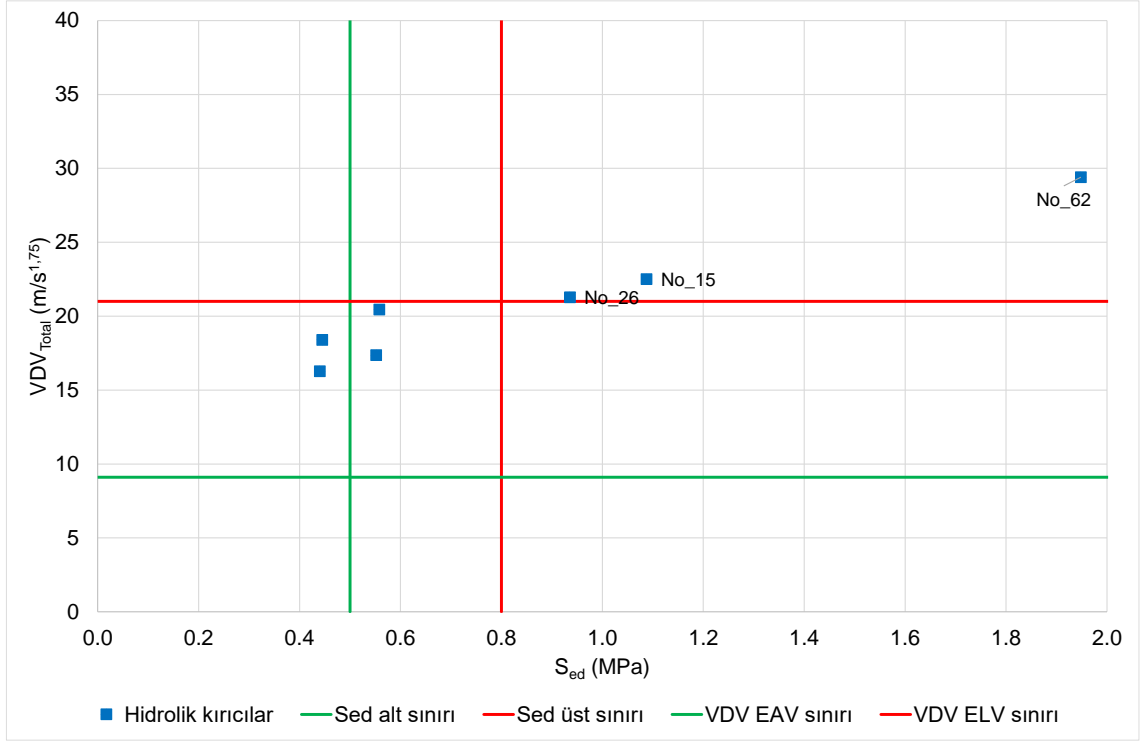


Şekil 12.6 Hidrolik kırıcı operatörlerinin S_{ed} – R faktörü ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki



Şekil 12.7 Hidrolik kırıcı operatörlerinin S_{ed} – A(8) ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki

Hidrolik kırıcı operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) VDV_{Total} ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 12.8'de sunulmuştur. VDV ELV sınırını aşan 3 adet kırıcı, S_{ed} üst sınırını aşan 3 kırıcı vardır. Her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan 3 adet kırıcı bulunmaktadır.



Şekil 12.8 Hidrolik kırıcı operatörlerinin S_{ed} – VDV_{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki

12.3 Evrelerin Değerlendirilmesi

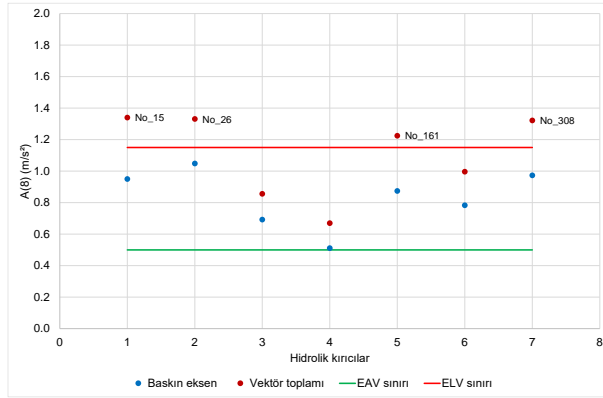
12.3.1 Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme

Hidrolik kırıcıların operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $A(8)_{Seat}$ ve operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $Vector_{1-3}$, ortalama ve standart sapması değerleri Çizelge 12.4'de verilmektedir. Operatörler, bekleme haricindeki evrelerde benzer titreşim düzeyine maruz kalmaktadır. Tüm hidrolik kırıcıların en kötü durum eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre $A(8)_{Seat}$ değerlerinin EAV ve ELV sınırları ile karşılaştırılması Şekil 12.9a-d'de sunulmuştur.

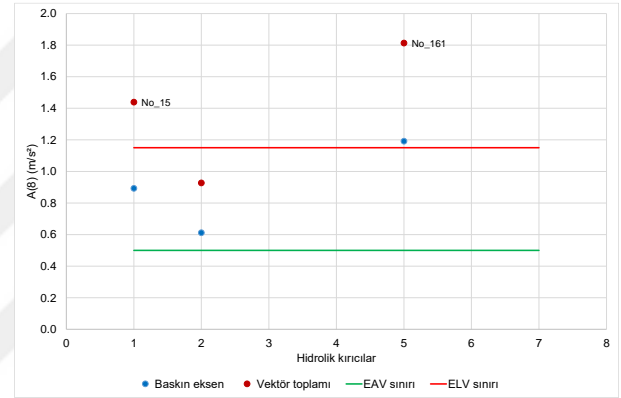
Hidrolik kırıcıların EU 2002/44/EC direktifi ve ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum ölçütü dikkate alındığında araçların büyük bölümünün EAV ve HGCZ sınırları içinde olduğu görülmektedir (Çizelge 12.5). Durum vektör toplamı ölçütüne göre değerlendirildiğinde ise büyük bölümü ELV ve HGCZ sınırlarını aşmaktadır.

Çizelge 12.4 Hidrolik kırıcı döngü evrelerinde titreşim ivmesi parametreleri

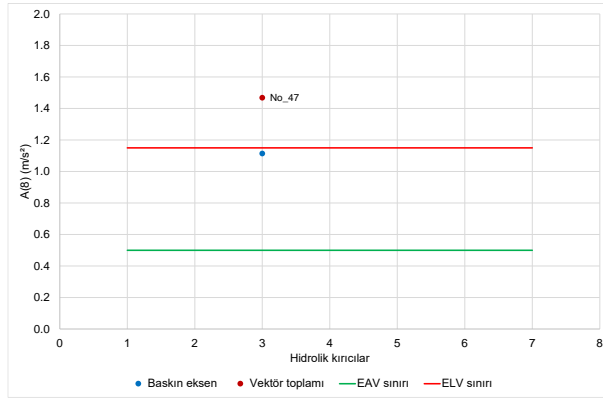
Evre	A(8) (m/s ²)				Vektör ₁₋₃ (m/s ²)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Kırma	0,833	0,172	0,511	1,048	1,105	0,248	0,669	1,339
İ yürüme	0,899	0,237	0,612	1,191	1,393	0,363	0,927	1,813
G yürüme	1,114	0,000	1,114	1,114	1,468	0,000	1,468	1,468
Bekleme	0,123	0,043	0,059	0,186	0,168	0,065	0,084	0,280
	EAV _{TT(RMS)} (sa)				ELV _{TT(RMS)} (sa)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Kırma	03:24:34	01:53:13	01:49:16	07:39:33	18:02:09	09:58:57	09:37:59	>24
İ yürüme	03:05:07	01:39:22	01:24:32	05:20:23	16:19:15	08:45:38	07:27:13	>24
G yürüme	01:36:42	00:00:00	01:36:42	01:36:42	08:31:31	00:00:00	08:31:31	08:31:31
Bekleme	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24



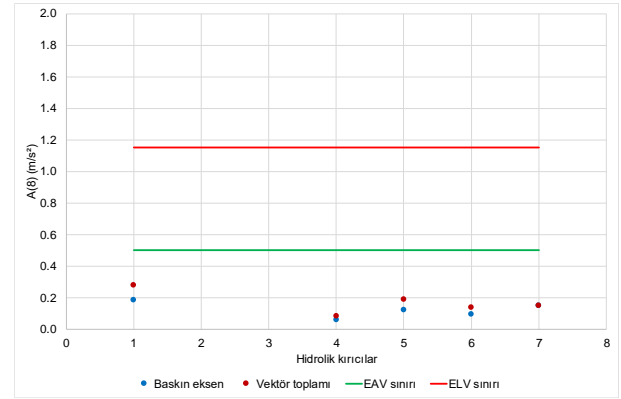
a) Kırma evresi



b) İleri yürüme evresi



c) Geri yürüme evresi



d) Bekleme evresi

Şekil 12.9 Hidrolik kırıcı evrelerinde A(8) değerleri

En yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum ekseninin tüm evreler için değerleri Çizelge 12.6'da verilmektedir. Evrelerin hemen tümünde en yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum eksenini Z (Ch3) olmuştur. Ancak ileri yürüme evresinde her üç eksen de en kötü eksen olarak belirmişlerdir.

Çizelge 12.5 Hidrolik kırıcı döngü evrelerinde operatörlerin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi

Evre	Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		Bölge	ISO2631-1 HGCZ Bölgesi	
		EKDE	VT	EKDE	VT		EKDE	VT
Kırma	EAV altında	0	0	0	0	HGCZ altında	0	0
	EAV içinde	7	3	4	2	HGCZ içinde	3	2
	ELV üstünde	0	4	3	5	HGCZ üstünde	4	5
İleri yürüme	EAV altında	0	0	0	0	HGCZ altında	0	0
	EAV içinde	2	1	2	0	HGCZ içinde	1	0
	ELV üstünde	1	2	1	3	HGCZ üstünde	2	3
Geri yürüme	EAV altında	0	0	0	0	HGCZ altında	0	0
	EAV içinde	1	0	0	0	HGCZ içinde	0	0
	ELV üstünde	0	1	1	1	HGCZ üstünde	1	1
Bekleme	EAV altında	5	5	5	5	HGCZ altında	5	5
	EAV içinde	0	0	0	0	HGCZ içinde	0	0
	ELV üstünde	0	0	0	0	HGCZ üstünde	0	0

Çizelge 12.6 Hidrolik kırıcı döngü evrelerinde A(8) değerine göre en kötü durum eksenleri

Evre	Hidrolik kırıcı adedi		
	X (Ch1)	Y (Ch2)	Z (Ch3)
Kırma	-	-	7
İleri yürüme	1	1	1
Geri yürüme	-	-	1
Bekleme	-	2	3

Çizelge 12.7'de eksenler ve evreler bazında doruk faktörü değerleri verilmektedir. Kırma evresinde operatör koltağında X, Y ve en kötü durum Z ekseninde hemen tüm kırıcıların doruk faktörü, şoklara işaret edecek biçimde 9'dan büyük çıkmıştır. Diğer evrelerde doruk faktörü kırıcıların çoğunda 9'dan küçüktür. Böylece, bu evrelerin şokların etkisi altında olmadığı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 12.7 Hidrolik kırıcı döngü evrelerinde titreşim ivmesi doruk faktörleri

Doruk faktörü	Kırma			İleri yürüme		
	Seatx	Seaty	Seatz	Seatx	Seaty	Seatz
En küçük	7,653	8,724	7,156	4,678	3,981	4,990
En büyük	15,609	16,275	64,800	11,057	9,668	27,748
Ortalama	10,149	11,530	18,230	7,015	6,781	18,738
Standart sapma	2,507	3,147	19,203	2,869	2,322	9,876
≥9	5	5	5	1	1	2
<9	2	2	2	2	2	1
Doruk faktörü	Geri yürüme			Bekleme		
	Seatx	Seaty	Seatz	Seatx	Seaty	Seatz
En küçük	4,187	6,718	7,729	4,682	3,852	5,517
En büyük	4,187	6,718	7,729	9,981	7,695	25,731
Ortalama	4,187	6,718	7,729	7,241	6,108	12,340
Standart sapma	-	-	-	1,837	1,385	6,989
≥9	-	-	-	1	0	3
<9	1	1	1	4	5	2

Sürücü koltuğunun titreşim sönümlenme özelliğini gösteren koltuk etkinliği genlik geçirgenliği (SEAT) faktörü evreler bazındaki değerleri Çizelge 12.8'de verilmiştir. Operatör koltuğu, en kötü eksen olarak beliren Z ekseninde, bekleme haricindeki evrelerde zemindeki titreşimi sönümleyerek operatöre iletmektedir. Ancak yatay düzlemdeki X ve Y eksenlerinde zemindeki titreşim operatöre şiddetlenerek iletilmektedir. Böylece bu eksenlerde koltuğun işlevsiz olduğu ancak Z ekseninde sönümlenme yeteneği bulunduğu belirlenmiştir.

Çizelge 12.8 Hidrolik kırıcı döngü evrelerinde titreşim ivmesi SEAT faktörleri

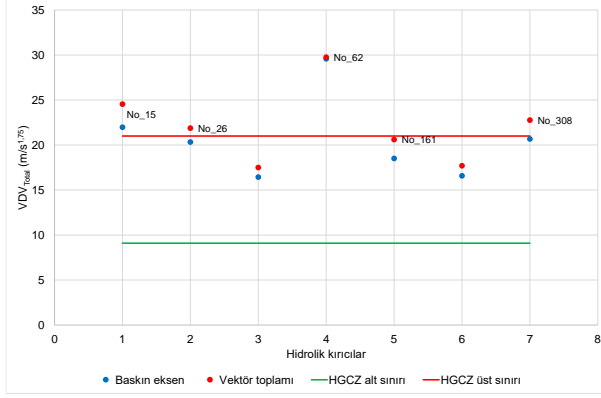
SEAT faktörü	Kırma			İleri yürüme		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	0,735	0,576	0,596	0,493	0,652	0,623
En büyük	1,231	1,363	0,764	1,098	1,345	0,743
<1	2	1	7	2	1	3
≥1	5	6	-	1	2	-
SEAT faktörü	Geri yürüme			Bekleme		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	1,186	1,429	0,603	0,929	1,100	0,757
En büyük	1,186	1,429	0,603	17,857	8,200	6,000
<1	-	-	1	1	-	1
≥1	1	1	-	4	5	4

12.3.2 Titreşim dozu üzerinden değerlendirme

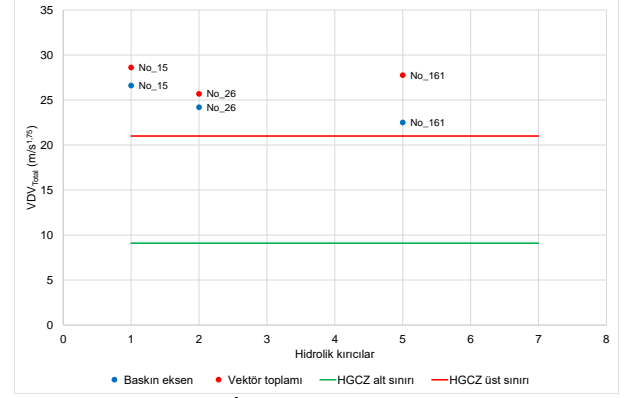
Hidrolik kırıcıların operatör koltuğunda ölçülen TVT dozu değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde VDV_{Total} ve operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri ve BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $Vector_{1-3}$, ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 12.9'da verilmektedir. Bekleme dışındaki evreler operatörü benzer titreşim dozuna maruz bırakmıştır. Hidrolik kırıcıların en kötü durum eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre VDV_{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması Şekil 12.10a-d'de sunulmuştur.

Çizelge 12.9 Hidrolik kırıcı döngü evrelerinde titreşim dozu parametreleri

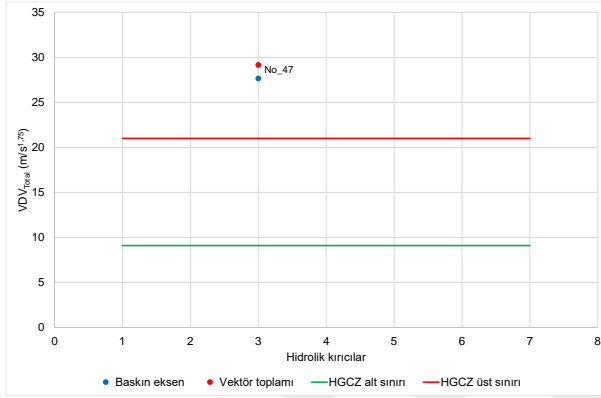
Evre	VDV_{Total} (m/s ^{1,75})				Vektör ₁₋₃ (m/s ^{1,75})			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Kırma	20,582	4,149	16,433	29,579	22,105	3,925	17,497	29,755
İ yürüme	24,435	1,656	22,498	26,608	27,353	1,228	25,688	28,614
G yürüme	27,657	0,000	27,657	27,657	29,165	0,000	29,165	29,165
Bekleme	3,643	2,694	1,663	8,980	3,918	2,676	1,789	9,202
	EAV _{TT(VDV)} (sa)				ELV _{TT(VDV)} (sa)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Kırma	00:24:39	00:14:05	00:04:18	00:45:08	11:38:52	06:39:24	02:01:57	21:20:02
İ yürüme	00:09:40	00:02:34	00:06:34	00:12:51	04:34:17	01:12:43	03:06:14	06:04:20
G yürüme	00:05:38	00:00:00	00:05:38	00:05:38	02:39:34	00:00:00	02:39:34	02:39:34
Bekleme	>24	>24	08:26:17	>24	>24	>24	>24	>24



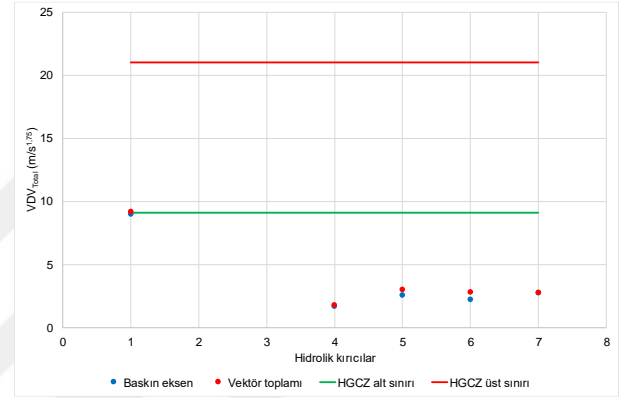
a) Kırma evresi



b) İleri yürüme evresi



c) Geri yürüme evresi



d) Bekleme evresi

Şekil 12.10 Hidrolik kırıcı evrelerinde VDV_{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması

Hidrolik kırıcıların BS 6841 (1987), ISO 2631-1 (1997) standartları ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum ölçütü dikkate alındığında araçların bekleme evresinde EAV sınırı altında; kırma evresinde EAV bölgesi içinde; diğer evrelerde ELV sınırı üzerinde olduğu görülmektedir (Çizelge 12.10). Vektör toplamı açısından değerlendirme yapıldığında, ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) ölçütlerine göre daha fazla sayıda kırıcı ELV bölgesine geçmiş, BS 6841 (1987) standardına göre ise tüm kırıcılar bu bölgede yer almıştır.

Çizelge 12.11'de en yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum ekseninin tüm evreler için değerleri verilmektedir. Çok düşük düzeyli titreşim dozu oluşturan bekleme haricindeki evreler incelendiğinde, en yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum eksenini Z (Ch3) olmuştur.

Tez çalışması kapsamında tüm kırıcıların kestirilen titreşim dozu değeri de (eVDV, m/s^{1.75}) BS 6841 (1987) standardı uyarınca hesaplanmıştır. Standartta eVDV kestirimi için verilen formülün şoklar, tekrarlı şoklar ve geçici titreşimler için uygun olmadığı ve doruk faktörünün (PEAK/RMS) ≤ 6 olduğu durumlarda doğru sonuç vereceği ifade edilmektedir. Hidrolik kırıcı evrelerinde doruk faktörü genellikle 6'dan büyük olup bu durum, operasyonların şokların etkisi altında olduğunu göstermektedir (Çizelge 12.12). Yine de, VDV ile RMS üzerinden kestirilen eVDV arasındaki ilişkiyi göstermek amacıyla eVDV değerleri hesaplanmıştır. Ancak doruk faktörünün >6 olduğu

durumlarda 1,4'lük çarpan kullanılmamıştır. Sonuçta oluşan tabloda, her üç eksen için VDV – eVDV ilişkisi Şekil 12.11a-d'de verilmiştir.

Çizelge 12.10 Hidrolik kırıcı döngü evrelerinde operatörlerin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi

Evre	Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)	
		EKDE	VT	EKDE	VT	EKDE	VT
Kırma	EAV altında	0	0	0	0	0	0
	EAV içinde	5	3	2	0	-	-
	ELV üstünde	2	4	5	7	7	7
İleri yürüme	EAV altında	0	0	0	0	0	0
	EAV içinde	0	0	0	0	-	-
	ELV üstünde	3	3	3	3	3	3
Geri yürüme	EAV altında	0	0	0	0	0	0
	EAV içinde	0	0	0	0	-	-
	ELV üstünde	1	1	1	1	1	1
Bekleme	EAV altında	5	4	4	4	5	5
	EAV içinde	0	1	1	1	-	-
	ELV üstünde	0	0	0	0	0	0

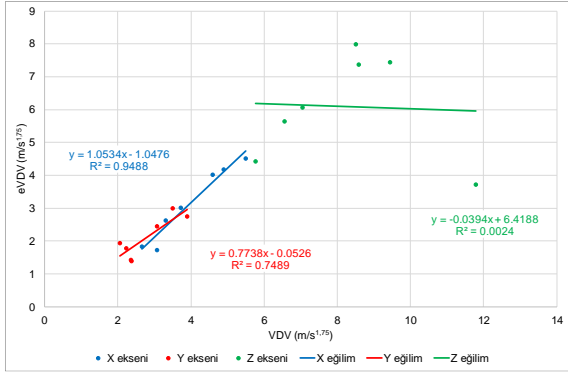
Çizelge 12.11 Hidrolik kırıcı döngü evrelerinde VDV_{Total} değerine göre en kötü durum eksenleri

Evre	Hidrolik kırıcı adedi		
	X (Ch1)	Y (Ch2)	Z (Ch3)
Kırma	-	1	6
İleri yürüme	-	-	6
Geri yürüme	1	-	4
Bekleme	2	2	6

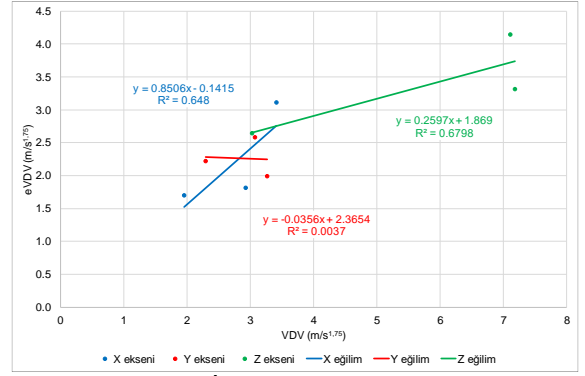
Hidrolik kırıcı operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile VDV_{total} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 12.12a-d'de sunulmuştur. İleri yürüme evresinde her iki ölçütün üst sınırlarını geçerek olumsuz sağlık riski potansiyeli barındıran 1 adet hidrolik kırıcı bulunmaktadır.

Çizelge 12.12 Hidrolik kırıcı evrelerinin doruk faktörü değerleri

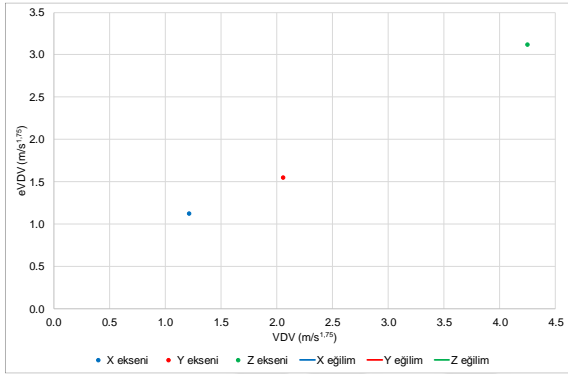
Doruk faktörü	Kırma			İleri yürüme		
	VDV_x	VDV_y	VDV_z	VDV_x	VDV_y	VDV_z
≥ 6	7	7	7	1	2	2
< 6	-	-	-	2	2	2
R^2	0,95	0,75	0,00	0,65	0,00	0,68
Doruk faktörü	Geri yürüme			Bekleme		
	VDV_x	VDV_y	VDV_z	VDV_x	VDV_y	VDV_z
≥ 6	-	1	1	3	2	4
< 6	1	-	-	2	3	1
R^2	-	-	-	0,97	0,96	0,78



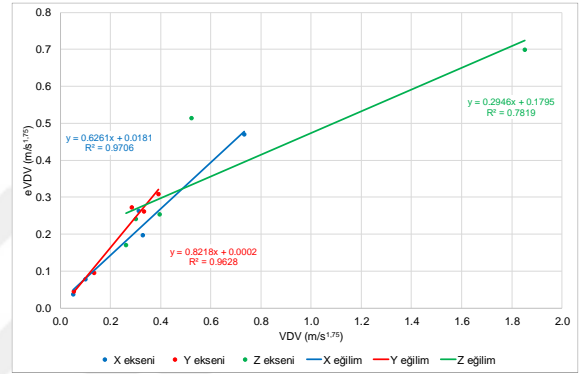
a) Kırma evresi



b) İleri yürüme evresi

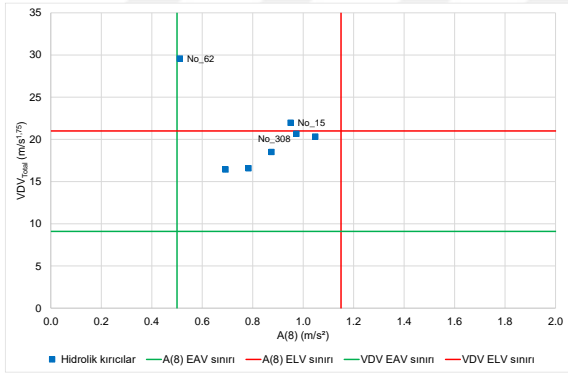


c) Geri yürüme evresi

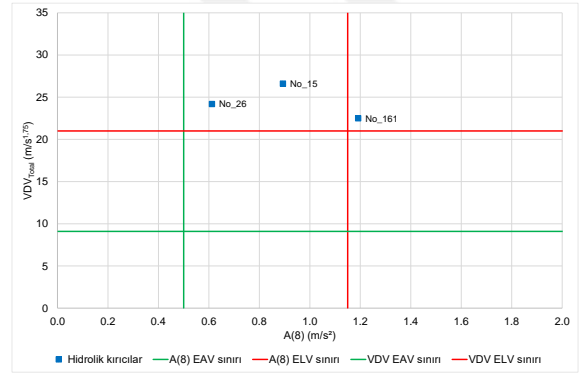


d) Bekleme evresi

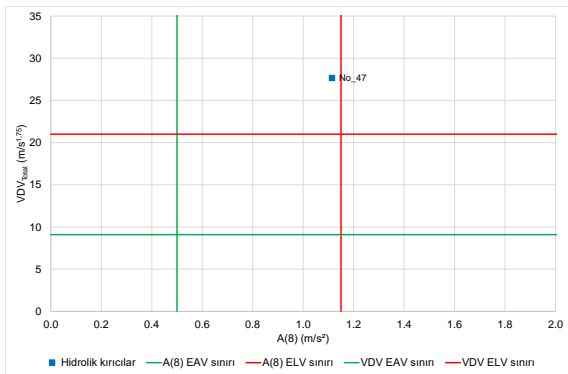
Şekil 12.11 Hidrolik kırıcı evrelerinde evresinde VDV – eVDV ilişkisi



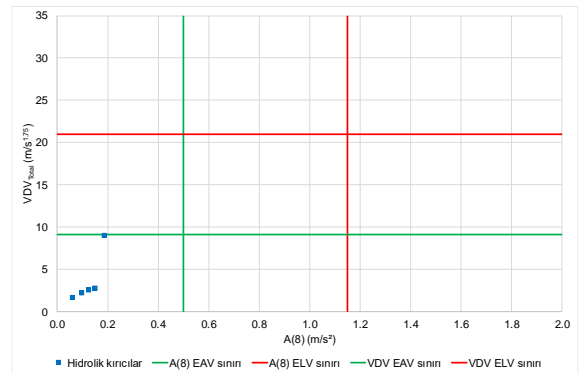
a) Kırma evresi



b) İleri yürüme evresi



c) Geri yürüme evresi



d) Bekleme evresi

Şekil 12.12 Hidrolik kırıcı operatörlerinin evrelerdeki A(8) – VDV_{Total} ilişkisi

12.3.3 Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme

Hidrolik kırıcı operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri kullanılarak hesaplanan S_{ed} değerleri, R(IOP) ve R(TOP) faktörleri Çizelge 12.13'de verilmektedir. En yüksek S_{ed} değeri ileri yürüme ve geri yürüme evrelerine aittir.

Tüm hidrolik kırıcı operatörleri eşdeğer statik basınç dozu değeri (S_{ed}) ölçütüne göre değerlendirildiği sonuçlar Çizelge 12.14'de verilmektedir. Bekleme ve kırma evrelerinde operatörlerin çoğunluğu 0,5 MPa'dan düşük basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı düşüktür. İleri ve geri yürüme evrelerinde ise operatörlerin çoğunluğu 0,8 MPa'dan yüksek basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı yüksektir. Hidrolik kırıcı operatörleri günlük risk faktörü ölçütüne göre değerlendirildiğinde çoğunluğun R faktörü 0,8'den düşük olup sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığı düşüktür. Hidrolik kırıcı operatörlerinin her iki ölçüte göre risk sınırları ile karşılaştırılması Şekil 12.13a-d'de sunulmuştur. Kırma evresinde her iki ölçütün üst sınırlarını geçerek olumsuz sağlık riski potansiyeli barındıran 1 adet hidrolik kırıcı bulunmaktadır.

Çizelge 12.13 Hidrolik kırıcı döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörleri

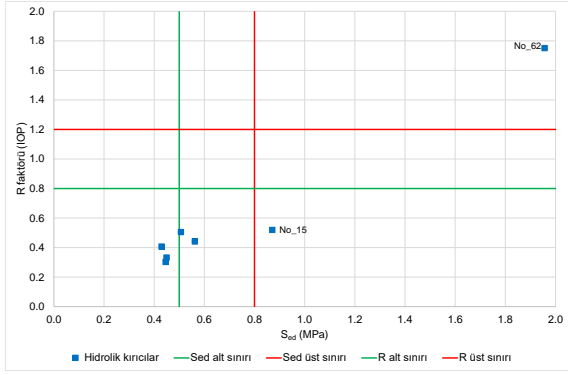
Evre	S_{ed} (MPa)				R(IOP) faktör				R(TOP) faktör			
	Ort.	Std. sapma	En küçük	En büyük	Ort.	Std. sapma	En küçük	En büyük	Ort.	Std. sapma	En küçük	En büyük
Kırma	0,741	0,511	0,426	1,943	0,609	0,472	0,303	1,751	0,926	0,639	0,533	2,430
İleri yürüme	1,115	0,384	0,604	1,528	0,842	0,294	0,450	1,157	1,394	0,480	0,755	1,911
Geri yürüme	0,956	0,000	0,956	0,956	0,961	0,000	0,961	0,961	1,196	0,000	1,196	1,196
Bekleme	0,145	0,146	0,065	0,436	0,097	0,083	0,049	0,262	0,181	0,182	0,081	0,545

Çizelge 12.14 Hidrolik kırıcı döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörüne göre sağlık riski

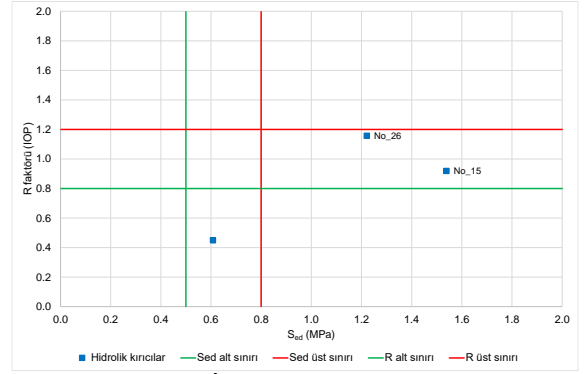
Evre	S_{ed} (MPa)		
	<0,5	0,5 – 0,8	>0,8
Kırma	3	2	2
İleri yürüme	-	1	2
Geri yürüme	-	-	1
Bekleme	5	-	-

Evre	R faktörü		
	<0,8	0,8 – 1,2	>1,2
Kırma	6	-	1
İleri yürüme	1	2	-
Geri yürüme	-	1	-
Bekleme	5	-	-

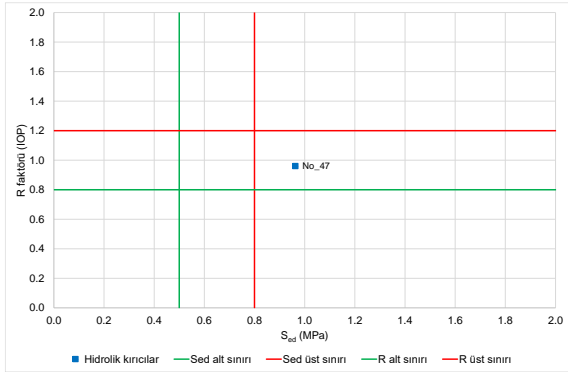
Hidrolik kırıcı operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 12.14a-d'de sunulmuştur. Her iki ölçütün üst sınırlarını geçerek olumsuz sağlık riski potansiyeli barındıran hidrolik kırıcı bulunmamaktadır.



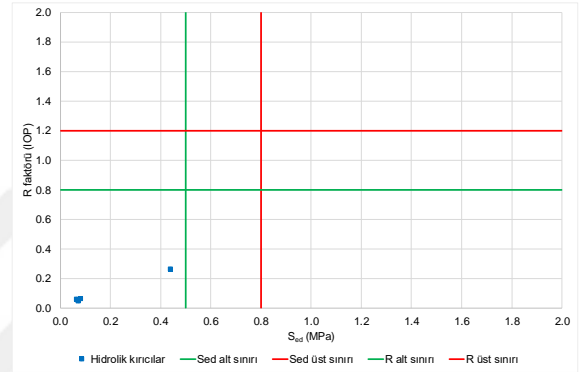
a) Kırma evresi



b) İleri yürüme evresi

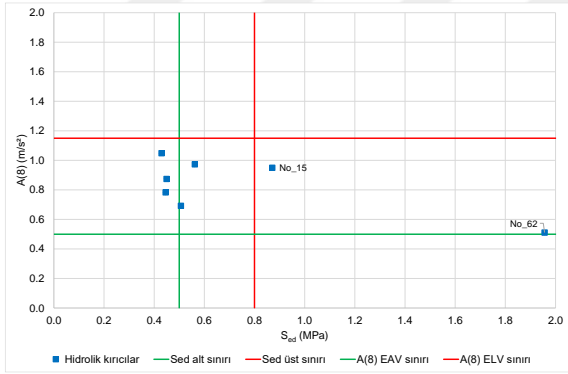


c) Geri yürüme evresi

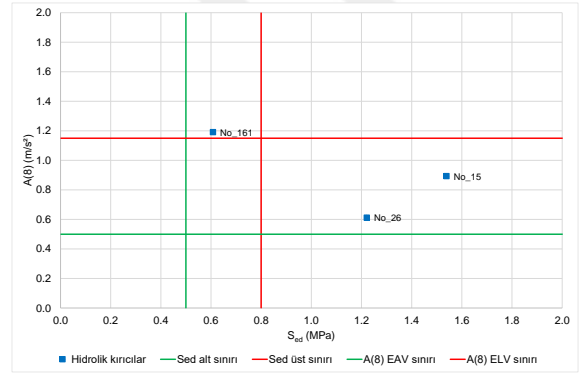


d) Bekleme evresi

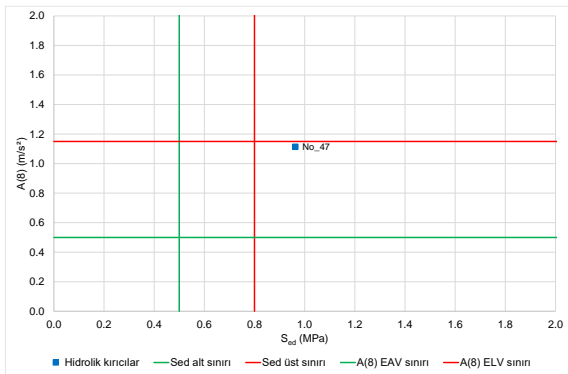
Şekil 12.13 Hidrolik kırıcı operatörlerinin evreler bazında S_{ed} – R faktörü ilişkisi



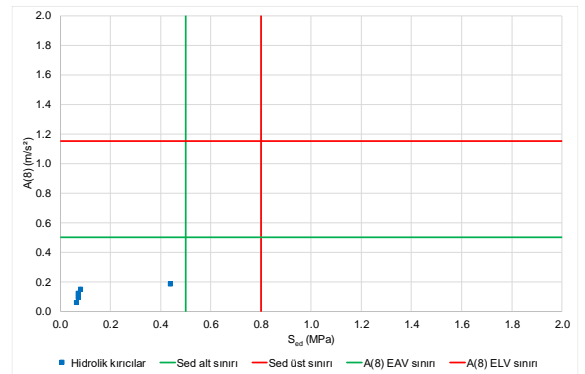
a) Kırma evresi



b) İleri yürüme evresi



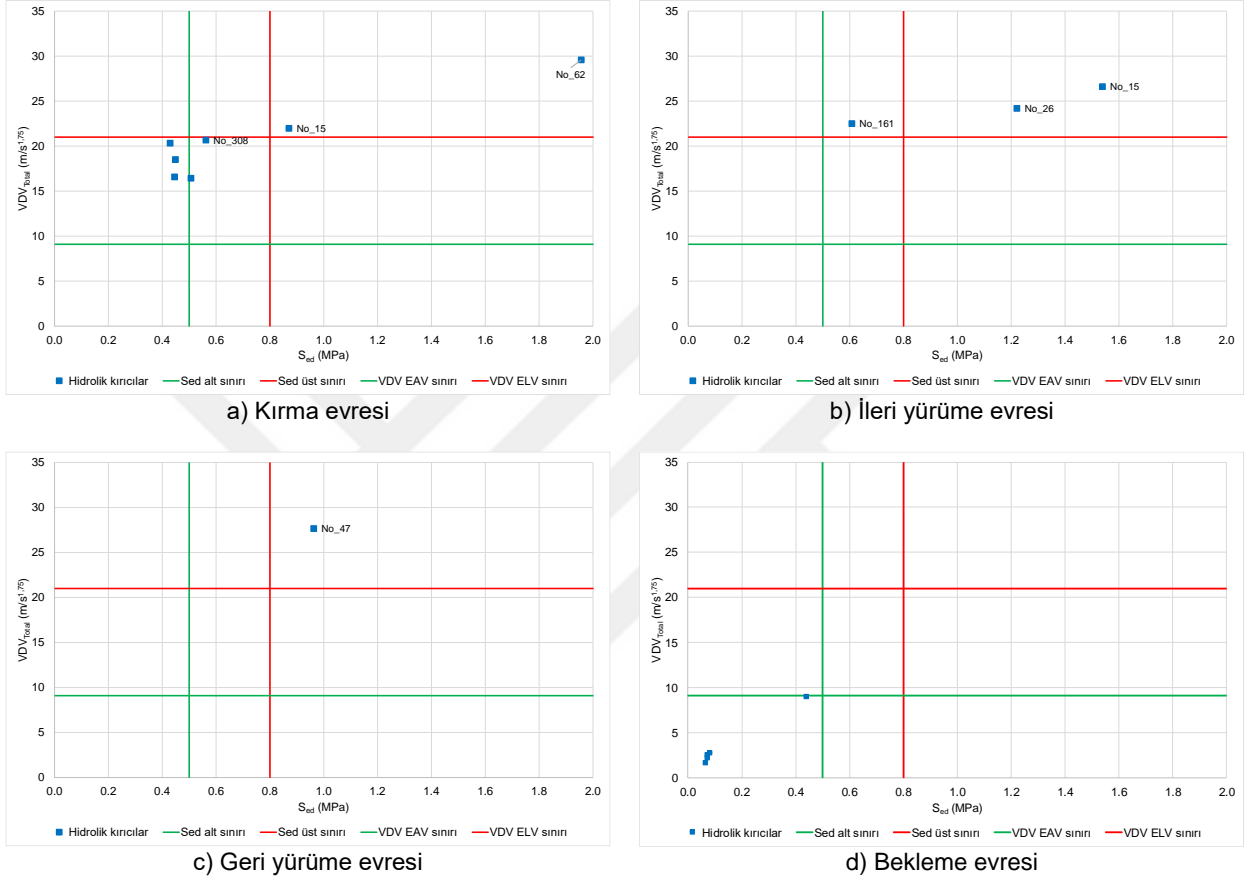
c) Geri yürüme evresi



d) Bekleme evresi

Şekil 12.14 Hidrolik kırıcı operatörlerinin evreler bazında S_{ed} – A(8) ilişkisi

Hidrolik kırıcı operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) VDV_{Total} ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 12.15a-d'de sunulmuştur. Kırma ve ileri yürüme evrelerinde 2, geri yürüme evresinde 1 adet hidrolik kırıcı her iki ölçütün üst sınırlarını geçerek olumsuz sağlık riski potansiyeli barındırmaktadır.



Şekil 12.15 Hidrolik kırıcı operatörlerinin evreler bazında S_{ed} – VDV_{Total} ilişkisi

13 ÇEKMEKEPÇELERİN TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ ve DEĞERLENDİRİLMESİ

13.1 Genel

Bu çalışma kapsamında farklı tip ve modelde 3 adet çekmekepçeden TVT maruziyeti ölçümleri alınmış ve analiz edilmiştir. Çekmekepçelerin iş döngüsünün aşağıdaki evrelerden oluştuğu kabul edilmiş çekmekepçe iş döngüsü boyunca kayıt alınmıştır.

- a) Tüm kayıt (Whole data); Çekmekepçelerin tipik iş döngüsündeki tüm evreleri kapsayacak biçimde, araç hareketi öncesi ve döngü bitişi sonrası durağan haller de dahil olmak üzere alınan tüm kaydın brüt TVT maruziyetini göstermektedir. Operatörün TVT maruziyeti hesaplarında kullanılmamaktadır.
- b) Net kayıt (RECORD); Çekmekepçenin tipik iş döngüsündeki tüm evreleri kapsamakta ve bu süredeki TVT maruziyetini göstermektedir. Hareketin başında operatörün koltuğa yerleşme ve hareketin sonunda koltuktan kalkma çabaları sırasında koltuk üzerindeki disk tipi ivmeölçer ile kabin zeminindeki ivmeölçere şok etkilerinden kaynaklanabilen çok yüksek titreşim ivmeleri ayıklanarak, analizlerden çıkartılmaktadır. Operatörün genel TVT maruziyetini temsil etmekte ve hesaplarda kullanılmaktadır.
- c) Doldurma (LOAD); Çekmekepçenin kovasını yığına batırarak doldurma hareketi yaparken maruz kalınan titreşimi temsil etmek için kaydedilmektedir.
- d) Dolu dönüş (SWING TO); Çekmekepçenin dolu dönüş hareketi sırasında maruz kalınan titreşimi temsil etmek için kaydedilmektedir.
- i) Boşaltma (DUMP); Çekmekepçenin kovasını boşaltması sırasında maruz kalınan titreşim kaydedilmektedir.
- e) Boş dönüş (RETURN); Çekmekepçenin boş dönüş hareketi sırasında maruz kalınan titreşimi temsil etmek için kaydedilmektedir.

Çekmekepçelerin 2 adedi 65 yd³, 1 adedi 40 yd³ kapasiteye sahiptir. Çizelge 13.1'de TVT ölçümü alınan çekmekepçelerin işletmelere dağılımı ile temel çalışma özellikleri verilmiştir.

Çekmekepçelerin TVT maruziyeti ölçümleri, üç adedi koltuktan (Seat_x, Seat_y, Seat_z), üç adedi de kabin zemininden (Floor_x, Floor_y, Floor_z) olmak üzere toplam altı kanaldan, aracın bir tam çevrimini kapsayacak biçimde gerçekleştirilmiştir. Titreşim analizörü ile frekans ağırlıklı ivme (a_w), titreşim dozu (VDV), maksimum geçici titreşim değeri (MTVV), tepe titreşim ivmesi (PEAK) ve tepe-tepe titreşim ivmesi (P-P) ölçülerek, değerlendirilmiştir. Kayıt süreleri 12 dakika 45 saniye ile 16 dakika 08 saniye arasında değişmiştir. ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca TVT maruziyeti değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılan parametrelerin değerleri, koltuk ve zemin için hesaplanmıştır.

Çizelge 13.1 Çekmekepçelerin temel bilgileri

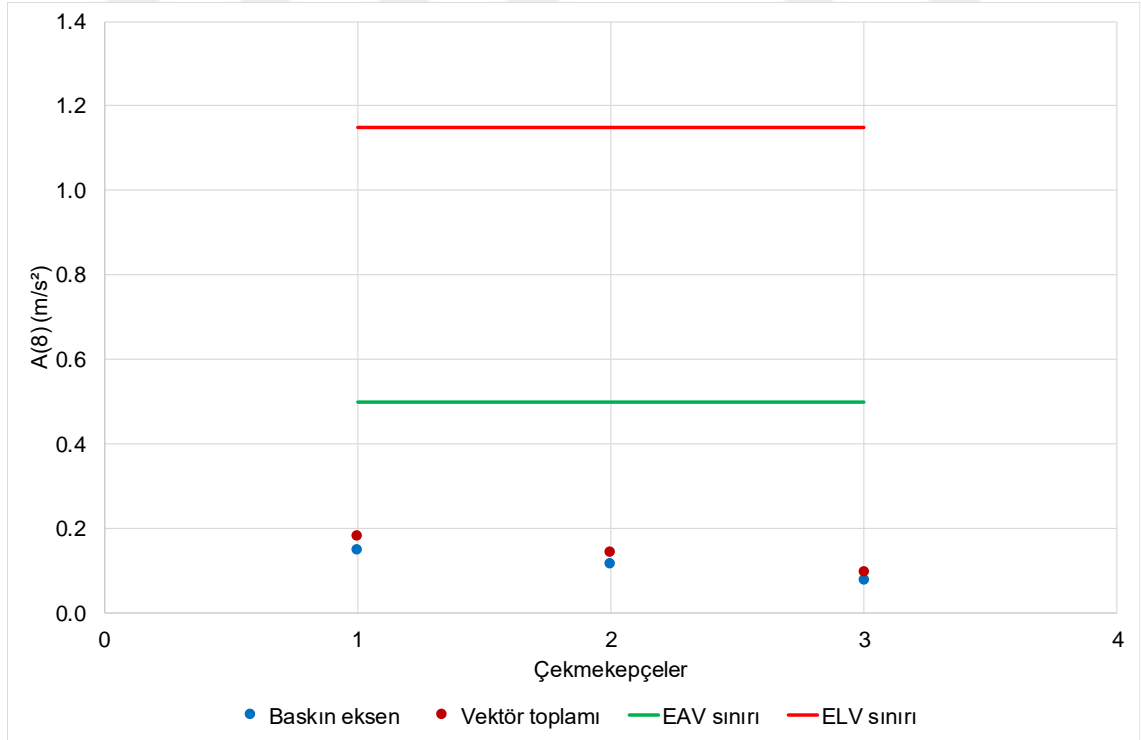
İşletme	Çekmekepçe	Hizmete giriş	Malzeme sınıfı	Kapasite (yd ³)
Kömür işletmesi	No_106	1989	Ara_kesme_yumuşak_marn	65 yd ³
Kömür işletmesi	No_229	1977	Ara_kesme_marn	45 yd ³
Kömür işletmesi	No_299	1986	Kesme_marn	65 yd ³

13.2 Net kayıt (RECORD) Evresi

13.2.1 Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme

Çekmekepçelerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $A(8)_{\text{Seat}}$, ortalama ve standart sapması $(0,114 \pm 0,029)$ m/s² olacak biçimde 0,078 m/s² ile 0,149 m/s² arasında değişmiştir. Diğer yandan çekmekepçelerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde Vector_{1-3} , ortalama ve standart sapması $(0,142 \pm 0,035)$ m/s² olacak biçimde 0,098 m/s² ile 0,183 m/s² arasında değişmiştir.

En yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum eksenini her 3 çekmekepçede Z (Ch3) olmuştur. Tüm çekmekepçelerin en kötü durum eksenini ve vektör toplamı ölçütlerine göre $A(8)_{\text{Seat}}$ değerlerinin EAV ve ELV sınırları ile karşılaştırılması Şekil 13.1'de sunulmuştur.



Şekil 13.1 Çekmekepçelerin $A(8)$ değerleri

Çekmekepçelerin EU 2002/44/EC direktifi ve ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum ve vektör toplamı ölçütlerine göre tümü de EAV ve HGCZ sınırları (dikkat bölgesi) altındadır(Çizelge 13.2).

Çizelge 13.2 Çekmekepçe operatörlerinin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi

Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		Bölge	ISO2631-1 HGCZ Bölgesi	
	EKDE	VT	EKDE	VT		EKDE	VT
EAV altında	3	3	3	3	HGCZ altında	3	3
EAV içinde	0	0	0	0	HGCZ içinde	0	0
ELV üstünde	0	0	0	0	HGCZ üstünde	0	0

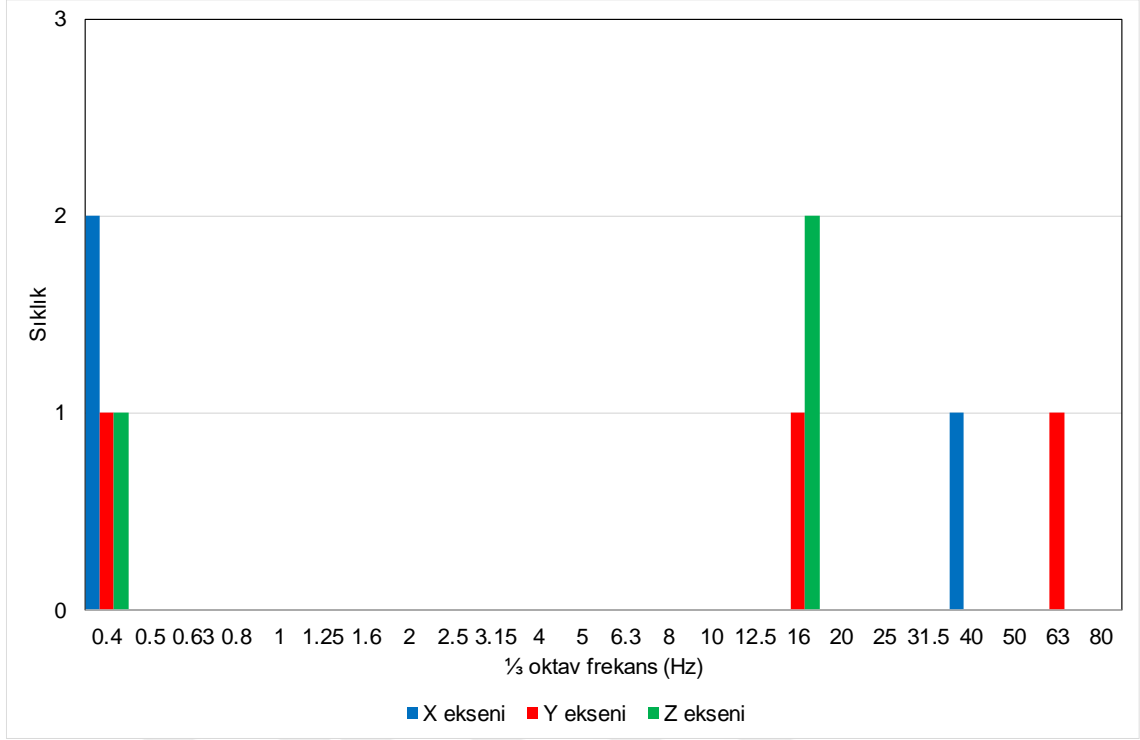
Çekmekepçelerin maruziyet eylem değerine erişim süresi ($EAV_{TT(RMS)}$), en kötü durum eksenini üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması ($190:00:55 \pm 101:12:47$) sa olacak biçimde $90:05:10$ sa ile $328:43:52$ sa arasında değişmiştir. Diğer yandan çekmekepçelerin maruziyet sınır değerine erişim süresi ($ELV_{TT(RMS)}$), en kötü durum eksenini üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması ($1005:10:51 \pm 535:25:04$) sa olacak biçimde $476:33:18$ sa ile $1738:59:15$ sa arasında değişmiştir. Bu durumda çekmekepçelerin hiçbirisi 8 saatlik vardiya süresi bitmeden operatörü maruziyet eylem değerine, dolayısıyla maruziyet sınır değerine eriştirmemektedir.

Net kayıt evresinde operatör koltuğunda X, Y ve en kötü durum Z ekseninde tüm çekmekepçelerin doruk faktörü 9'dan büyük çıkmıştır.

Doruk faktörü	Seatx	Seaty	Seatz
En küçük	11,966	9,814	10,423
En büyük	17,250	11,167	31,209
Ortalama	13,751	10,477	17,463
Standart sapma	2,474	0,553	9,720
≥ 9	3	3	3
< 9	0	0	0

Çekmekepçe operatörlerinin maruz kaldığı TVT ivmesine ait frekans spektrumu $\frac{1}{3}$ oktav bant dağılımı ile değerlendirildiğinde 0,4 Hz ile 80 Hz arasındaki merkez bant frekanslarına göre her ikisi de yatay düzlemdeki ortogonal eksenler boyunca oluşan titreşim; X ekseninde 0,4 Hz'de, Y ekseninde 0,4 - 63 Hz'de yoğunlaşmıştır. Z eksenini incelendiğinde baskın frekans 16 Hz'dir. Her üç eksenindeki TVT ivmelerine ait baskın frekans dağılımı Şekil 13.2'de verilmiştir.

Operatör koltuğunun titreşim sönümlenme özelliğini gösteren koltuk etkinliği genlik geçirgenliği (SEAT) faktörü X eksenini için 1,261 ile 1,656 arasında, Y eksenini için 1,240 ile 1,654 arasında ve Z eksenini için 0,520 ile 0,963 arasında değişmiştir. Zeminde oluşan titreşim koltukta, X ve Y eksenlerinde 3 çekmekepçede de şiddetlenmiş ancak Z ekseninde 3 çekmekepçede de sönümlenmiştir. Operatör koltuğu yatay eksenlerde titreşimi artırarak operatöre iletirken, dikey ekseninde sönümlenmektedir.



Şekil 13.2 Çekmekepçelerin A(8) değerlerinin 1/3 oktav baskın frekansları

13.2.2 Titreşim dozu üzerinden değerlendirme

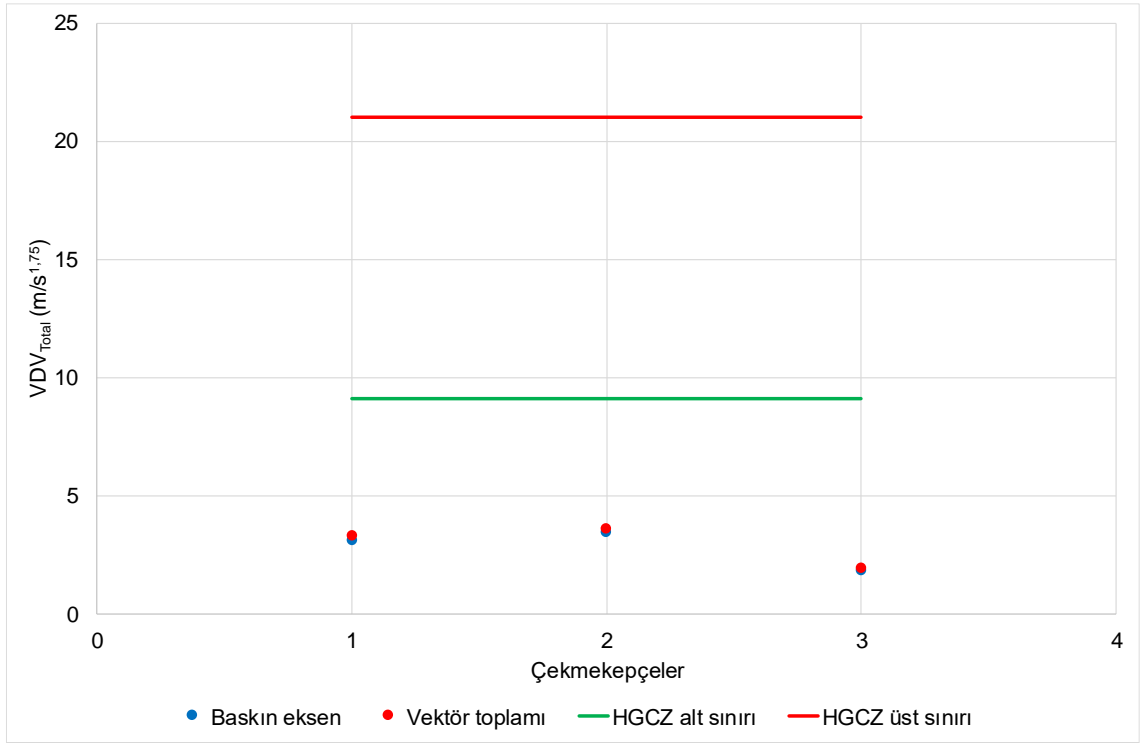
Çekmekepçelerin operatör koltuğunda ölçülen TVT dozu değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde VDV_{Total} , ortalama ve standart sapması $(2,807 \pm 0,690) m/s^{1,75}$ olacak biçimde $1,850 m/s^{1,75}$ ile $3,451 m/s^{1,75}$ arasında değişmiştir. Diğer yandan çekmekepçelerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $Vector_{1-3}$, ortalama ve standart sapması $(2,925 \pm 0,716) m/s^{1,75}$ olacak biçimde $1,927 m/s^{1,75}$ ile $3,573 m/s^{1,75}$ arasındadır.

En yüksek titreşim dozu kaydedilen en kötü durum eksenini her 3 çekmekepçede Z (Ch3) olmuştur. Tüm çekmekepçelerin en kötü durum eksenini ve vektör toplamı ölçütlerine göre VDV_{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması Şekil 13.3'de sunulmuştur.

Çekmekepçelerin BS 6841 (1987), ISO 2631-1 (1997) standartları ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum ve vektör toplamı ölçütlerine göre tümü EAV sınırı altındadır (Çizelge 13.3).

Çizelge 13.3 Çekmekepçe operatörlerinin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi

Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)	
	EKDE	VT	EKDE	VT	EKDE	VT
EAV altında	3	3	3	3	3	3
EAV içinde	0	0	0	0	-	-
ELV üstünde	0	0	0	0	0	0

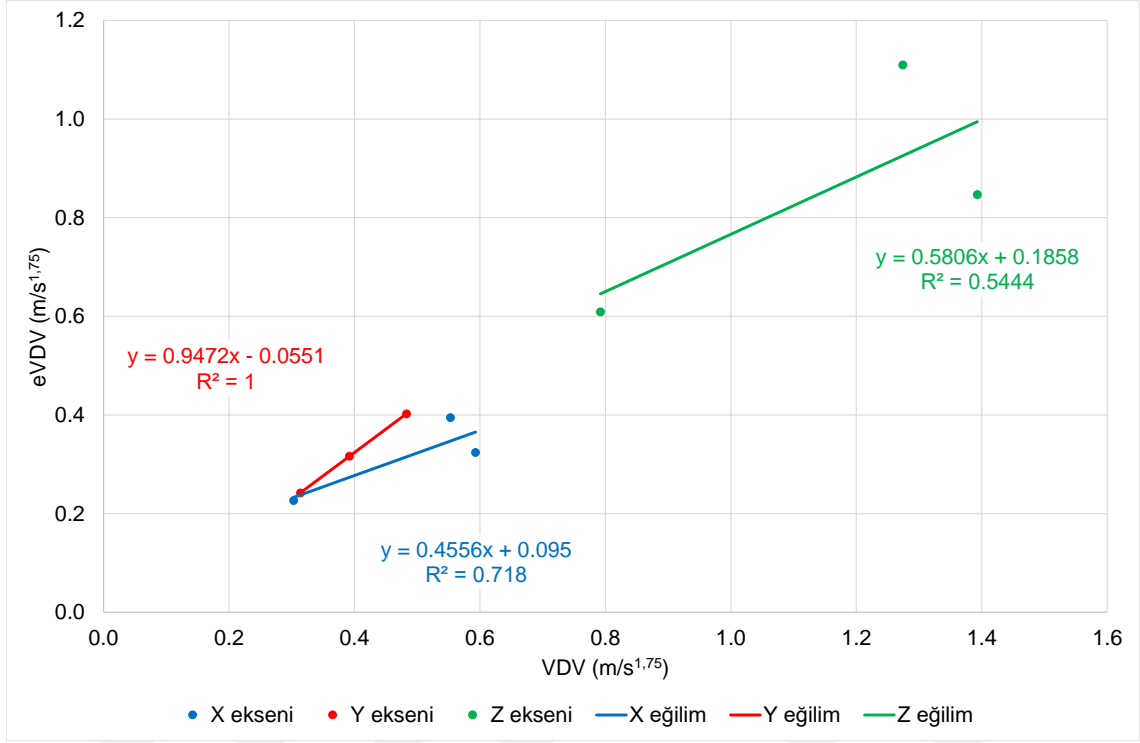


Şekil 13.3 Çekmekepçelerin VDV_{Total} değerleri

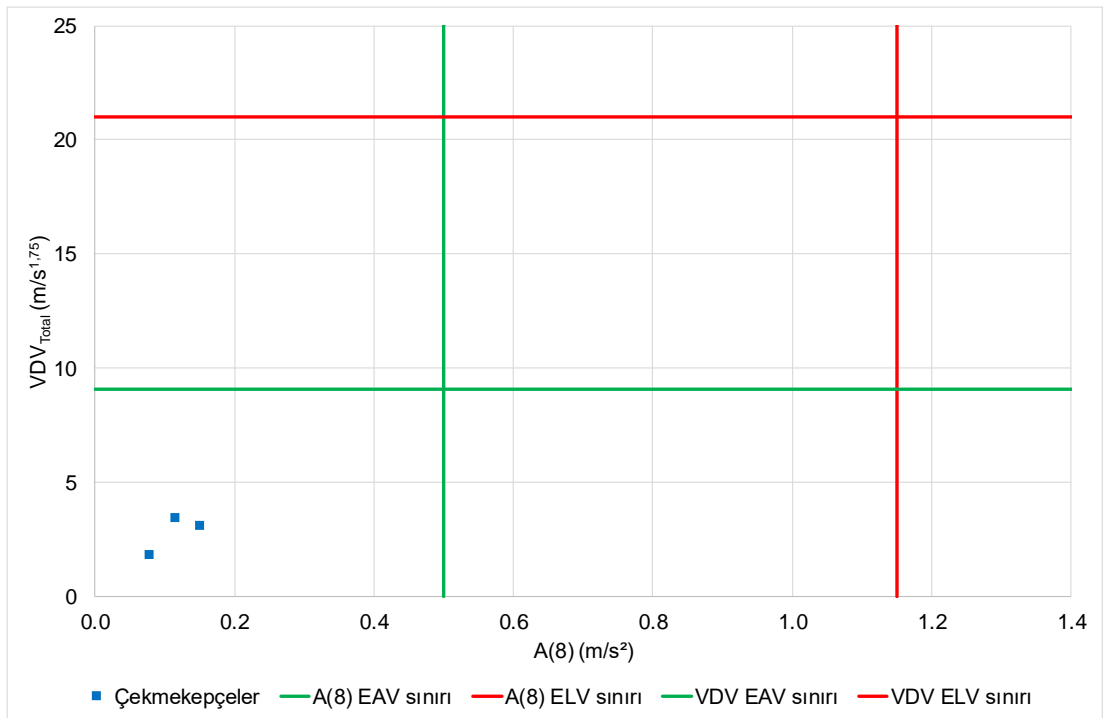
Tez çalışması kapsamında tüm çekmekepçelerin kestirilen titreşim dozu değeri de (eVDV, m/s^{1,75}) BS 6841 (1987) standardı uyarınca hesaplanmıştır. Standartta eVDV kestirimi için verilen formülün şoklar, tekrarlı şoklar ve geçici titreşimler için uygun olmadığı ve doruk faktörünün (PEAK/RMS) ≤ 6 olduğu durumlarda doğru sonuç vereceği ifade edilmektedir. Çalışmada örneklenen 3 çekmekepçenin X, Y ve Z eksenlerinde tümünün doruk faktörü 6'dan büyük çıkmıştır. Bu durum çekmekepçe operasyonlarında şokların büyük etkisinin bulunduğunu göstermektedir. Yine de, VDV ile RMS üzerinden kestirilen eVDV arasındaki ilişkiyi göstermek amacıyla eVDV değerleri hesaplanmıştır. Ancak doruk faktörünün >6 olduğu durumlarda 1,4'lük çarpan kullanılmamıştır. Her üç eksen için VDV – eVDV ilişkisi Şekil 13.4'de verilmiştir. Her üç veri gurubu için doğrusal regresyon analizi yapılmış olup, belirlilik katsayıları %54,44 ile %100 arasında değişmekte ve beklendiği gibi, regresyon eşitliğinin güçlü olduğuna işaret etmektedir.

Çekmekepçelerin maruziyet eylem değerine erişim süresi (EAV_{TT(VDV)}), en kötü durum eksenini üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması (1884:11:31 \pm 1983:00:01) sa olacak biçimde 387:00:29 sa ile 4686:22:56 sa arasında değişmiştir. Diğer yandan çekmekepçelerin maruziyet sınır değerine erişim süresi (ELV_{TT(VDV)}), en kötü durum eksenini üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması (53436:20:50 \pm 56238:35:08) sa olacak biçimde 10975:41:07 sa ile 132907:26:42 sa arasında değişmiştir. Hiçbir çekmekepçe, operatörünü vardiya bitmeden maruziyet eylem, dolayısıyla maruziyet sınır değerine erişmemektedir.

Çekmekepçe operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile VDV_{total} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 13.5'de sunulmuştur. Her iki ölçütün üst sınırını birlikte aşarak olumsuz sağlık riski sunan çekmekepçe bulunmamaktadır.



Şekil 13.4 Çekmekepçelerin VDV – eVDV ilişkisi



Şekil 13.5 Çekmekepçe operatörlerinin A(8) – VDV_{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki

13.2.3 Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme

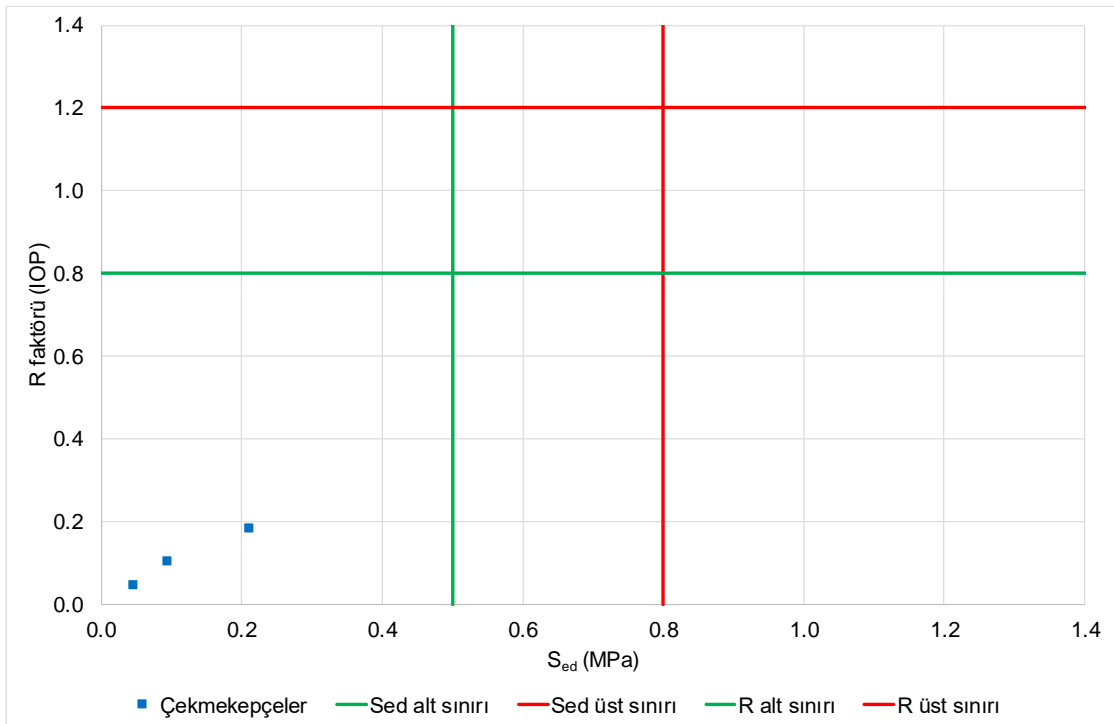
Çekmekepçe operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri kullanılarak hesaplanan S_{ed} değerleri ortalama ve standart sapması $(0,116 \pm 0,069)$ MPa olacak biçimde $0,046$ MPa ile $0,209$ MPa arasındadır. Diğer yandan çekmekepçe operatörlerinin R(IOP) faktörleri, ortalama ve standart sapması $(0,113 \pm 0,055)$ olacak biçimde $0,049$ ile $0,183$ arasında, R(TOP) faktörleri ortalama ve standart sapması $(0,145 \pm 0,086)$ olacak biçimde $0,057$ ile $0,261$ arasındadır.

Tüm çekmekepçe operatörleri eşdeğer statik basınç dozu değeri (S_{ed}) ölçütüne göre değerlendirildiğinde; her 3 operatör de $0,5$ MPa'dan düşük basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı düşüktür.

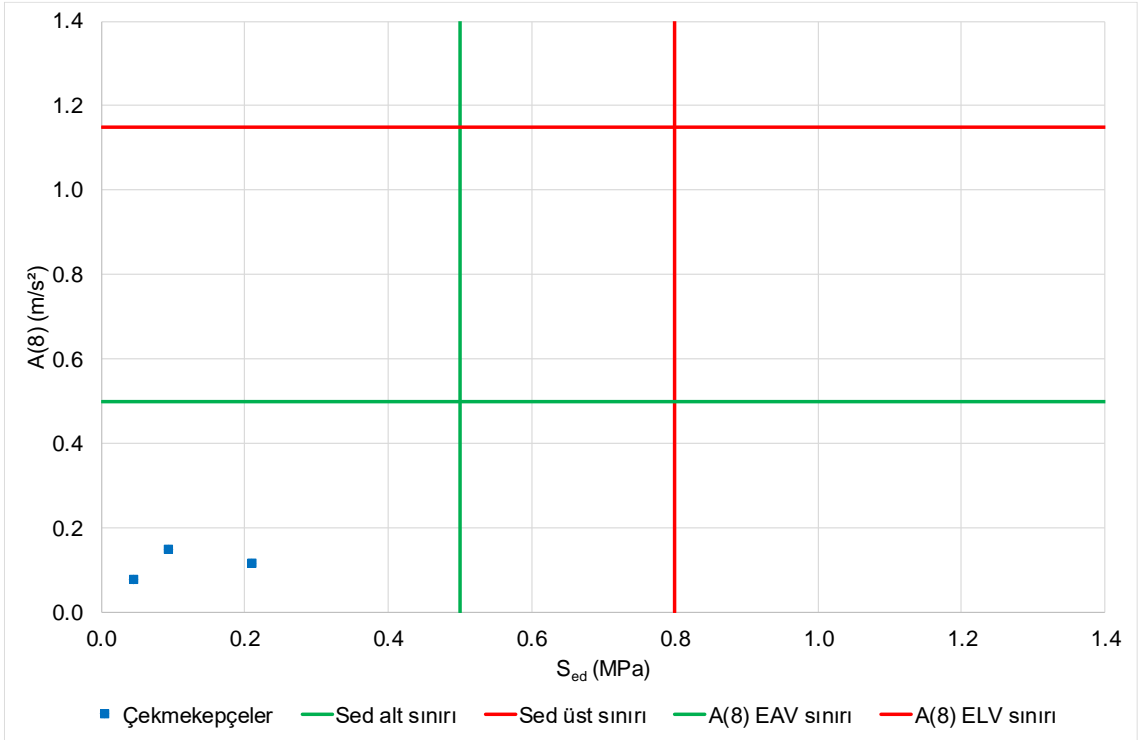
Çekmekepçe operatörleri günlük risk faktörü ölçütüne göre değerlendirildiğinde, 3 operatörün de R faktörü $0,8$ 'den düşük olup sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığı düşüktür. Çekmekepçe operatörlerinin her iki ölçüte göre risk sınırları ile karşılaştırılması Şekil 13.6'da sunulmuştur. Her iki ölçütün üst sınırını birlikte aşarak olumsuz sağlık riski sunan çekmekepçe bulunmamaktadır.

Çekmekepçe operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 13.7'de sunulmuştur. Her iki ölçütün üst sınırını birlikte aşarak olumsuz sağlık riski sunan çekmekepçe bulunmamaktadır.

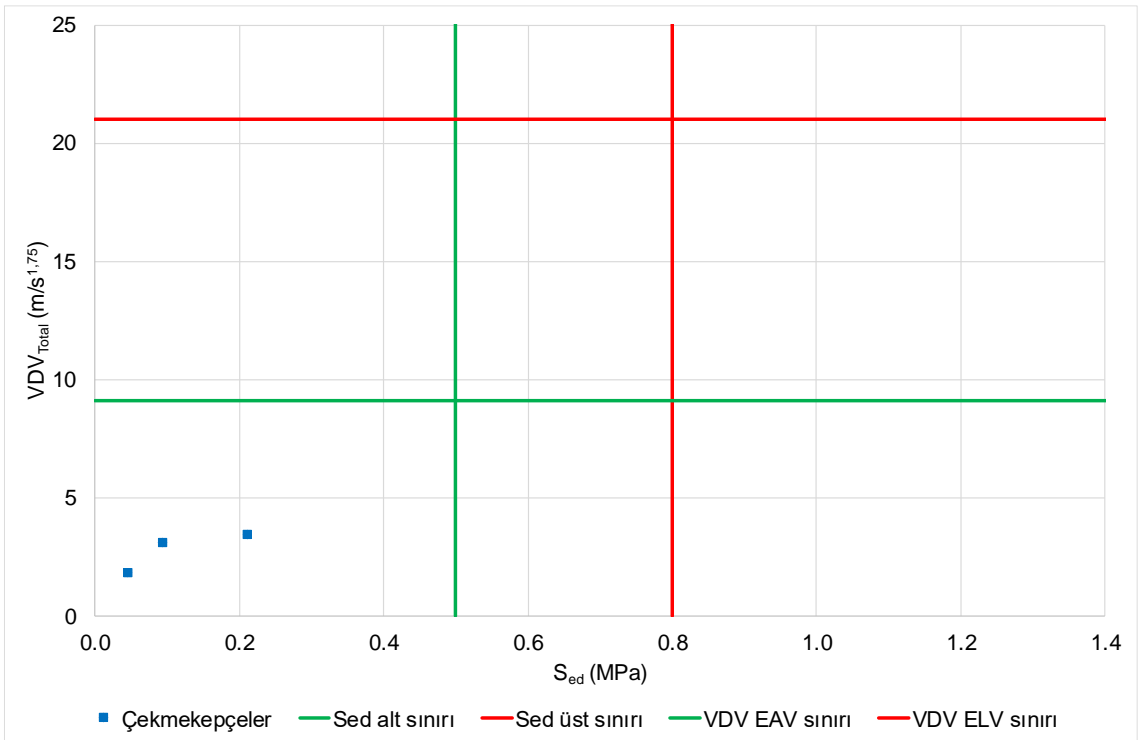
Çekmekepçe operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) VDV_{Total} ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 13.8'de sunulmuştur. Her iki ölçütün üst sınırını birlikte aşarak olumsuz sağlık riski sunan çekmekepçe bulunmamaktadır.



Şekil 13.6 Çekmekepçe operatörlerinin S_{ed} – R faktörü ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki



Şekil 13.7 Çekmekepçe operatörlerinin S_{ed} – $A(8)$ ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki



Şekil 13.8 Çekmekepçe operatörlerinin S_{ed} – VDV_{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki

13.3 Evrelerin değerlendirilmesi

13.3.1 Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme

Çekmekeççelerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $A(8)_{\text{Seat}}$ ve operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde Vector_{1-3} , EAV ve ELV değerleri Çizelge 13.4'de verilmektedir. Tüm evrelerde benzer titreşim maruziyeti bulunmaktadır. Tüm çekmekeççelerin en kötü durum eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre $A(8)_{\text{Seat}}$ değerlerinin EAV ve ELV sınırları ile karşılaştırılması Şekil 13.9a-d'de sunulmuştur.

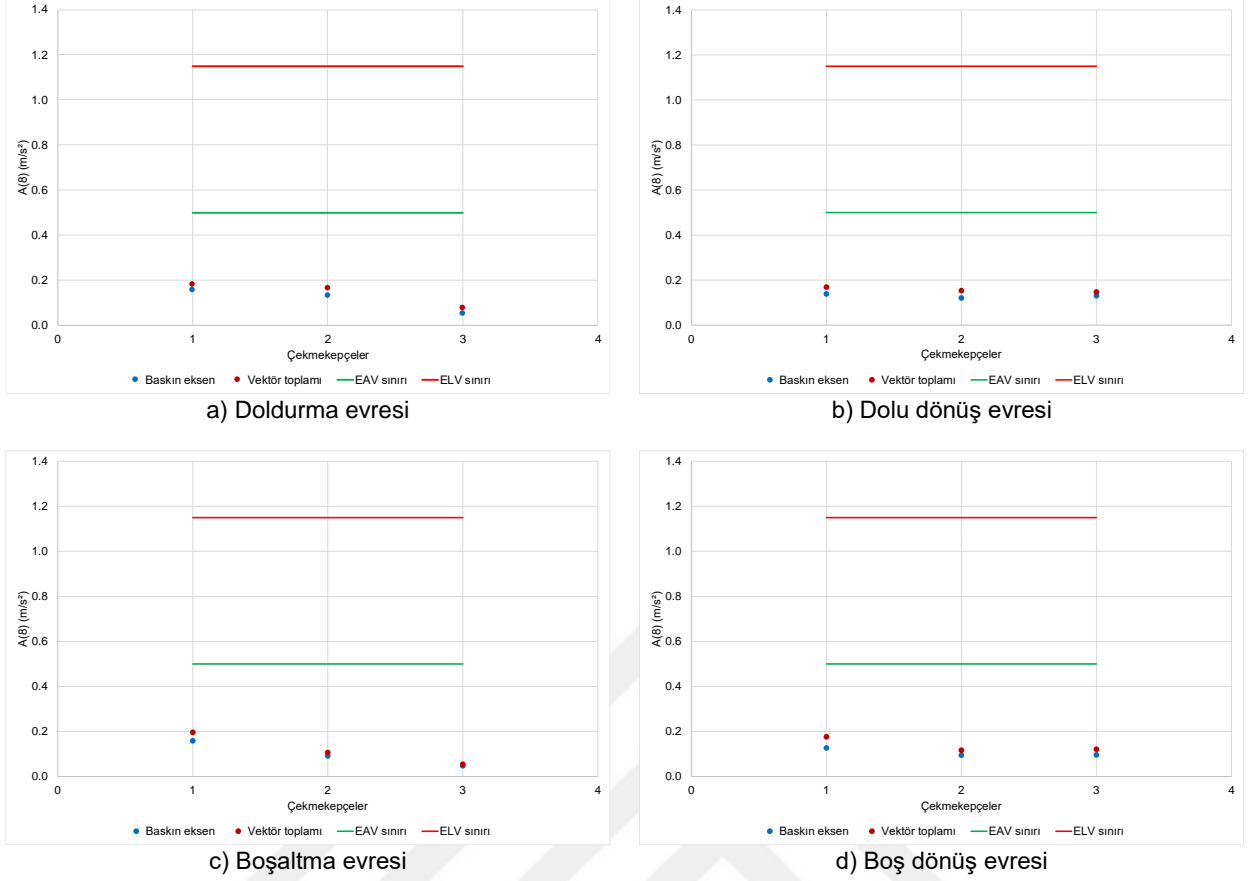
Çekmekeççelerin EU 2002/44/EC direktifi ve ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum ve vektör toplamı ölçütleri dikkate alındığında araçların tümü EAV ve HGCZ sınırları (dikkat bölgesi) altındadır (Çizelge 13.5).

Çizelge 13.4 Çekmekeççe döngü evrelerinde titreşim ivmesi parametreleri

Evre	A(8) (m/s ²)				Vektör ₁₋₃ (m/s ²)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Doldurma	0,114	0,044	0,054	0,156	0,142	0,045	0,078	0,181
Dolu dönüş	0,130	0,007	0,121	0,139	0,156	0,009	0,147	0,169
Boşaltma	0,100	0,046	0,048	0,159	0,119	0,058	0,055	0,196
Boş dönüş	0,106	0,015	0,095	0,127	0,138	0,027	0,117	0,177
	EAV _{TT(RMS)} (sa)				ELV _{TT(RMS)} (sa)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Doldurma	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24
Dolu dönüş	>24	13:36:34	>24	>24	>24	>24	>24	>24
Boşaltma	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24
Boş dönüş	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24

Çizelge 13.5 Çekmekeççe döngü evrelerinde operatörlerin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi

Evre	Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		Bölge	ISO2631-1 HGCZ Bölgesi	
		EKDE	VT	EKDE	VT		EKDE	VT
Doldurma	EAV altında	3	3	3	3	HGCZ altında	3	3
	EAV içinde	0	0	0	0	HGCZ içinde	0	0
	ELV üstünde	0	0	0	0	HGCZ üstünde	0	0
Dolu dönüş	EAV altında	3	3	3	3	HGCZ altında	3	3
	EAV içinde	0	0	0	0	HGCZ içinde	0	0
	ELV üstünde	0	0	0	0	HGCZ üstünde	0	0
Boşaltma	EAV altında	3	3	3	3	HGCZ altında	3	3
	EAV içinde	0	0	0	0	HGCZ içinde	0	0
	ELV üstünde	0	0	0	0	HGCZ üstünde	0	0
Boş dönüş	EAV altında	3	3	3	3	HGCZ altında	3	3
	EAV içinde	0	0	0	0	HGCZ içinde	0	0
	ELV üstünde	0	0	0	0	HGCZ üstünde	0	0



Şekil 13.9 Çekmekeççe evrelerinde $A(8)$ değerleri

Çizelge 13.6'da en yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum ekseninin evre bazında değerleri verilmektedir. Tümünde en kötü durum eksen Z (Ch3) olmuştur.

Çizelge 13.6 Çekmekeççe döngü evrelerinde $A(8)$ değerine göre en kötü durum eksenleri

Evre	Çekmekeççe adedi		
	X (Ch1)	Y (Ch2)	Z (Ch3)
Doldurma	-	-	3
Dolu dönüş	-	-	3
Boşaltma	-	-	3
Boş dönüş	-	-	3

Eksenler ve evreler bazında doruk faktörü değerleri Çizelge 13.7'de verilmektedir. Kepçe-zemin etkileşiminin yoğun biçimde gerçekleştiği ve makine gövdesinde yüksek düzeyli titreşim oluşturan doldurma dışındaki tüm evrelerde doruk faktörü 9'dan küçük çıkmıştır.

Sürücü koltuğunun titreşim sönümlenme özelliğini gösteren SEAT faktörüne ait evreler bazındaki değerleri Çizelge 13.8'de verilmiştir. Zeminde oluşan titreşim koltukta, X ve Y eksenlerinde 3 çekmekeççede de şiddetlenmiş ancak Z ekseninde tüm çekmekeççelerde sönümlenmiştir.

Operatör koltuğu yatay eksenlerde titreşimi artırarak operatöre iletirken, dikey ekseninde sönümlenmektedir.

Çizelge 13.7 Çekmekepçe döngü evrelerinde titreşim ivmesi doruk faktörleri

Doruk faktörü	Doldurma			Dolu dönüş		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	8,979	7,977	6,788	6,394	7,000	5,046
En büyük	13,316	11,172	27,189	9,378	8,404	11,532
Ortalama	11,562	9,811	16,344	8,208	7,789	7,713
Standart sapma	1,865	1,347	8,378	1,301	0,586	2,770
≥9	2	2	2	1	0	1
<9	1	1	1	2	3	2
Doruk faktörü	Boşaltma			Boş dönüş		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	3,833	3,429	4,326	5,846	5,610	5,716
En büyük	11,193	10,220	9,522	8,676	8,316	7,375
Ortalama	6,945	6,251	6,338	7,472	6,775	6,650
Standart sapma	3,110	2,889	2,277	1,193	1,136	0,693
≥9	1	1	1	0	0	0
<9	2	2	2	3	3	3

Çizelge 13.8 Çekmekepçe döngü evrelerinde titreşim ivmesi SEAT faktörleri

SEAT faktörü	Doldurma			Dolu dönüş		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	1,217	1,208	0,576	1,179	1,029	0,511
En büyük	1,621	1,792	0,923	1,552	1,559	1,023
<1	-	-	3	-	-	2
≥1	3	3	-	3	3	1
SEAT faktörü	Boşaltma			Boş dönüş		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	1,091	1,077	0,535	1,321	1,267	0,459
En büyük	1,583	1,611	0,930	2,167	1,788	0,990
<1	-	-	3	-	-	3
≥1	3	3	-	3	3	-

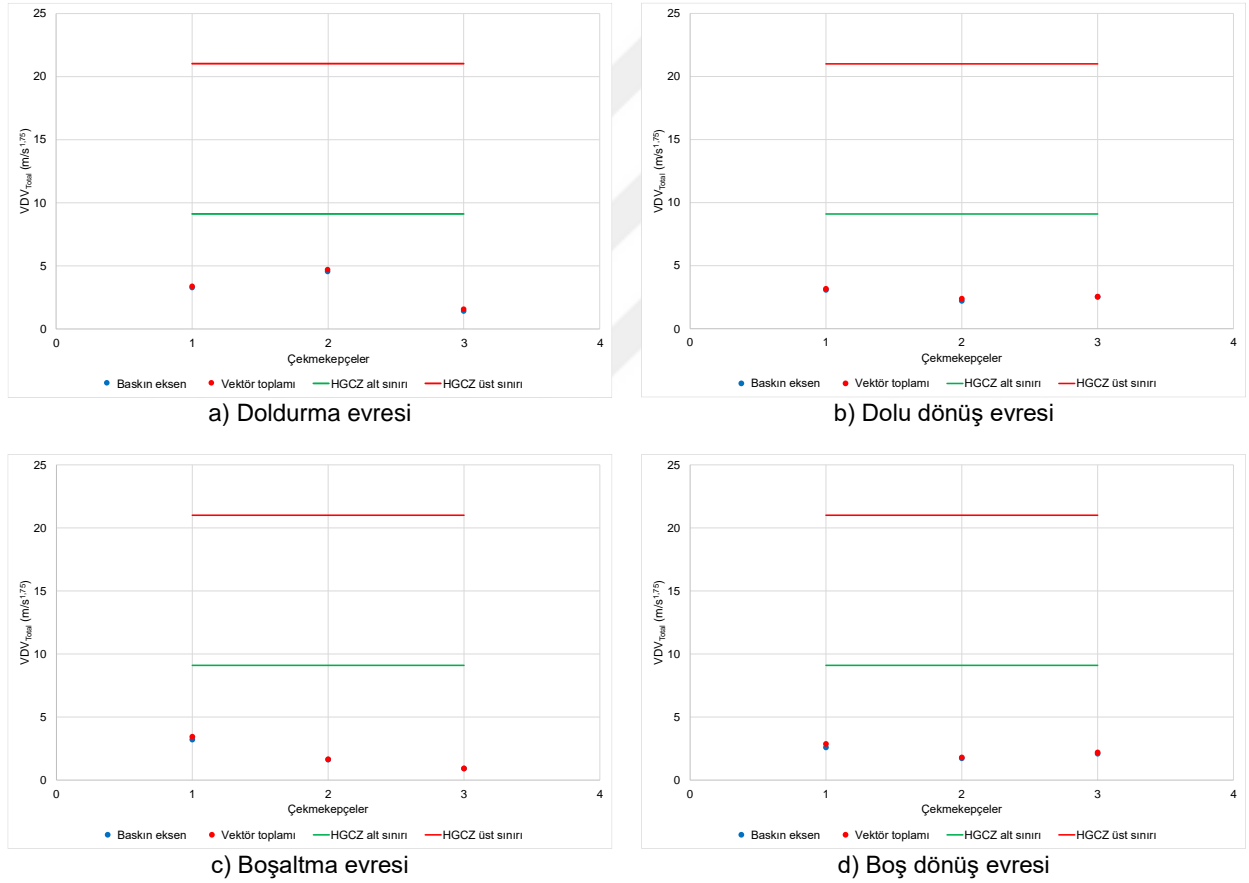
13.3.2 Titreşim dozu üzerinden değerlendirme

Çekmekepçelerin operatör koltuğunda ölçülen TVT dozu değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde VDV_{Total} ve operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $Vector_{1-3}$, EAV ve ELV değerleri Çizelge 13.9'da verilmektedir. Tüm evrelerde benzer titreşim dozu düzeyi bulunmaktadır. Çekmekepçelerin en kötü durum eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre VDV_{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması Şekil 13.10a-d'de sunulmuştur.

Çekmekepçelerin BS 6841 (1987), ISO 2631-1 (1997) standartları ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum ve vektör toplamı ölçütleri dikkate alındığında araçların tümünün EAV sınırı altında olduğu görülmektedir (Çizelge 13.10).

Çizelge 13.9 Çekmekepçe döngü evrelerinde titreşim dozu parametreleri

Evre	VDV _{Total} (m/s ^{1,75})				Vektör ₁₋₃ (m/s ^{1,75})			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Doldurma	3,045	1,292	1,373	4,518	3,178	1,281	1,540	4,668
Dolu dönüş	2,606	0,360	2,211	3,081	2,701	0,336	2,386	3,167
Boşaltma	1,919	0,961	0,916	3,214	2,007	1,056	0,924	3,439
Boş dönüş	2,142	0,355	1,730	2,597	2,288	0,441	1,880	2,869
Evre	EAV _{TT(VDV)} (sa)				ELV _{TT(VDV)} (sa)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Doldurma	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24
Dolu dönüş	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24
Boşaltma	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24
Boş dönüş	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24



Şekil 13.10 Çekmekepçe evrelerinde VDV_{Total} değerlerinin HGZ sınırları ile karşılaştırılması

En yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum ekseninin tüm evreler için değerleri Çizelge 13.11'de verilmektedir. Tüm evrelerde en kötü durum eksen Z (Ch3) olmuştur.

Çizelge 13.10 Çekmekepçe döngü evrelerinde operatörlerin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi

Evre	Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)	
		EKDE	VT	EKDE	VT	EKDE	VT
Doldurma	EAV altında	3	3	3	3	3	3
	EAV içinde	0	0	0	0	-	-
	ELV üstünde	0	0	0	0	0	0
Dolu dönüş	EAV altında	3	3	3	3	3	3
	EAV içinde	0	0	0	0	-	-
	ELV üstünde	0	0	0	0	0	0
Boşaltma	EAV altında	3	3	3	3	3	3
	EAV içinde	0	0	0	0	-	-
	ELV üstünde	0	0	0	0	0	0
Boş dönüş	EAV altında	3	3	3	3	3	3
	EAV içinde	0	0	0	0	-	-
	ELV üstünde	0	0	0	0	0	0

Çizelge 13.11 Çekmekepçe döngü evrelerinde VDV_{Total} değerine göre en kötü durum eksenleri

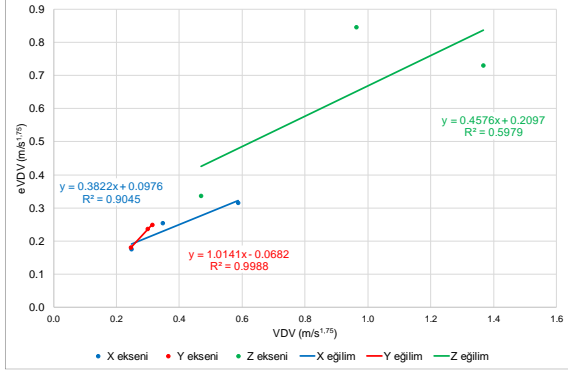
Evre	Çekmekepçe adedi		
	X (Ch1)	Y (Ch2)	Z (Ch3)
Doldurma	-	-	3
Dolu dönüş	-	-	3
Boşaltma	-	-	3
Boş dönüş	-	-	3

Tez çalışması kapsamında tüm çekmekepçelerin kestirilen titreşim dozu değeri ($eVDV$, $m/s^{1.75}$) BS 6841 (1987) standardı uyarınca hesaplanmıştır. Çizelge 13.12'den boşaltma dışındaki çekmekepçe döngü evrelerinin şokların etkisi altında olduğunu göstermektedir. Yine de, VDV ile RMS üzerinden kestirilen $eVDV$ arasındaki ilişkiyi göstermek amacıyla $eVDV$ değerleri hesaplanmıştır. Ancak doruk faktörünün >6 olduğu durumlarda 1,4'lük çarpan kullanılmamıştır. Sonuçta oluşan tabloda, her üç eksen için $VDV - eVDV$ ilişkisi Şekil 13.11a-d'de verilmiştir.

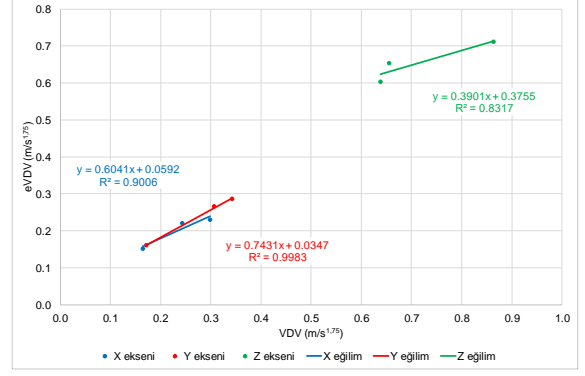
Çekmekepçe operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile VDV_{Total} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 13.12a-d'de sunulmuştur. Her iki ölçütün üst sınırını birlikte aşarak olumsuz sağlık riski sunan çekmekepçe bulunmamaktadır.

Çizelge 13.12 Çekmekepçe evrelerinin doruk faktörü değerleri

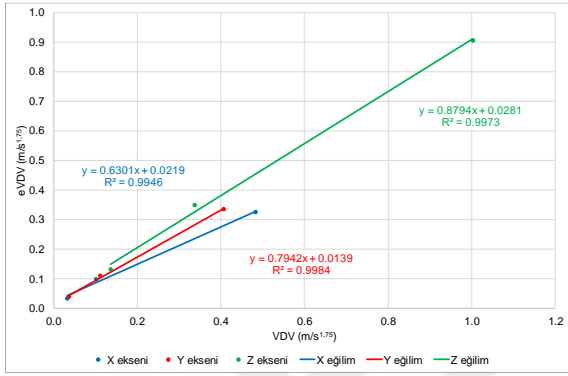
Doruk faktörü	Doldurma			Dolu dönüş		
	VDV_x	VDV_y	VDV_z	VDV_x	VDV_y	VDV_z
≥ 6	3	3	3	3	3	2
< 6	-	-	-	-	-	1
R^2	0,91	1,00	0,60	0,90	1,00	0,83
Doruk faktörü	Boşaltma			Boş dönüş		
	VDV_x	VDV_y	VDV_z	VDV_x	VDV_y	VDV_z
≥ 6	1	1	1	2	2	2
< 6	2	2	2	1	1	1
R^2	1,00	1,00	1,00	0,97	0,85	0,45



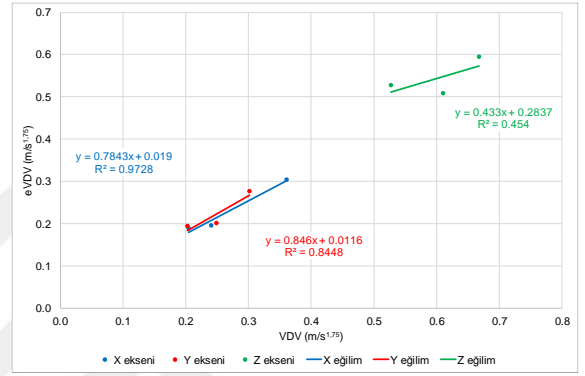
a) Doldurma evresi



b) Dolu dönüş evresi

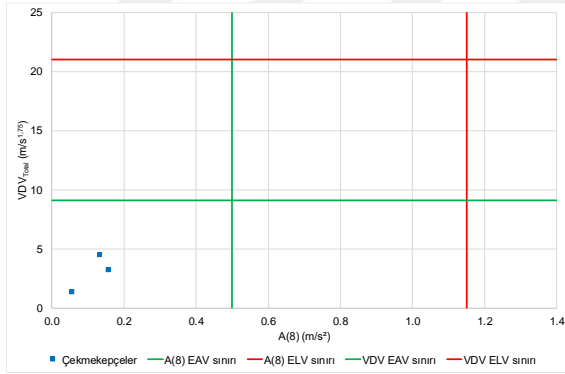


c) Boşaltma evresi

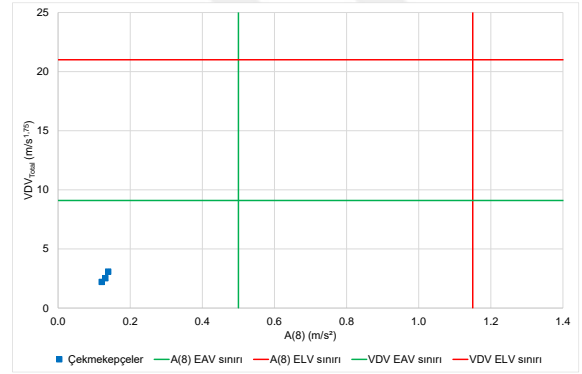


d) Boş dönüş evresi

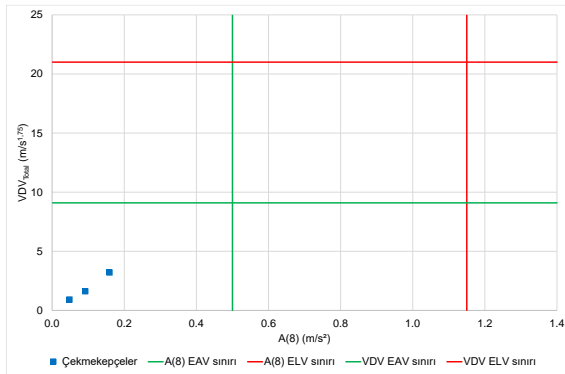
Şekil 13.11 Çekmekepçe evrelerinde VDV – eVDV ilişkisi



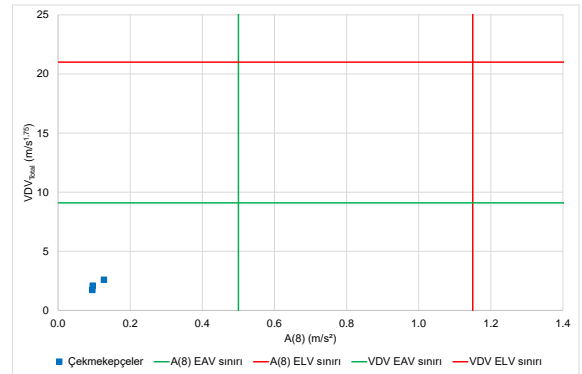
a) Doldurma evresi



b) Dolu dönüş evresi



c) Boşaltma evresi



d) Boş dönüş evresi

Şekil 13.12 Çekmekepçe operatörlerinin evrelerdeki A(8) – VDV_{Total} ilişkisi

13.3.3 Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme

Çekmekepçe operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri kullanılarak hesaplanan S_{ed} değerleri, R(IOP) ve R(TOP) faktörleri Çizelge 13.13'de verilmektedir. Tüm evrelerde her üç risk parametresi değerleri oldukça düşük düzeydedir.

Tüm çekmekepçe operatörleri eşdeğer statik basınç dozu değeri (S_{ed}) ve günlük risk faktörü (R) ölçütlerine göre değerlendirme sonuçları Çizelge 13.14'de verilmektedir. Bütün evrelerde operatörlerin tümü 0,5 MPa'dan düşük basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı düşüktür. Benzer biçimde tüm operatörlerin R faktörü 0,8'den düşük olup sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılıkları da düşüktür. Çekmekepçe operatörlerinin her iki ölçüte göre risk sınırları ile karşılaştırılması Şekil 13.13a-d'de sunulmuştur. Her iki ölçütün üst sınırını birlikte aşarak olumsuz sağlık riski sunan çekmekepçe bulunmamaktadır.

Çekmekepçe operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 13.14a-d'de sunulmuştur. Her iki ölçütün üst sınırını birlikte aşarak olumsuz sağlık riski sunan çekmekepçe bulunmamaktadır.

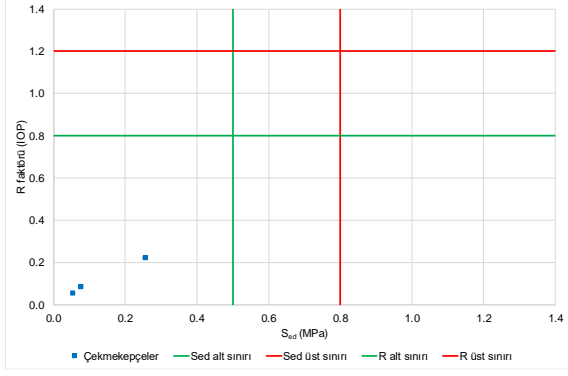
Çekmekepçe operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) VDV_{Total} ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 13.15a-d'de sunulmuştur. Her iki ölçütün üst sınırını birlikte aşarak olumsuz sağlık riski sunan çekmekepçe bulunmamaktadır.

Çizelge 13.13 Çekmekepçe döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörleri

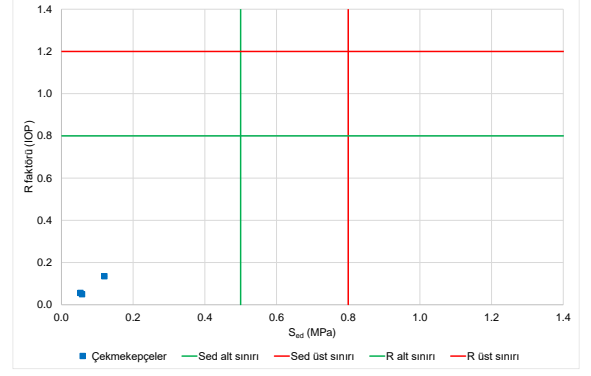
Evre	S_{ed} (MPa)				R(IOP) faktör				R(TOP) faktör			
	Ort.	Std.	En küçük	En büyük	Ort.	Std.	En küçük	En büyük	Ort.	Std.	En küçük	En büyük
Doldurma	0,127	0,089	0,053	0,253	0,122	0,072	0,057	0,222	0,159	0,112	0,066	0,316
Dolu dönüş	0,076	0,030	0,053	0,119	0,081	0,039	0,050	0,135	0,095	0,038	0,066	0,149
Boşaltma	0,056	0,034	0,028	0,105	0,060	0,042	0,030	0,119	0,070	0,043	0,035	0,131
Boş dönüş	0,053	0,012	0,038	0,069	0,055	0,018	0,034	0,078	0,066	0,016	0,048	0,086

Çizelge 13.14 Çekmekepçe döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörüne göre sağlık riski

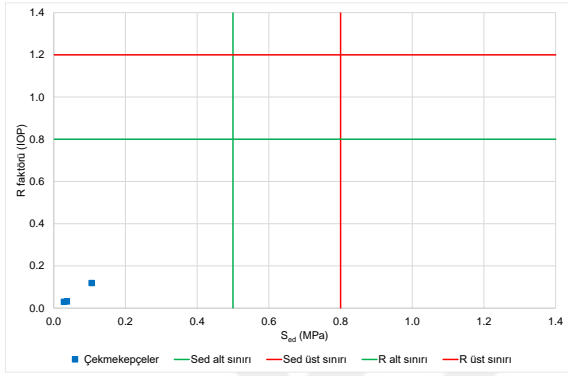
Evre	S_{ed} (MPa)		
	<0,5	0,5 – 0,8	>0,8
Doldurma	3	-	-
Dolu dönüş	3	-	-
Boşaltma	3	-	-
Boş dönüş	3	-	-
Evre	R faktörü		
	<0,8	0,8 – 1,2	>1,2
Doldurma	3	-	-
Dolu dönüş	3	-	-
Boşaltma	3	-	-
Boş dönüş	3	-	-



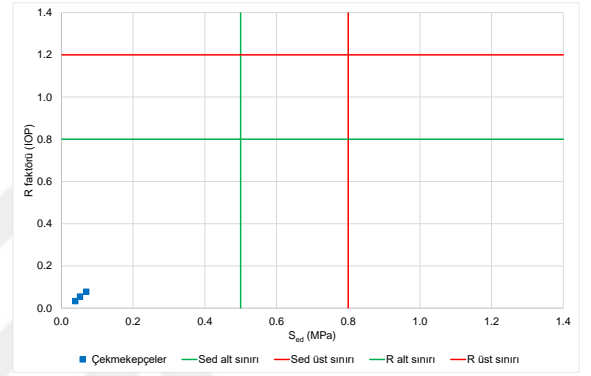
a) Doldurma evresi



b) Dolu dönüş evresi

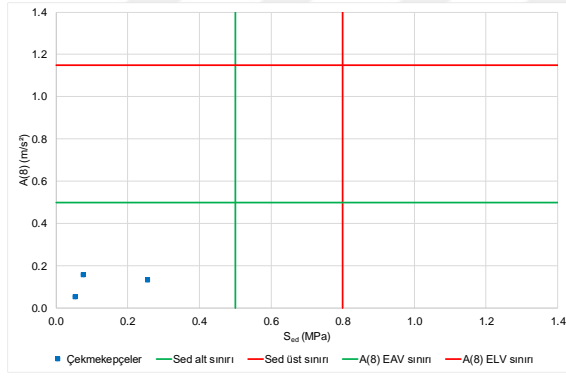


c) Boşaltma evresi

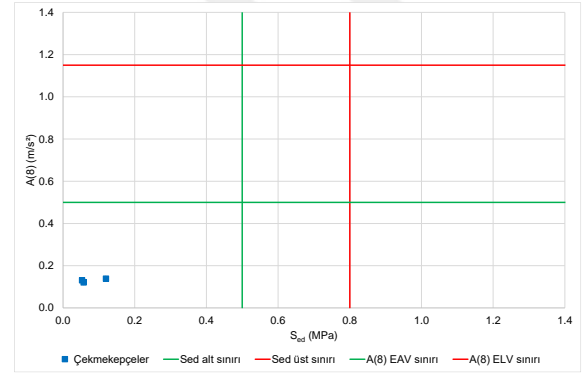


d) Boş dönüş evresi

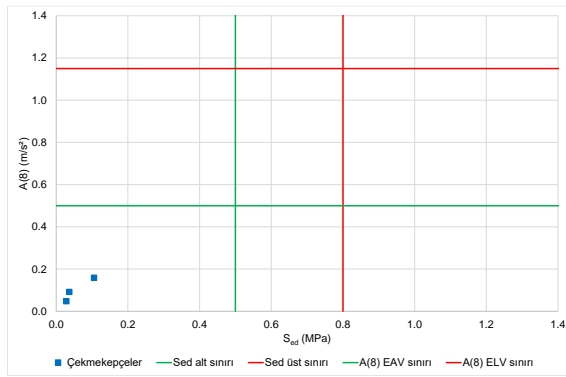
Şekil 13.13 Çekmekeççe operatörlerinin evreler bazında S_{sed} – R faktörü ilişkisi



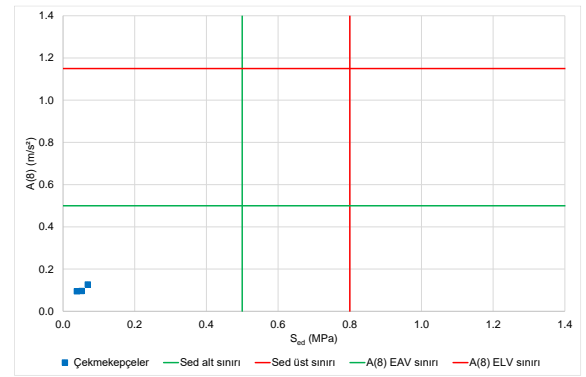
a) Doldurma evresi



b) Dolu dönüş evresi

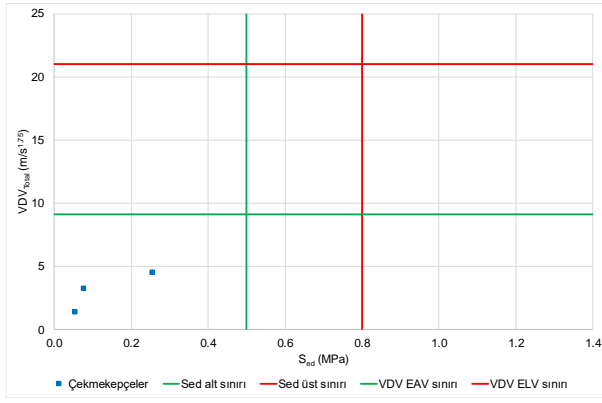


c) Boşaltma evresi

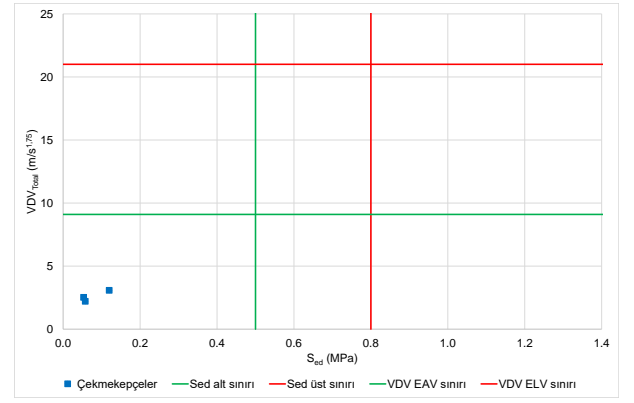


d) Boş dönüş evresi

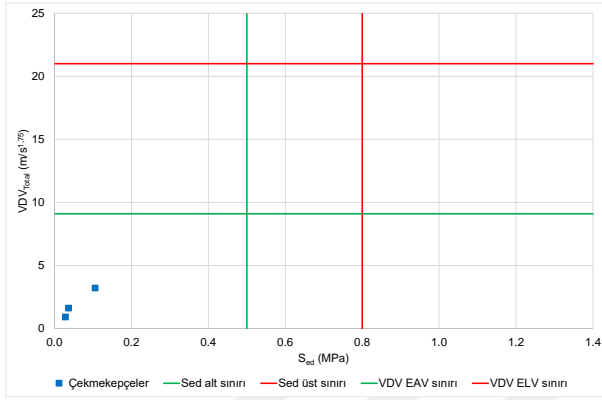
Şekil 13.14 Çekmekeççe operatörlerinin evreler bazında S_{sed} – $A(8)$ ilişkisi



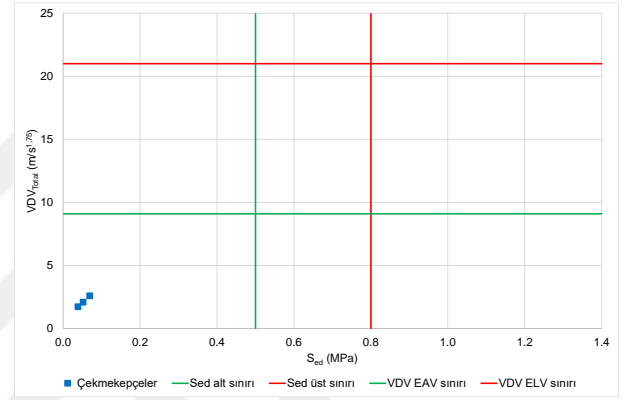
a) Doldurma evresi



b) Dolu dönüş evresi



c) Boşaltma evresi



d) Boş dönüş evresi

Şekil 13.15 Çekmekeççe operatörlerinin evreler bazında S_{ed} – VDV_{Total} ilişkisi

14 DÖNER KEPÇELİ EKSKAVATÖRLERİN TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ ve DEĞERLENDİRİLMESİ

14.1 Genel

Bu çalışma kapsamında aynı tip ve modelde toplam 3 adet DKE'den TVT maruziyeti ölçümleri alınmış ve analiz edilmiştir. DKE çalışma döngüsünde bulunan aşağıdaki evrelerden iş döngüsünü temsil edecek süre boyunca kayıt alınmıştır.

- Tüm kayıt (Whole data); DKE'lerin tipik iş döngüsündeki tüm evreleri kapsayacak biçimde, araç hareketi öncesi ve döngü bitişi sonrası durağan haller de dahil olmak üzere alınan tüm kaydın brüt TVT maruziyetini göstermektedir. Operatörün TVT maruziyeti hesaplarında kullanılmamaktadır.
- Net kayıt (RECORD); DKE'nin tipik iş döngüsündeki tüm evreleri kapsamakta ve bu süredeki TVT maruziyetini göstermektedir. Hareketin başında operatörün koltuğa yerleşme ve hareketin sonunda koltuktan kalkma çabaları sırasında koltuk üzerindeki disk tipi ivmeölçer ile kabin zeminindeki ivmeölçere şok etkilerinden kaynaklanabilen çok yüksek titreşim ivmeleri ayıklanarak, analizlerden çıkartılmaktadır. Operatörün genel TVT maruziyetini temsil etmekte ve hesaplarda kullanılmaktadır.
- Kazı (DIG); Kazı işlemi gerçekleştirilirken maruz kalınan titreşim kaydedilmektedir.
- İleri yürüme (FORWARD); DKE'nin diğer bir aynaya doğru ilerleme hareketi yaparken maruz kalınan titreşimi temsil etmek için kaydedilmektedir.

DKE'lerin hepsi aynı model olup 1750 L kova kapasitesine sahiptir. Çizelge 14.1'de TVT ölçümü alınan DKE'lerin işletmelere dağılımı ile temel çalışma özellikleri verilmiştir.

Çizelge 14.1 DKE'lerin temel bilgileri

İşletme	DKE	Hizmete giriş	Malzeme sınıfı	Çalışma kütlesi (ton)	Kova kapasite (L)
Kömür işletmesi	No_185	1981	Kil_ıslak	3115	1750
Kömür işletmesi	No_191	1981	Kil_ıslak	3115	1750
Kömür işletmesi	No_196	1981	Konglomera_toprak_kuru	3115	1750

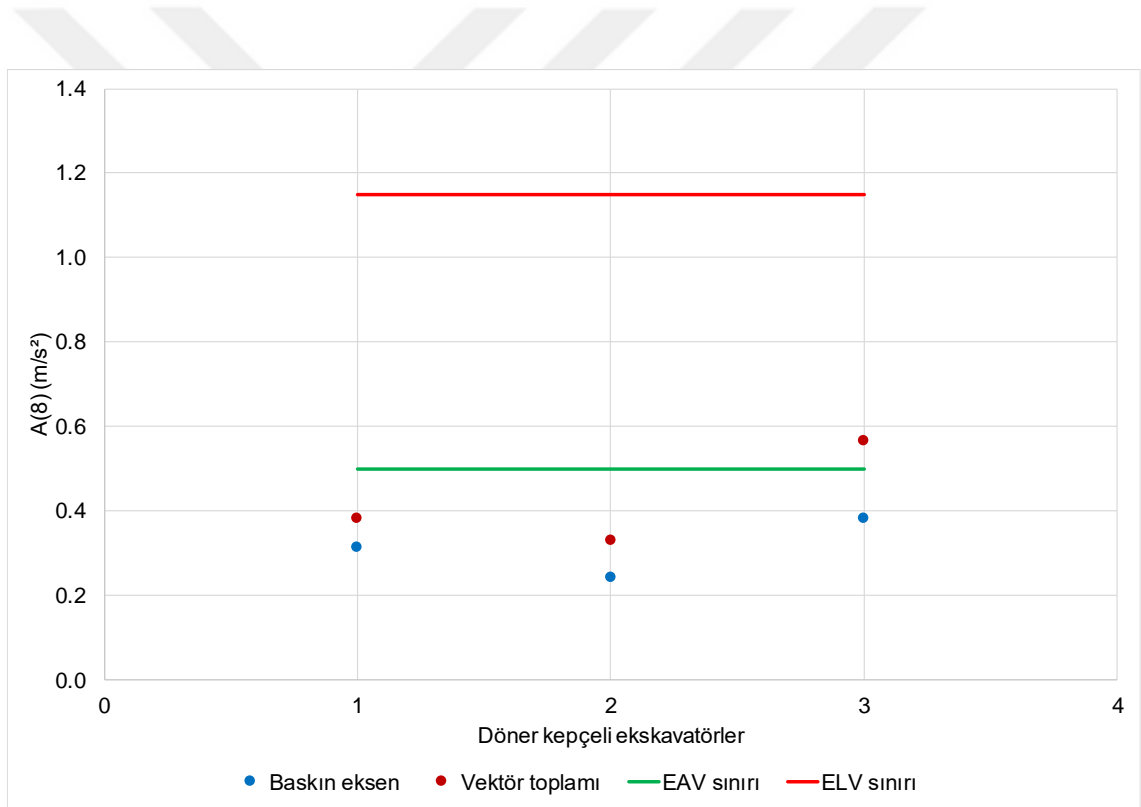
DKE'lerin TVT maruziyeti ölçümleri, üç adedi koltuktan (Seat_x, Seat_y, Seat_z), üç adedi de kabin zemininden (Floor_x, Floor_y, Floor_z) olmak üzere toplam altı kanaldan, aracın bir tam çevrimini kapsayacak biçimde gerçekleştirilmiştir. Titreşim analizörü ile frekans ağırlıklı ivme (a_w), titreşim dozu (VDV), maksimum geçici titreşim değeri (MTVV), tepe titreşim ivmesi (PEAK) ve tepe-tepe titreşim ivmesi (P-P) ölçülerek, değerlendirilmiştir. Kayıt süreleri 16 dakika 03 saniye ile 41 dakika 35 saniye arasında değişmiştir. ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca TVT maruziyeti değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılan parametrelerin değerleri, koltuk ve zemin hesaplanmıştır.

14.2 Net Kayıt (RECORD) Evresi

14.2.1 Titreşim ivmesi üzerinden değerlendirme

DKE'lerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $A(8)_{\text{Seat}}$, ortalama ve standart sapması $(0,312 \pm 0,058)$ m/s² olacak biçimde 0,241 m/s² ile 0,382 m/s² arasında değişmiştir. Diğer yandan DKE'lerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde Vector_{1-3} , ortalama ve standart sapması $(0,426 \pm 0,101)$ m/s² olacak biçimde 0,331 m/s² ile 0,566 m/s² arasında değişmiştir.

En yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum eksenini her 3 DKE'de de Z (Ch3) olmuştur. Tüm DKE'lerin en kötü durum eksenini ve vektör toplamı ölçütlerine göre $A(8)_{\text{Seat}}$ değerlerinin EAV ve ELV sınırları ile karşılaştırılması Şekil 14.1'de sunulmuştur.



Şekil 14.1 DKE'lerin A(8) değerleri

DKE'lerin EU 2002/44/EC direktifi ve ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum ölçütü dikkate alındığında araçların tümünün EAV ve HGCZ sınırları (dikkat bölgesi) altında olduğu görülmektedir (Çizelge 14.2). Vektör toplamı ölçütüne göre ise 1 DKE, EAV ve HGCZ dikkat bölgesine geçmekte ancak hiçbir DKE ELV sınırını aşmamaktadır.

Çizelge 14.2 DKE operatörlerinin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi

Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		Bölge	ISO2631-1 HGCZ Bölgesi	
	EKDE	VT	EKDE	VT		EKDE	VT
EAV altında	3	2	3	2	HGCZ altında	3	2
EAV içinde	0	1	0	1	HGCZ içinde	0	1
ELV üstünde	0	0	0	0	HGCZ üstünde	0	0

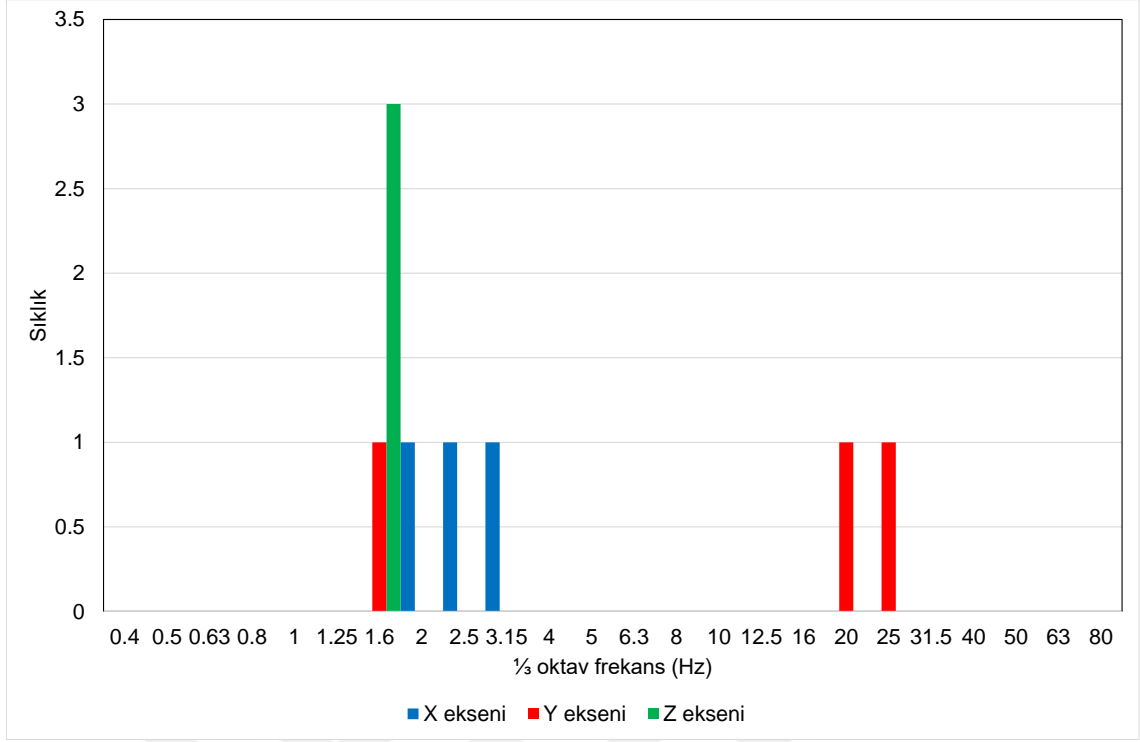
DKE'lerin maruziyet eylem değerine erişim süresi ($EAV_{TT(RMS)}$), en kötü durum eksenini üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması ($22:48:30 \pm 08:38:55$) sa olacak biçimde $13:42:21$ sa ile $34:26:05$ sa arasında değişmiştir. Diğer yandan DKElerin maruziyet sınır değerine erişim süresi ($ELV_{TT(RMS)}$), en kötü durum eksenini üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması ($120:39:23 \pm 45:45:05$) sa olacak biçimde $72:30:13$ sa ile $182:09:34$ sa arasında değişmiştir. Bu durumda 3 DKE'den hiçbirisi operatörleri 8 saatlik vardiya süresi bitmeden maruziyet eylem ve maruziyet sınır değerine ulaştıracak kadar titreşime maruz bırakmamaktadır.

Net kayıt evresinde operatör koltuğunda X, Y ve en kötü durum Z ekseninde sırasıyla 2, 1 ve 3 DKE'nin doruk faktörü 9'dan büyük çıkmıştır. En kötü durum Z eksenini göz önüne alındığında DKE çalışması, operatör kabinine şok içeren titreşim iletmektedir.

Doruk faktörü	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	8,526	7,796	12,104
En büyük	24,775	22,577	18,752
Ortalama	17,742	12,737	15,919
Standart sapma	6,811	6,958	2,802
≥ 9	2	1	3
< 9	1	2	0

DKE operatörlerinin her üç ekseninde maruz kaldığı TVT ivmesine ait frekans spektrumu $\frac{1}{3}$ oktav bant dağılımı ile Şekil 14.2'de verilmiştir. 0,4 Hz ile 80 Hz arasındaki merkez bant frekanslarına göre yatay düzlemdeki ortogonal eksenler boyunca oluşan titreşim; X ekseninde 2 Hz - 3,15 Hz, Y ekseninde 1,6 Hz - 25 Hz arasında, dikey doğrultudaki Z ekseninde ise 1,6 Hz'dedir.

Operatör koltuğunun titreşim sönümlenme özelliğini gösteren koltuk etkinliği genlik geçirgenliği (SEAT) faktörü X eksenini için 0,967 ile 1,600 arasında, Y eksenini için 0,884 ile 1,442 arasında ve Z eksenini için 0,777 ile 1,142 arasında değişmiştir. Her üç ekseninde de zeminde oluşan titreşim DKE'lerin bir kısmında koltukta sönümlenirken, bir kısmında şiddetlenmiştir. Zemindeki titreşim X, Y ve Z eksenlerinde 1 DKE'de koltukta sönümlenirken 2 DKE'de şiddetlenmiştir. Operatör koltuğunun titreşim sönümlenme yeteneği zayıftır.



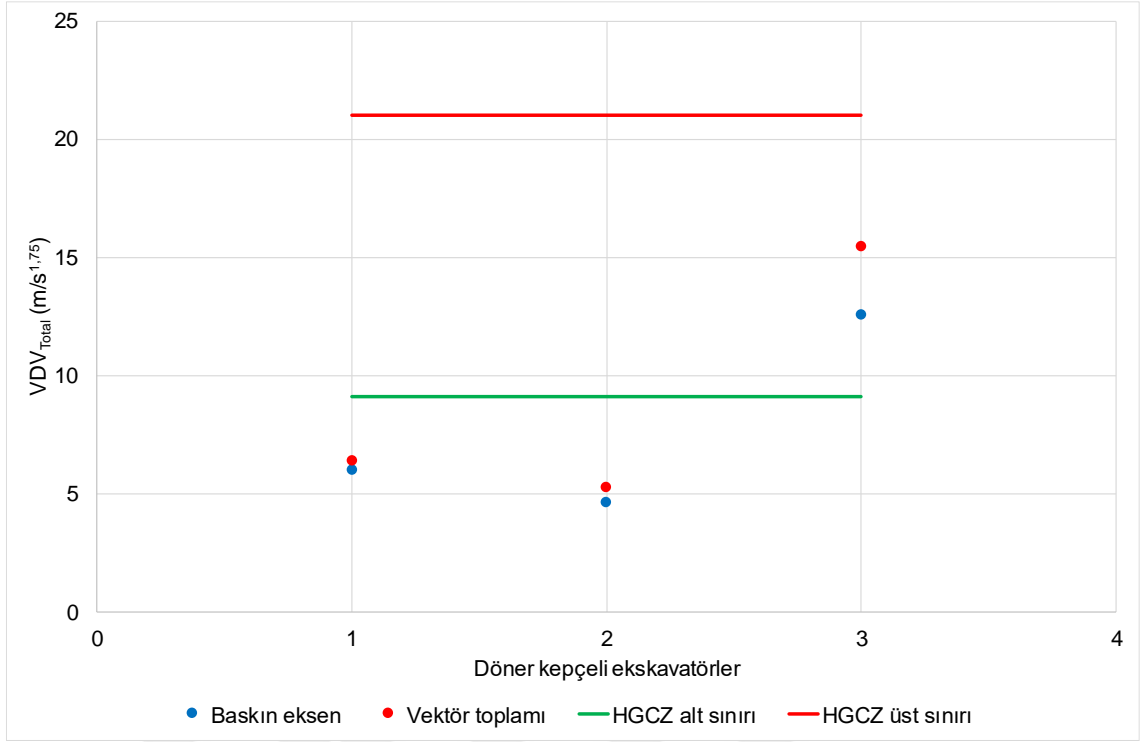
Şekil 14.2 DKE'lerin A(8) değerlerinin 1/3 oktav baskın frekansları

14.2.2 Titreşim dozu üzerinden değerlendirme

DKE'lerin operatör koltuğunda ölçülen TVT dozu değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde VDV_{Total} , ortalama ve standart sapması $(7,715 \pm 3,463) m/s^{1.75}$ olacak biçimde $4,623 m/s^{1.75}$ ile $12,551 m/s^{1.75}$ arasında değişmiştir. Diğer yandan DKE'lerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $Vector_{1-3}$, ortalama ve standart sapması $(9,028 \pm 4,557) m/s^{1.75}$ olacak biçimde $5,245 m/s^{1.75}$ ile $15,439 m/s^{1.75}$ arasında değişmiştir.

En yüksek titreşim dozu kaydedilen en kötü durum eksenini 1 DKE'de X (Ch1), 2 DKE'de ise Z (Ch3) olmuştur. Tüm DKE'lerin en kötü durum eksenini ve vektör toplamı ölçütlerine göre VDV_{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması Şekil 14.3'de sunulmuştur.

DKE'lerin BS 6841 (1987), ISO 2631-1 (1997) standartları ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum ve vektör toplamı ölçütleri dikkate alındığında araçların büyük bölümünün EAV sınırı altında, 1 adedinin ise EAV bölgesi içinde olduğu görülmektedir. BS 6841 (1987) standardı uyarınca değerlendirme yapıldığında tehlike sınırı olan $15 m/s^{1.75}$ altında 2 ve üzerinde 1 DKE bulunmaktadır (Çizelge 14.3).

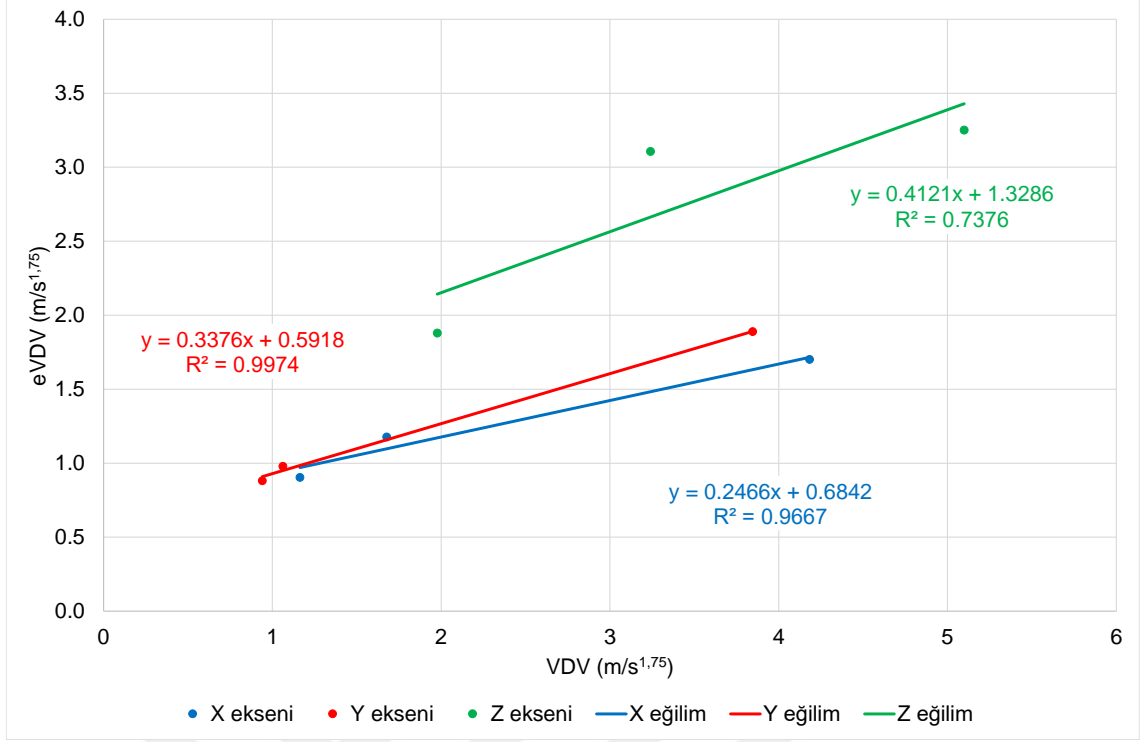


Şekil 14.3 DKE'lerin VDV_{Total} değerleri

Çizelge 14.3 DKE operatörlerinin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi

Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)	
	EKDE	VT	EKDE	VT	EKDE	VT
EAV altında	2	2	2	2	3	2
EAV içinde	1	1	1	1	-	-
ELV üstünde	0	0	0	0	0	1

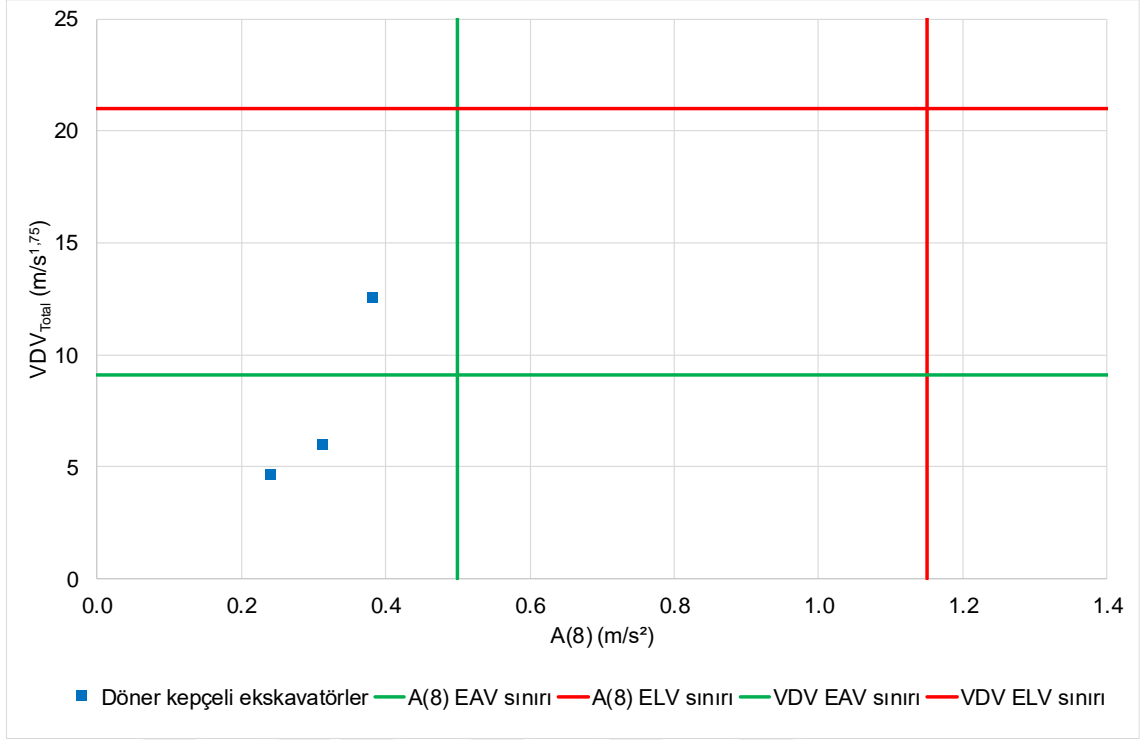
Tez çalışması kapsamında BS 6841 (1987) standardı uyarınca, kestirilen titreşim dozu değeri de (eVDV, m/s^{1.75}) hesaplanmıştır. Standartta eVDV kestirimi için verilen formülün şoklar, tekrarlı şoklar ve geçici titreşimler için uygun olmadığı ve doruk faktörünün (PEAK/RMS) ≤6 olduğu durumlarda doğru sonuç vereceği ifade edilmektedir. Çalışmada örneklenen 3 adet DKE'nin tümünde X, Y ve Z ekseninde doruk faktörü 6'dan büyük çıkmıştır. Bu durum DKE operasyonlarında şokların etkisinin olduğunu göstermektedir. Yine de, VDV ile RMS üzerinden kestirilen eVDV arasındaki ilişkiyi göstermek amacıyla eVDV değerleri hesaplanmıştır. Ancak doruk faktörünün >6 olduğu durumlarda 1,4'lük çarpan kullanılmamıştır. Her üç eksen için VDV – eVDV ilişkisi Şekil 14.4'de verilmiştir. Her üç veri grubu için doğrusal regresyon analizi yapılmış olup, belirlilik katsayıları %73,76 ile %99,74 arasında değişmekte ve regresyon eşitliğinin güçlü olduğuna işaret etmektedir.



Şekil 14.4 DKE'lerin VDV – eVDV ilişkisi

DKE'lerin maruziyet eylem değerine erişim süresi ($EAV_{TT(VDV)}$), en kötü durum eksenı üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması ($55:08:19 \pm 48:51:46$) sa olacak biçimde $02:12:39$ sa ile $120:04:40$ sa arasında değişmiştir. Diğer yandan DKE'lerin maruziyet sınır değerine erişim süresi ($ELV_{TT(VDV)}$), en kötü durum eksenı üzerinden hesaplandığında ortalama ve standart sapması ($1563:45:05 \pm 1385:46:01$) sa olacak biçimde $62:41:48$ sa ile $3405:26:54$ sa arasında değişmiştir. Bu durumda DKE'lerin 1 adedi vardiya bitmeden operatörü maruziyet eylem değerine eriştirirken hiçbirisi maruziyet sınır değerine eriştirmemektedir.

DKE operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ve VDV_{total} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 14.5'de sunulmuştur. Her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan DKE bulunmamaktadır.



Şekil 14.5 DKE operatörlerinin A(8) – VDV_{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki

14.2.3 Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden değerlendirme

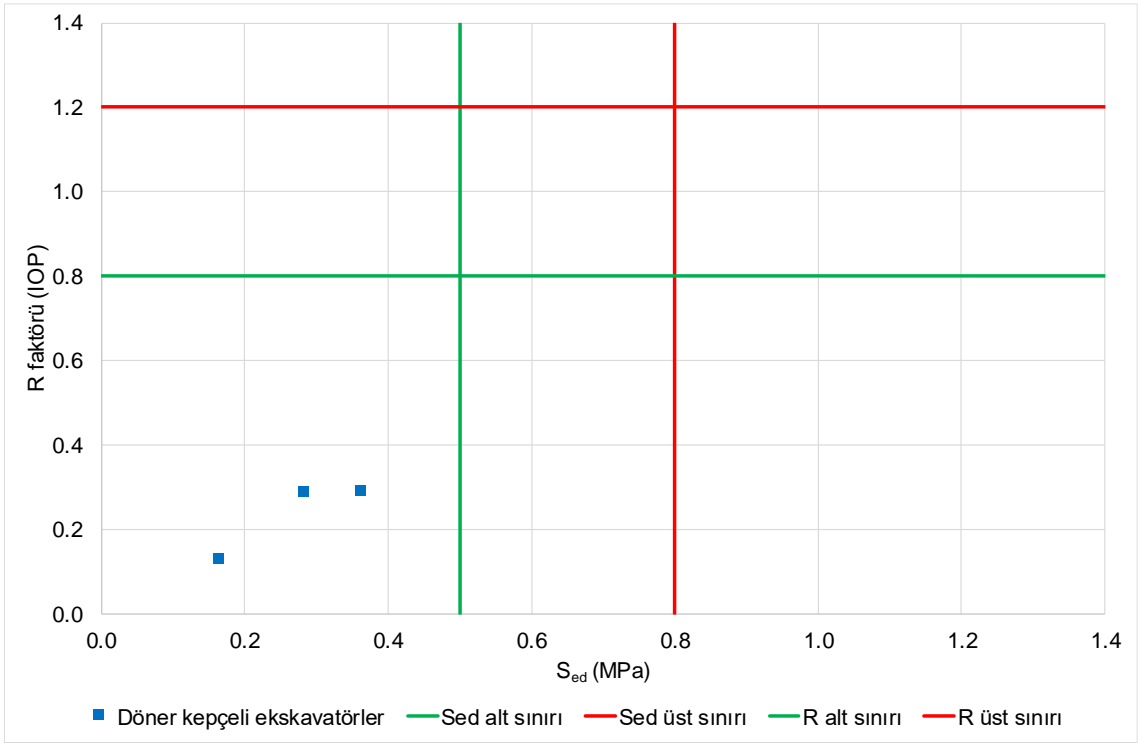
DKE'nin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri kullanılarak hesaplanan S_{ed} değerleri ortalama ve standart sapması $(0,268 \pm 0,081)$ MPa olacak biçimde 0,163 MPa ile 0,360 MPa arasında değişmiştir. Diğer yandan DKE operatörlerinin R(IOP) faktörleri, ortalama ve standart sapması $(0,237 \pm 0,076)$ olacak biçimde 0,129 ile 0,292 arasında, R(TOP) faktörleri ortalama ve standart sapması $(0,335 \pm 0,101)$ olacak biçimde 0,204 ile 0,450 arasında değişmiştir.

Tüm DKE operatörleri eşdeğer statik basınç dozu değeri (S_{ed}) ölçütüne göre değerlendirildiğinde; her 3 operatör de 0,5 MPa'dan düşük basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı düşüktür.

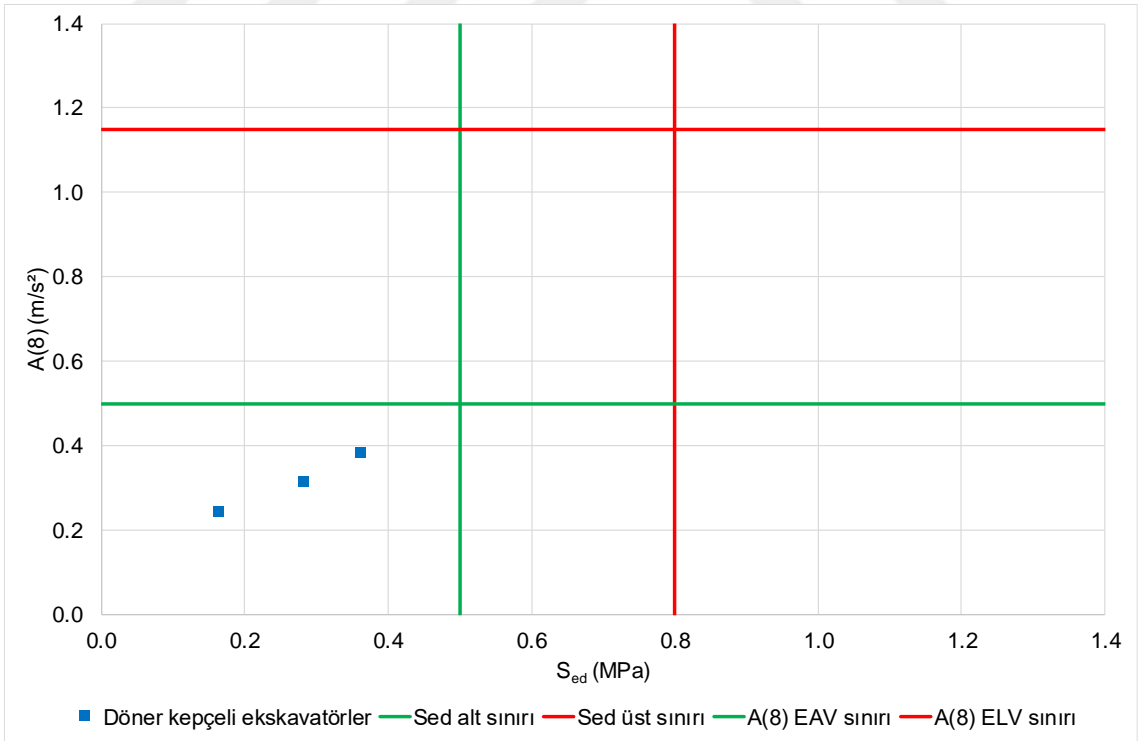
DKE operatörleri günlük risk faktörü ölçütüne göre değerlendirildiğinde; yine, 3 operatörün de R faktörü 0,8'den düşük olup sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığı düşüktür. DKE operatörlerinin her iki ölçüte göre risk sınırları ile karşılaştırılması Şekil 14.6'da sunulmuştur. Her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan DKE bulunmamaktadır.

DKE operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ve ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 14.7'de sunulmuştur. Her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan DKE bulunmamaktadır.

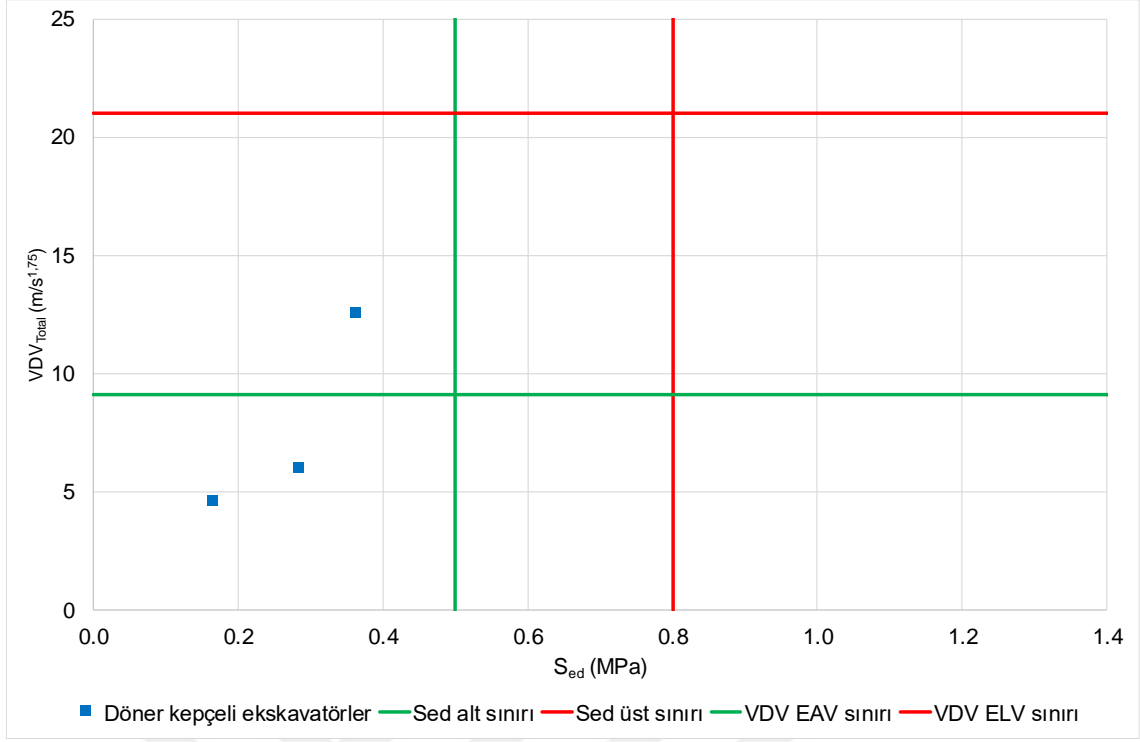
DKE operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) VDV_{Total} ve ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 14.8'de sunulmuştur. Her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan DKE bulunmamaktadır.



Şekil 14.6 DKE operatörlerinin S_{ed} – R faktörü ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki



Şekil 14.7 DKE operatörlerinin S_{ed} – A(8) ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki



Şekil 14.8 DKE operatörlerinin S_{ed} – VDV_{Total} ile öngörülen sağlık riski arasındaki ilişki

14.3 Evrelerin Değerlendirilmesi

14.3.1 Titreşim ivmesi üzerinden tüm evrelerin değerlendirilmesi

DKE'lerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri baskın eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $A(8)_{Seat}$ ve operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde $Vector_{1-3}$, EAV ve ELV değerleri Çizelge 14.4'de verilmektedir. Benzer maruziyet düzeyleri söz konusudur. Tüm DKE'lerin en kötü durum eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre $A(8)_{Seat}$ değerlerinin EAV ve ELV sınırları ile karşılaştırılması Şekil 14.9a-b'de sunulmuştur.

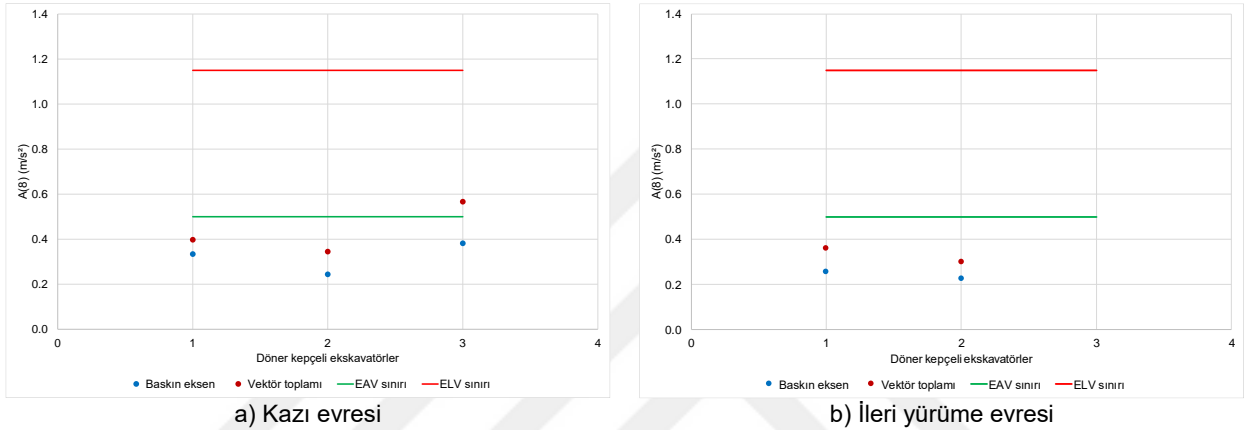
DKE'lerin EU 2002/44/EC direktifi ve ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum ölçütü dikkate alındığında araçların tümünün EAV ve HGCZ sınırları (dikkat bölgesi) altında olduğu görülmektedir (Çizelge 14.5). Vektör toplamı ölçütüne göre ise kazı evresinde 1 DKE EAV bölgesine geçmiştir.

Çizelge 14.6'da tüm evrelerde en yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum eksen değerleri verilmektedir. En kötü durum eksen Z eksen (Ch3) olmuştur.

Çizelge 14.7'de eksenler ve evreler bazında doruk faktörü değerleri verilmektedir. Doruk faktörü, ileri yürüme evresinde operatör koltuğunda tüm eksenlerde 9'dan küçük çıkmıştır. Bu evrede şok titreşim bulunmamaktadır. Ancak kazı evresinde X ve en kötü durum Z eksenlerinde 2 adet DKE'nin doruk faktörü 9'dan büyüktür. Bu evrede yüksek genlikli titreşim düzeyleri bulunmaktadır.

Çizelge 14.4 DKE döngü evrelerinde titreşim ivmesi parametreleri

Evre	A(8) (m/s ²)				Vektör ₁₋₃ (m/s ²)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Kazı	0,320	0,057	0,224	0,382	0,436	0,095	0,345	0,566
İleri yürüme	0,242	0,016	0,226	0,257	0,330	0,030	0,300	0,360
Evre	EAV _{TT(RMS)} (sa)				ELV _{TT(RMS)} (sa)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Kazı	21:44:33	08:33:19	13:42:21	>24	>24	>24	>24	>24
İleri yürüme	>24	04:26:18	>24	>24	>24	23:28:45	>24	>24



Şekil 14.9 DKE evrelerinde A(8) değerleri

Çizelge 14.5 DKE döngü evrelerinde operatörlerin A(8) değerine göre sağlık riski bölgesi

Evre	Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		Bölge	ISO2631-1 HGCZ Bölgesi	
		EKDE	VT	EKDE	VT		EKDE	VT
Kazı	EAV altında	3	2	3	2	HGCZ altında	3	2
	EAV içinde	0	1	0	1	HGCZ içinde	0	1
	ELV üstünde	0	0	0	0	HGCZ üstünde	0	0
İleri yürüme	EAV altında	2	2	2	2	HGCZ altında	2	2
	EAV içinde	0	0	0	0	HGCZ içinde	0	0
	ELV üstünde	0	0	0	0	HGCZ üstünde	0	0

Çizelge 14.6 DKE döngü evrelerinde A(8) değerine göre en kötü durum eksenleri

Evre	DKE adedi		
	X (Ch1)	Y (Ch2)	Z (Ch3)
Kazı	-	-	3
İleri yürüme	-	-	2

Sürücü koltuğunun titreşim sönümlenme özelliğini gösteren SEAT faktörünün evreler bazındaki değerleri Çizelge 14.8'de verilmiştir. Her iki evrede, her üç ekseninde de zeminde oluşan titreşim

DKE'lerin bir kısmında koltukta sönümlenirken, bir kısmında şiddetlenmiştir. Operatör koltuğunun titreşim sönümlenme yeteneği zayıftır.

Çizelge 14.7 DKE döngü evrelerinde titreşim ivmesi doruk faktörleri

Doruk faktörü	Kazı			İleri yürüme		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	7,787	7,403	7,205	5,990	4,864	5,080
En büyük	24,775	22,577	17,629	6,167	6,017	5,249
Ortalama	17,496	12,633	13,912	6,078	5,441	5,164
Std. sapma	7,145	7,034	4,752	0,089	0,577	0,085
≥9	2	1	2	0	0	0
<9	1	2	1	2	2	2

Çizelge 14.8 DKE döngü evrelerinde titreşim ivmesi SEAT faktörleri

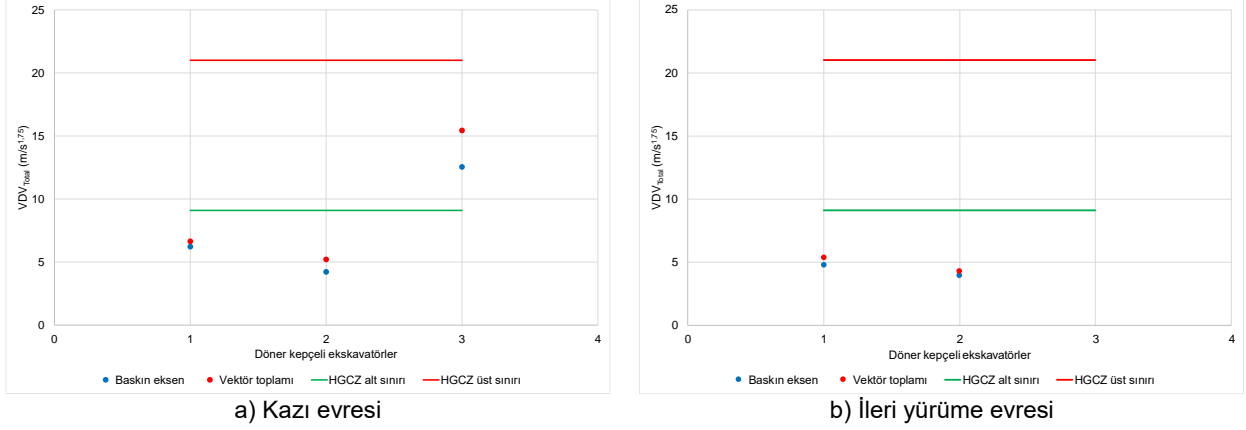
SEAT faktörü	Kazı			İleri yürüme		
	Seat _x	Seat _y	Seat _z	Seat _x	Seat _y	Seat _z
En küçük	0,975	0,852	0,753	0,932	1,000	0,771
En büyük	1,600	1,442	1,148	1,247	1,157	1,103
<1	1	1	1	1	1	1
≥1	2	2	2	1	1	1

14.3.2 Titreşim dozu üzerinden tüm evrelerin değerlendirilmesi

DKE'lerin operatör koltuğunda ölçülen TVT dozu değerleri en kötü eksen üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde VDV_{Total} ve BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektörel toplam üzerinden günlük eşdeğerine dönüştürüldüğünde Vector₁₋₃, EAV ve ELV değerleri Çizelge 14.9'da verilmektedir. Kazı evresinde maruz kalınan titreşim dozu belirgin biçimde yüksektir. DKE'lerin en kötü durum eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre VDV_{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması Şekil 14.10a-b'de sunulmuştur.

Çizelge 14.9 DKE döngü evrelerinde titreşim dozu parametreleri

Evre	VDV _{Total} (m/s ^{1,75})				Vektör ₁₋₃ (m/s ^{1,75})			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Kazı	7,665	3,550	4,222	12,551	9,097	4,552	5,210	15,439
İ yürüme	4,344	0,418	3,926	4,763	4,826	0,554	4,272	5,380
Evre	EAV _{TT(VDV)} (sa)				ELV _{TT(VDV)} (sa)			
	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart sapma	En küçük	En büyük
Kazı	>24	>24	02:12:39	>24	>24	>24	>24	>24
İ yürüme	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24	>24



Şekil 14.10 DKE evrelerinde VDV_{Total} değerlerinin HGCZ sınırları ile karşılaştırılması

DKE'lerin BS 6841 (1987), ISO 2631-1 (1997) standartları ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) uyarınca EAV ve ELV sınırları incelendiğinde, en kötü durum ölçütü dikkate alındığında araçların büyük bölümü EAV sınırı altında, 1 adedi EAV bölgesi içindedir (Çizelge 14.10). Vektör toplamı açısından değerlendirme yapıldığında da ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC direktifi (2002) ölçütlerine göre EAV ile ELV bölgeleri arasında geçiş yoktur. Ancak daha koruyucu olan BS 6841 (1987) standardına göre 1 DKE, riskli bölgeye geçmiştir.

Çizelge 14.11'de tüm evrelerde en yüksek titreşim kaydedilen en kötü durum eksenleri verilmektedir. Hemen tüm DKE'lerde kötü durum eksenini Z (Ch3) olmuştur.

Çizelge 14.10 DKE döngü evrelerinde operatörlerin VDV_{Total} değerine göre sağlık riski bölgesi

Evre	Bölge	EU 2002/44/EC		ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)	
		EKDE	VT	EKDE	VT	EKDE	VT
Kazı	EAV altında	2	2	2	2	3	2
	EAV içinde	1	1	1	1	-	-
	ELV üstünde	0	0	0	0	0	1
İleri yürüme	EAV altında	2	2	2	2	2	2
	EAV içinde	0	0	0	0	-	-
	ELV üstünde	0	0	0	0	0	0

Çizelge 14.11 DKE döngü evrelerinde VDV_{Total} değerine göre en kötü durum eksenleri

Evre	DKE adedi		
	X (Ch1)	Y (Ch2)	Z (Ch3)
Kazı	1	-	2
İleri yürüme	-	-	2

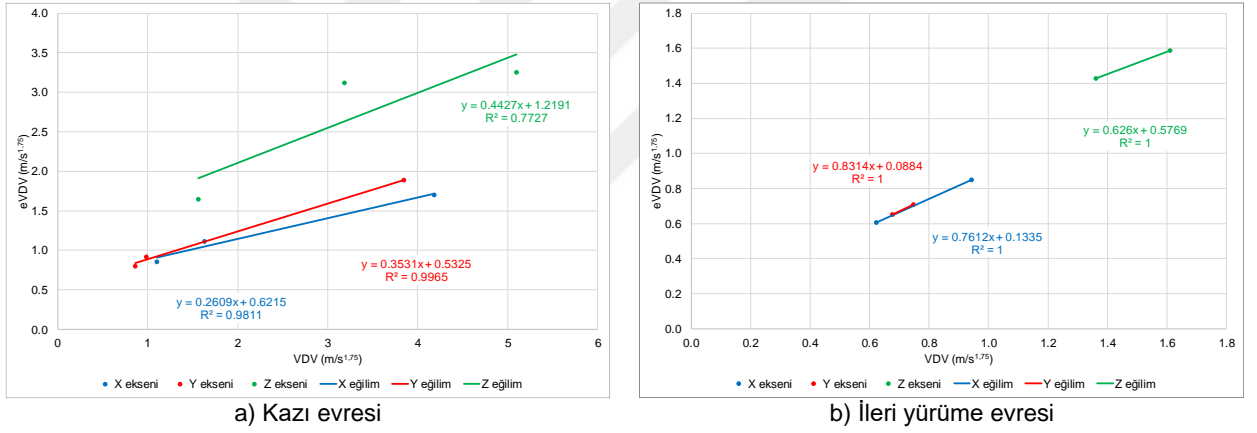
Tez çalışması kapsamında BS 6841 (1987) standardı uyarınca tüm DKE'lerin kestirilen titreşim dozu değeri de ($eVDV$, $m/s^{1.75}$) hesaplanmıştır. Standartta $eVDV$ kestirimi için verilen formülün şoklar, tekrarlı şoklar ve geçici titreşimler için uygun olmadığı ve doruk faktörünün (PEAK/RMS)

≤6 olduğu durumlarda doğru sonuç vereceği ifade edilmektedir. Çizelge 14.12 DKE operasyonlarında şokların büyük etkisinin bulunduğunu göstermektedir. Yine de, VDV ile RMS üzerinden kestirilen eVDV arasındaki ilişkiyi göstermek amacıyla eVDV değerleri hesaplanmıştır. Ancak doruk faktörünün >6 olduğu durumlarda 1,4'lük çarpan kullanılmamıştır. Sonuçta oluşan tabloda, her üç eksen için VDV – eVDV ilişkisi Şekil 14.11a-b'de verilmiştir.

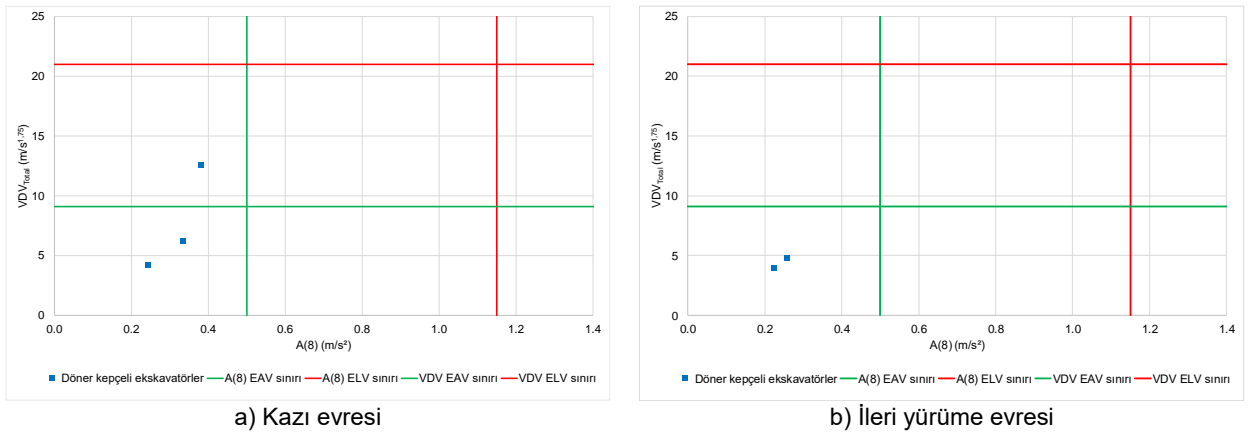
DKE operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile VDV_{total} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 14.12a-b'de sunulmuştur. Her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan DKE bulunmamaktadır.

Çizelge 14.12 DKE evrelerinin doruk faktörü değerleri

Doruk faktörü	Kazı			İleri yürüme		
	VDV_x	VDV_y	VDV_z	VDV_x	VDV_y	VDV_z
≥6	3	3	3	1	1	-
<6	-	-	-	1	1	2
R^2	0,98	1,00	0,77	1,00	1,00	1,00



Şekil 14.11 DKE evrelerinde VDV – eVDV ilişkisi



Şekil 14.12 DKE operatörlerinin evrelerdeki A(8) – VDV_{Total} ilişkisi

14.3.3 Titreşim ivmesine vücut tepkisi üzerinden tüm evrelerin değerlendirilmesi

DKE'lerin operatör koltuğunda ölçülen TVT ivmesi değerleri kullanılarak hesaplanan S_{ed} değerleri, R(IOP) ve R(TOP) faktörleri Çizelge 14.13'de verilmektedir. Kazı evresi, ileri yürüme evresine göre oldukça yüksek basınç ve risk faktörü değerlerine sahip olup, risk bölgesine daha yakındır.

Tüm DKE operatörlerinin eşdeğer statik basınç dozu değeri (S_{ed}) ölçütüne göre değerlendirildiği sonuçlar Çizelge 14.14'de verilmektedir. Tüm evrelerde operatörler 0,5 MPa'dan düşük basınca maruz kalmakta olup titreşim kaynaklı olumsuz sağlık etkisi olasılığı düşüktür. Benzer şekilde, operatörlerin tümünün R faktörü de 0,8'den düşük olup sağlık açısından olumsuz etkilenme olasılığı düşüktür. DKE operatörlerinin her iki ölçüte göre risk sınırları ile karşılaştırılması Şekil 14.13a-b'de sunulmuştur. Her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan DKE bulunmamaktadır.

Çizelge 14.13 DKE döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörleri

Evre	S_{ed} (MPa)				R(IOP) faktör				R(TOP) faktör			
	Ort.	Std. sapma	En küçük	En büyük	Ort.	Std. sapma	En küçük	En büyük	Ort.	Std. sapma	En küçük	En büyük
Kazı	0,254	0,106	0,109	0,360	0,226	0,099	0,086	0,301	0,317	0,133	0,136	0,450
İleri yürüme	0,081	0,007	0,074	0,089	0,075	0,017	0,058	0,091	0,102	0,009	0,093	0,111

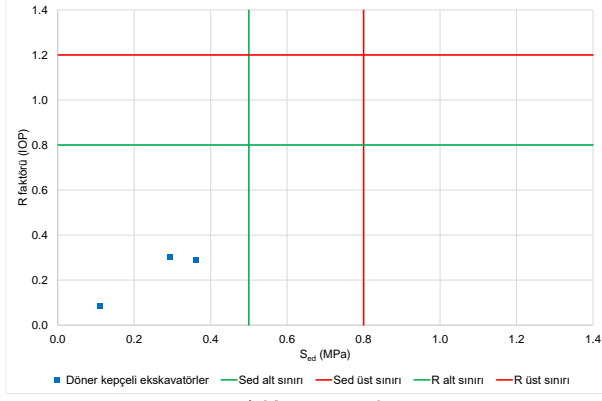
Çizelge 14.14 DKE döngü evrelerinde operatörlerin S_{ed} ve R faktörüne göre sağlık riski

Evre	S_{ed} (MPa)		
	<0,5	0,5 – 0,8	>0,8
Kazı	3	-	-
İleri yürüme	2	-	-

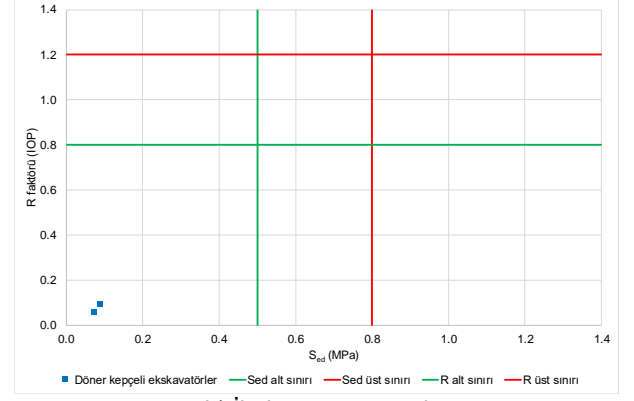
Evre	R faktörü		
	<0,8	0,8 – 1,2	>1,2
Kazı	3	-	-
İleri yürüme	2	-	-

DKE operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) A(8) ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 14.14a-b'de sunulmuştur. Her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan DKE bulunmamaktadır.

DKE operatörlerinin ISO 2631-1 (1997) VDV_{Total} ile ISO 2631-5 (2004) S_{ed} ölçütlerine göre birlikte karşılaştırılması Şekil 14.15a-b'de sunulmuştur. Her iki ölçütün üst sınırını aşarak olumsuz sağlık riski sunan DKE bulunmamaktadır.

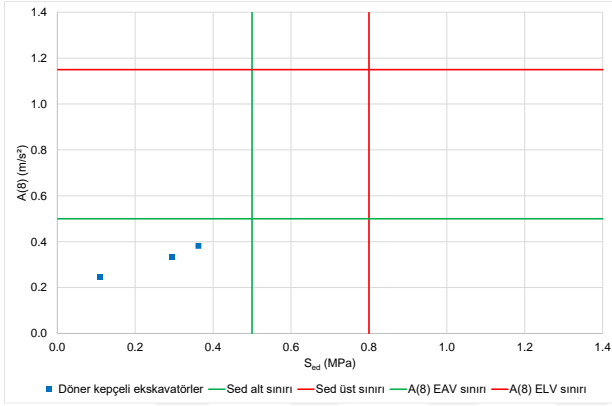


a) Kazı evresi

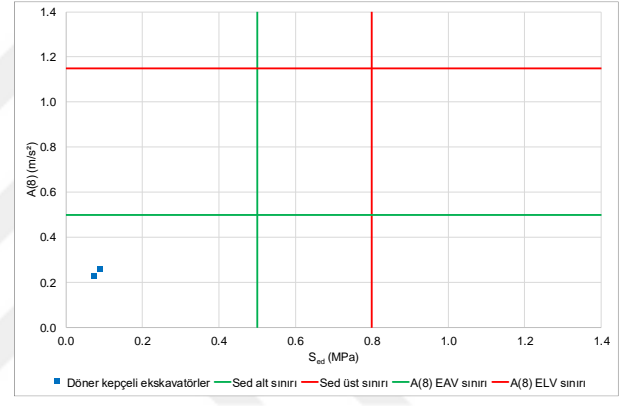


b) İleri yürüme evresi

Şekil 14.13 DKE operatörlerinin evreler bazında S_{ed} – R faktörü ilişkisi

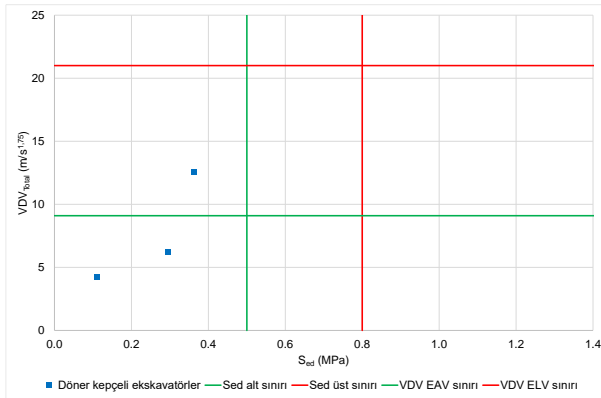


a) Kazı evresi

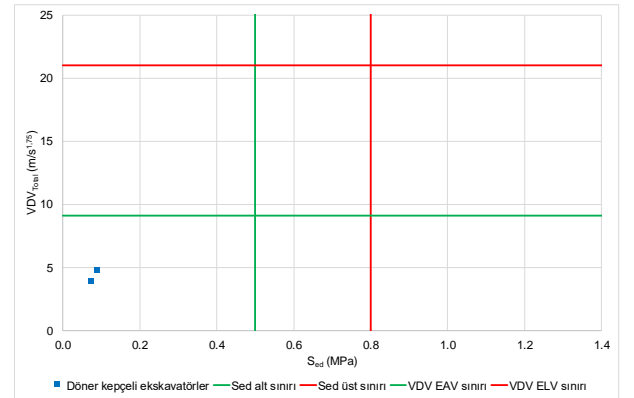


b) İleri yürüme evresi

Şekil 14.14 DKE operatörlerinin evreler bazında S_{ed} – A(8) ilişkisi



a) Kazı evresi



b) İleri yürüme evresi

Şekil 14.15 DKE operatörlerinin evreler bazında S_{ed} – VDV_{Total} ilişkisi

15. SAĞLIK RİSKİ CİDDİYETİ ÜZERİNE DEĞERLENDİRME

15.1 Kamyonlar

15.1.1 Net kayıt evresinde tüm ölçütler üzerinden değerlendirme

Önceki bölümlerde de belirtildiği gibi ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC (2002) direktifi titreşime maruz kalanların sağlık riski değerlendirmesini yaparken en kötü durum eksenini dikkate alırken BS 6841 (1987) standardı koruyucu yaklaşım sergileyerek her üç eksenin vektörel toplamını göz önüne almayı önerdiğinden, TVT ivmesi ve dozu değerleri yüksek çıkmaktadır. Gerçekten, titreşim enerjisi insan vücuduna her üç eksen boyunca iletiği için bu çalışmada hem en kötü durum eksenini hem de vektör toplamı yöntemleri kullanılarak değerlendirme yapılmıştır. Kamyon sürücülerinin TVT maruziyeti etkilerini inceleyen standart ve direktiflerin ölçütlerinden elde edilen sonuçlar toplu halde Çizelge 15.1'de verilmiştir.

EKDE'de oluşan günlük eşdeğer titreşim ivmesi A(8) dikkate alındığında kamyon sürücülerinin oldukça büyük bölümü EAV bölgesi içinde yer almakta, vektör toplamı göz önüne alındığında da EU 2002/44/EC (2002) direktifi bakımından büyük değişiklik oluşmamaktadır. Ancak ISO 2631-1 (1997) standardı daha koruyucu sınırlar belirlediğinden sürücülerin yarısından fazlası ELV bölgesine geçmektedirler. Bu duruma A(8) ortalamasının $0,90 \text{ m/s}^2$ eşliğine yakın olması neden olmaktadır.

Kamyon sürücülerinin TVT maruziyeti günlük eşdeğer titreşim dozu (VDV_{Total}) bakımından değerlendirildiğinde ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC (2002) direktifi uyarınca sürücülerin büyük kısmının sağlık riski ciddiyeti orta düzeyde kalmaktadır. Bekleneceği üzere en kötü durum eksenindeki değerler vektör toplamından düşük olduğu için daha fazla sayıda sürücünün maruziyeti orta bölgede çıkmaktadır. Diğer yandan BS 6841 (1987) standardı daha koruyucu sınırlara sahip olduğundan özellikle vektör toplamı ölçütüne göre daha fazla sayıda kamyon yüksek risk bölgesinde yer almaktadır. Bu duruma hem en kötü durum eksenini hem de vektör toplamı ortalamalarının, eşik sınır olan $15 \text{ m/s}^{1.75}$ civarında olması yol açmaktadır.

Kamyon sürücülerinin TVT maruziyeti vücut tepkisini değerlendiren ISO 2631-5 (2004) standardı üzerinden değerlendirildiğinde sürücülerin büyük kısmının sağlık riski ciddiyeti düşük düzeyde çıkmaktadır. Günlük eşdeğer statik basınç dozu (S_{ed}) ölçütüne göre sürücülerin büyük bölümünde olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşüktür. S_{ed} ile operatörün yaşı ve tecrübesine bağlı azalan güç durumunu dikkate alan R faktörüne göre ise sürücülerin hemen tamamı için olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşüktür. ISO 2631-5 (2004) standardına göre TVT maruziyeti sonucu olumsuz sağlık riski, ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC (2002) direktifine kıyasla düşük çıkmaktadır.

Çizelge 15.1 Kamyon sürücülerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin (SRC) karşılaştırılması

ISO 2631-1 (1997)		A(8) (m/s ²)		Vücut tepkisi	
EKDE ^a	VT ^a	EU 2002/44/EC (2002)		ISO 2631-5 (2004)	
		EKDE ^b	VT ^b	S _{ed} ^c	R ^d
5 Düşük	1 Düşük	10 Düşük	1 Düşük	70 Düşük	100 Düşük
87 Orta	45 Orta	94 Orta	89 Orta	23 Orta	4 Orta
13 Yüksek	59 Yüksek	1 Yüksek	15 Yüksek	12 Yüksek	1 Yüksek

ISO 2631-1 (1997)		VDV _{Total} (m/s ^{1,75})		EU 2002/44/EC (2002)	
EKDE ^e	VT ^e	BS 6841 (1987)		EU 2002/44/EC (2002)	
		EKDE ^f	VT ^f	EKDE ^g	VT ^g
2 Düşük	1 Düşük	62 Düşük	38 Düşük	2 Düşük	1 Düşük
74 Orta	66 Orta	- Orta	- Orta	92 Orta	90 Orta
29 Yüksek	38 Yüksek	43 Yüksek	67 Yüksek	11 Yüksek	14 Yüksek

EKDE : En kötü durum eksenli

VT : Vektör toplamı

^a 8 sa'lik maruziyet için EAV ve ELV bölgesi sınırlarına karşılık gelen frekans ağırlıklı ivme değerleri 0,45 m/s² ve 0,90 m/s²'dir.

^b 8 sa'lik maruziyet için EAV ve ELV bölgesi sınırlarına karşılık gelen frekans ağırlıklı ivme değerleri 0,50 m/s² ve 1,15 m/s²'dir.

^c 0,5 MPa altındaki S_{ed} değerinin olumsuz sağlık etkisi düşük iken 0,8 MPa üstündeki S_{ed} değerinin olumsuz sağlık etkisi yüksektir.

^d 0,8 altındaki R faktörünün olumsuz sağlık etkisi düşük iken 1,2 üstündeki R faktörünün olumsuz sağlık etkisi yüksektir.

^e 8 sa'lik maruziyet için EAV ve ELV bölgesi sınırlarına karşılık gelen titreşim dozu değerleri 8,5 m/s^{1,75} ve 17,0 m/s^{1,75}'dir.

^f 8 sa'lik maruziyet için HGCZ bölgesi sınırına karşılık gelen titreşim dozu değeri 15,0 m/s^{1,75}'dir.

^g 8 sa'lik maruziyet için EAV ve ELV bölgesi sınırlarına karşılık gelen titreşim dozu değerleri 9,1 m/s^{1,75} ve 21,0 m/s^{1,75}'dir.

15.1.2 Kamyon evrelerinin tüm ölçütler üzerinden değerlendirilmesi

Kamyon sürücülerinin TVT maruziyeti etkilerini inceleyen standart ve direktiflerin ölçütlerinden elde edilen sonuçlar evreler bazında Çizelge 15.2'de verilmiştir. Yüklenme, boşaltma ve bekleme evrelerinde kamyon sürücülerinin TVT maruziyeti açısından EKDE'de oluşan A(8) ve VDV_{Total} bakımından değerlendirildiğinde ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC (2002) direktifi uyarınca düşük seviyede olduğu gözlemlenirken; yanaşma, taşıma ve boş dönüş evrelerinde ise kamyon sürücülerinin TVT maruziyetinin VDV_{Total} bakımından orta seviyede olduğu görülmektedir.

S_{ed} ölçütüne göre tüm evrelerde sürücülerin büyük bölümünde olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşük, R faktörü ölçütüne göre ise daha da düşüktür. ISO 2631-5 (2004) standardına göre TVT maruziyeti sonucu olumsuz sağlık riski, ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC (2002) direktifine kıyasla düşük çıkmaktadır.

Yanaşma, yüklenme, taşıma, boşaltma, boş dönüş, bekleme evrelerinden oluşan kamyon döngüsünde sürücülerin titreşim ivmesi ve dozu bakımından TVT maruziyeti, boş dönüş evresinde en yüksek düzeye erişirken bunu taşıma, yanaşma, boşaltma, yüklenme ve bekleme evreleri izlemiştir. Sürücü maruziyetleri titreşim ivmesi parametresi göz önüne alınarak en kötü değer eksenli (A(8)) üzerinden değerlendirildiğinde boş dönüş, taşıma ve yanaşma evreleri maruziyet eylem değerini (EAV) aşmış, sürücüyü orta düzeyde olumsuz sağlık riskin maruz bırakırken; boşaltma, yüklenme ve bekleme evreleri bu sınırın altında kalarak sürücüyü olumsuz sağlık riski potansiyeli açısından düşük düzeyde kalmaktadır. Ancak BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi TVT maruziyeti vektör toplamı üzerinden değerlendirildiğinde boş dönüş evresi maruziyet sınır değerine erişmekte ve sürücüyü yüksek düzeyde olumsuz sağlık riski potansiyeli barındırmaktadır. Bu ölçüte göre de taşıma, yanaşma ve boşaltma evreleri EAV bölgesinde, yüklenme ve bekleme evreleri EAV bölgesi altında yer almaktadır (Şekil 15.1).

Değerlendirme ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca yapıldığında, en kötü değer eksenine göre sonuçlar EU 2002/44/EC (2002) direktifi ile örtüşürken, vektör toplamına göre boş dönüş, taşıma ve yanaşma evreleri ELV sınırının üzerinde yer alarak, operatörü yüksek sağlık riskine maruz bırakmaktadır. Boşaltma evresi maruziyet eylem değerini (EAV) aşır, sürücüyü orta düzeyde olumsuz sağlık riskin maruz bırakırken; yüklenme ve bekleme evreleri bu sınırın altında kalarak sürücüye olumsuz sağlık riski potansiyeli açısından düşük düzeyde kalmaktadır.

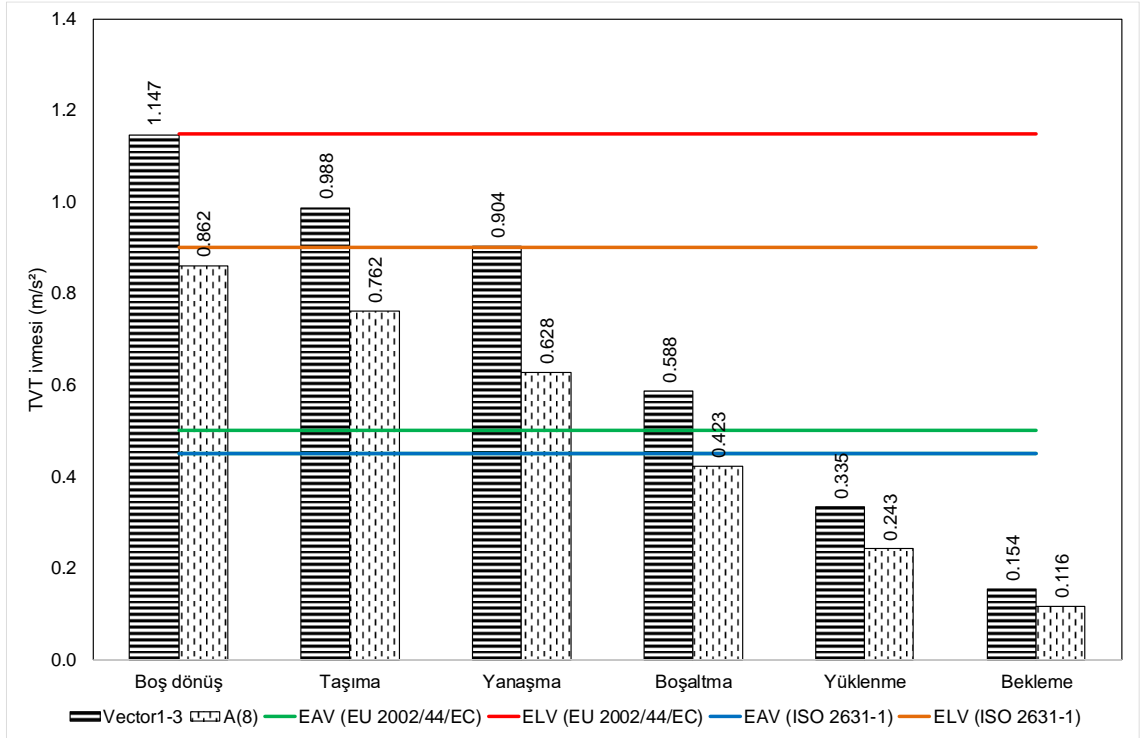
Çizelge 15.2 Kamyon sürücülerinin evreler bazında TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması

Evreler	A(8) (m/s ²)								Vücut tepkisi			
	ISO 2631-1 (1997)				EU 2002/44/EC (2002)				ISO 2631-5 (2004)			
	EKDE ^a		VT ^a		EKDE ^b		VT ^b		S _{ed} ^c		R ^d	
Yanaşma	17	Düşük	3	Düşük	23	Düşük	4	Düşük	80	Düşük	89	Düşük
	64	Orta	37	Orta	65	Orta	71	Orta	9	Orta	-	Orta
	8	Yüksek	49	Yüksek	1	Yüksek	14	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
Yüklenme	92	Düşük	80	Düşük	95	Düşük	88	Düşük	94	Düşük	97	Düşük
	5	Orta	17	Orta	3	Orta	9	Orta	4	Orta	2	Orta
	2	Yüksek	2	Yüksek	1	Yüksek	2	Yüksek	1	Yüksek	-	Yüksek
Taşıma	1	Düşük	-	Düşük	3	Düşük	0	Düşük	73	Düşük	99	Düşük
	88	Orta	38	Orta	98	Orta	89	Orta	25	Orta	5	Orta
	15	Yüksek	66	Yüksek	3	Yüksek	15	Yüksek	6	Yüksek	-	Yüksek
Boşaltma	64	Düşük	24	Düşük	76	Düşük	36	Düşük	93	Düşük	97	Düşük
	34	Orta	69	Orta	22	Orta	61	Orta	4	Orta	2	Orta
	1	Yüksek	6	Yüksek	1	Yüksek	2	Yüksek	2	Yüksek	-	Yüksek
Boş dönüş	2	Düşük	-	Düşük	7	Düşük	0	Düşük	71	Düşük	92	Düşük
	58	Orta	19	Orta	82	Orta	50	Orta	17	Orta	9	Orta
	42	Yüksek	83	Yüksek	13	Yüksek	52	Yüksek	14	Yüksek	1	Yüksek
Bekleme	50	Düşük	50	Düşük	50	Düşük	50	Düşük	49	Düşük	50	Düşük
	-	Orta	-	Orta	-	Orta	0	Orta	1	Orta	-	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	0	Yüksek	0	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
Evreler	VDV (m/s ^{1,75})								ISO 2631-1 (1997)			
	ISO 2631-1 (1997)				EU 2002/44/EC (2002)				ISO 2631-1 (1997)			
	EKDE ^a		VT ^a		EKDE ^b		VT ^b		EKDE ^e		VT ^e	
Yanaşma	10	Düşük	5	Düşük	64	Düşük	45	Düşük	18	Düşük	7	Düşük
	66	Orta	60	Orta	-	Orta	-	Orta	68	Orta	79	Orta
	13	Yüksek	24	Yüksek	25	Yüksek	44	Yüksek	3	Yüksek	3	Yüksek
Yüklenme	74	Düşük	68	Düşük	96	Düşük	94	Düşük	77	Düşük	72	Düşük
	23	Orta	29	Orta	-	Orta	-	Orta	21	Orta	25	Orta
	2	Yüksek	2	Yüksek	3	Yüksek	5	Yüksek	2	Yüksek	2	Yüksek
Taşıma	1	Düşük	0	Düşük	57	Düşük	47	Düşük	1	Düşük	0	Düşük
	78	Orta	71	Orta	-	Orta	-	Orta	96	Orta	95	Orta
	25	Yüksek	33	Yüksek	47	Yüksek	57	Yüksek	7	Yüksek	9	Yüksek
Boşaltma	31	Düşük	24	Düşük	89	Düşük	85	Düşük	28	Düşük	29	Düşük
	65	Orta	71	Orta	-	Orta	-	Orta	58	Orta	67	Orta
	3	Yüksek	4	Yüksek	10	Yüksek	14	Yüksek	3	Yüksek	3	Yüksek
Boş dönüş	1	Düşük	0	Düşük	41	Düşük	27	Düşük	2	Düşük	1	Düşük
	59	Orta	45	Orta	-	Orta	-	Orta	75	Orta	70	Orta
	42	Yüksek	57	Yüksek	61	Yüksek	75	Yüksek	25	Yüksek	31	Yüksek
Bekleme	46	Düşük	45	Düşük	49	Düşük	45	Düşük	48	Düşük	47	Düşük
	4	Orta	5	Orta	-	Orta	-	Orta	2	Orta	3	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	1	Yüksek	5	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek

Kısaltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

Sürücü maruziyetleri titreşim dozu parametresi göz önüne alınarak EU 2002/44/EC (2002) direktifi uyarınca en kötü değer eksenini üzerinden değerlendirildiğinde boş dönüş, taşıma, yanaşma ve

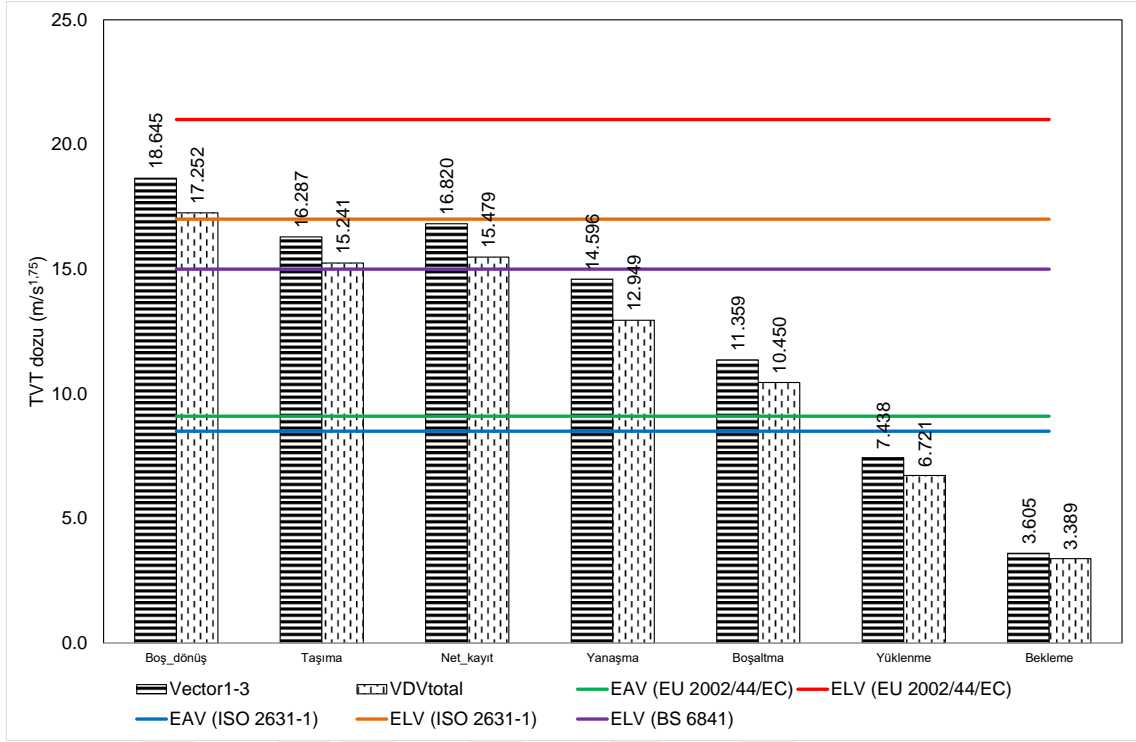
boşaltma evreleri EAV bölgesinde, yüklenme ve bekleme evreleri EAV sınırı altında kalmaktadır. Durum, vektör toplamına göre de aynıdır. Sürücü maruziyetleri ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca en kötü değer eksenini üzerinden değerlendirildiğinde boş dönüş evresi ELV bölgesinde; taşıma, yanaşma ve boşaltma evreleri EAV bölgesinde; yüklenme ve bekleme evreleri EAV eşiği altında kalmaktadır. Durum, vektör toplamına göre de aynıdır. Sürücü maruziyetleri BS 6841 (1987) standardı uyarınca en kötü değer eksenini üzerinden değerlendirildiğinde boş dönüş ve taşıma evreleri tehlikeli bölgede, diğer tüm evreler tehlike düzeyi tanımlanmamış olan alt bölgede yer almaktadır. Durum, vektör toplamına göre de aynıdır (Şekil 15.2).



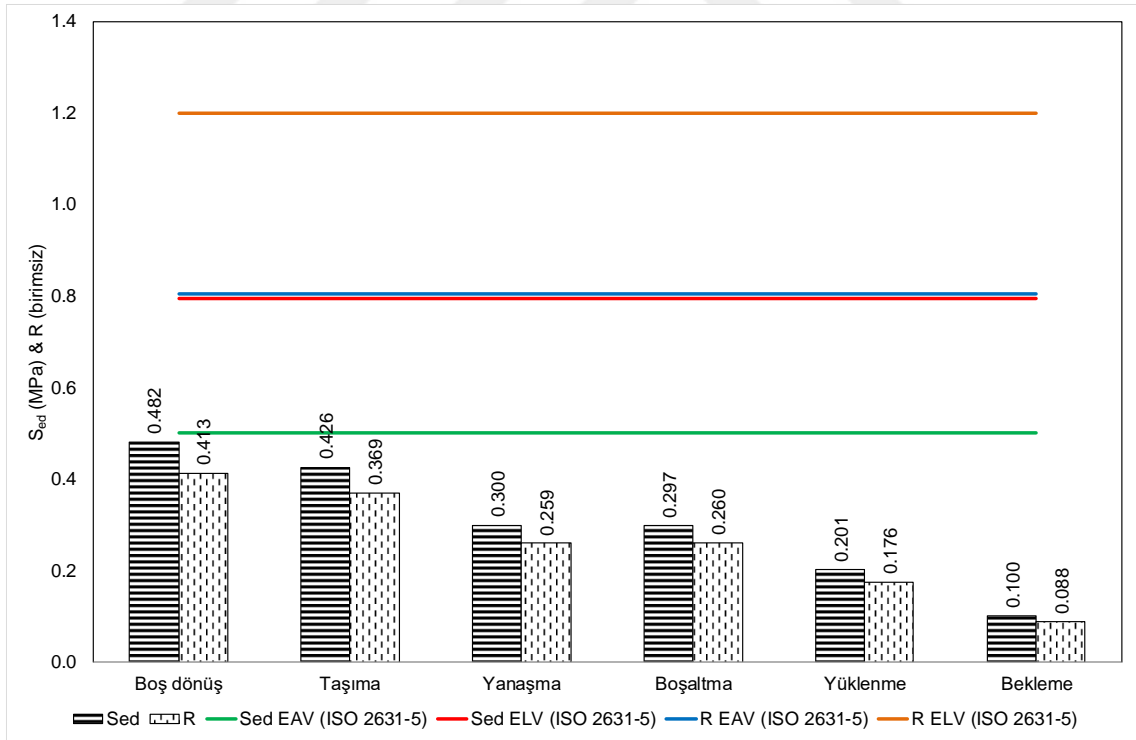
Şekil 15.1 Kamyon sürücülerinin her evrede Vector₁₋₃ ve A(8) değerlerine göre sağlık riski

ISO 2631-5 (2004) standardı uyarınca S_{ed} parametresi ve R faktörü en kötü değer eksenini ile vektör toplamı ölçütlerine göre incelendiğinde sürücüler, tüm evrelerde düşük düzeyde sağlık riski bölgesinde yer almaktadır (Şekil 15.3).

Kamyon sürücülerinin TVT ivmesi, dozu ve vücut tepkisi maruziyetlerini inceleyen standart ve direktifler doğrultusunda sağlık riskleri toplu olarak Çizelge 15.3'de verilmiştir.



Şekil 15.2 Kamyon sürücülerinin her evrede Vector₁₋₃ ve VDV_{Total} değerlerine göre sağlık riski



Şekil 15.3 Kamyon sürücülerinin her evrede S_{ed} ve R faktörü değerlerine göre sağlık riski

SPSS® paketi ile yapılan varyans analizlerine göre sürücülerin tüm evrelerde maruz kaldığı titreşim ivmesi düzeyleri arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark vardır. Titreşim dozu sonuçları

değerlendirildiğinde ise boşaltma, yüklenme ve bekleme evreleri ile diğer tüm evreler arasında anlamlı fark varken, taşıma evresi ile dönüş ve yanaşma evrelerindeki maruziyet arasında anlamlı bir fark yoktur. Yanaşma evresinin taşıma ile arasında anlamlı bir fark yokken, titreşim ivmesi bazında dönüş evresi ile anlamlı bir fark vardır. Taşıma ve yanaşma evrelerindeki maruziyet arasında da bir fark bulunmamaktadır.

Kamyon kapasitesinin sürücü TVT maruziyeti üzerinde etkisi bulunmaktadır. Buna göre 170 t'luk kamyonlar ile 30 t ve 77 t kapasiteye sahip kamyonlar arasında istatistiksel bakımdan anlamlı fark vardır. 30 t ve 77 t kapasiteli kamyonlar arasında anlamlı bir fark olmayıp, bu kamyonlar sürücülerini eşdeğer titreşim ivmesi ve dozuna maruz bırakmaktadır. Ağır tonajlı kamyonlar, hafif tonajlı kamyonlara göre daha düşük düzeyde titreşim ivmesi ve dozu üretmektedir.

Yeraltı ve yerüstü kamyon sürücülerinin TVT maruziyeti arasındaki farklılık incelendiğinde, yeraltı kamyon sürücülerinin daha yüksek titreşim ivmesi ve dozuna maruz kaldığı sonucuna varılmıştır. Dampırlı ve alttan boşaltmalı kamyonlar arasında da anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Sürücü yaş grupları arasında TVT maruziyeti bakımından istatistiksel açıdan anlamlı bir fark çıkmamıştır. Sürücü deneyimi incelendiğinde, titreşim dozuna göre gruplar arasında anlamlı bir fark çıkmazken, titreşim ivmesi bazında 1-5 yıl deneyime sahip sürücüler ile 16-20 yıllık deneyime sahip sürücüler arasında anlamlı bir fark bulunmuştur. Deneyimli sürücülerin daha az titreşime maruz kaldığı, dolayısıyla sürücü deneyimi ile titreşim ivmesi ve dozundan etkilenimin ters orantılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Araştırmacılar arasında iş makinesi operatörlerinin TVT etkilerine maruziyeti ve TVT'nin uzun dönemli olumsuz sağlık etkileri üzerinde görüş birliği bulunmaktadır (Miyashita, 1992; Mandal, 2010; Aye, 2011). TVT maruziyetini etkileyen faktörler arasında iş makinelerinin çalışma koşulları, tonajları, hizmet ömürleri, işlenen malzemenin türü gibi değişkenler bireysel ya da toplu halde değerlendirilmiştir. Noorloos vd. (2008) bir aracın neden olduğu titreşim büyüklüğünün; kullanıldığı saha şartları, bakım durumu, operatörün sürüş tarzı ve hızı, yürüme organı türü, koltuk tipi ve yüklenen/boşaltılan malzemenin özellikleri ve operatör tecrübesi gibi birçok faktöre bağlı olduğunu bildirmiştir. Bu araştırmalar, kamyonlar üzerinde yapılan çalışmanın sonuçlarını destekler niteliktedir.

Kamyon hizmet ömrünün TVT maruziyeti üzerindeki etkisi incelendiğinde, 11-20 yıllık kamyonlar ile 31-40 yıllık kamyonlar arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark çıkmıştır. 30'dan daha yaşlı kamyonların sürücülerini daha yüksek titreşim ivmelerine maruz kalmaktadır. Cann vd. (2004) nakliye kamyon sürücülerini üzerinde yaptıkları çalışmada, ISO 2631-1 (1997) standartına uygun olarak; sürücü tecrübesi ve kamyon hizmet yılı başta olmak üzere yol durumu, kamyon tipi, kamyon kilometresi ve koltuk türünün TVT maruziyeti üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Maeda ve Morioka (1998) ağır yol koşullarının çöp kamyonu sürücülerinin TVT maruziyetinde artışa neden olduğunu tespit etmişlerdir. Village vd. (1989) maden kamyonlarını incelemiş ve araç boyutunun TVT maruziyeti üzerinde önemli rol oynadığını bildirmiştir.

Taşınan malzemenin sürücü maruziyeti üzerindeki etkisi, malzemeler bloklı ve bloksuz olarak iki gruba ayrılarak incelenmiştir. Buna göre bloklı malzeme, kamyon sürücülerini daha yüksek titreşim ivmesi ve dozuna maruz bırakmaktadır. Vanerkar vd. (2008) Hindistan'da iki metalik cevher işletmesinde (boksit ve demir) kullanılan iş makinelerinin neden olduğu TVT maruziyetini iki farklı tip sürücü koltuğu üzerinde ölçmüşlerdir. Boksit ve demir işletmelerinden kaydedilen titreşim dozu değerlerine çapraz karşılaştırma uygulandığında, boksit işletmesindeki ağır iş makinesi operatörlerinin TVT maruziyetinin, demir işletmesi muadillerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.



Çizelge 15.3 Kamyon sürücülerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyeti

Evreler	A(8) (m/s ²)								Vücut tepkisi			
	ISO 2631-1 (1997)				EU 2002/44/EC (2002)				ISO 2631-5 (2004)			
	EKDE ^a		VT ^a		EKDE ^b		VT ^b		S _{sed} ^c		R ^d	
Yanaşma	0,628	Orta	0,904	Yüksek	0,628	Orta	0,904	Orta	0,300	Düşük	0,259	Düşük
Yüklenme	0,243	Düşük	0,335	Düşük	0,243	Düşük	0,335	Düşük	0,201	Düşük	0,176	Düşük
Taşıma	0,762	Orta	0,988	Yüksek	0,762	Orta	0,988	Orta	0,426	Düşük	0,369	Düşük
Boşaltma	0,423	Düşük	0,588	Orta	0,423	Düşük	0,588	Orta	0,297	Düşük	0,260	Düşük
Boş dönüş	0,862	Orta	1,147	Yüksek	0,862	Orta	1,147	Yüksek	0,482	Düşük	0,413	Düşük
Bekleme	0,116	Düşük	0,154	Düşük	0,116	Düşük	0,154	Düşük	0,100	Düşük	0,088	Düşük

Evreler	VDV (m/s ^{1,75})							
	ISO 2631-1 (1997)				EU 2002/44/EC (2002)			
	EKDE ^a		VT ^a		EKDE ^b		VT ^b	
Yanaşma	12,949	Orta	14,596	Orta	12,949	Düşük	14,596	Düşük
Yüklenme	6,721	Düşük	7,438	Düşük	6,721	Düşük	7,438	Düşük
Taşıma	15,241	Orta	16,287	Orta	15,241	Yüksek	16,287	Yüksek
Boşaltma	10,450	Orta	11,359	Orta	10,450	Düşük	11,359	Düşük
Boş dönüş	17,252	Yüksek	18,645	Yüksek	17,252	Yüksek	18,645	Yüksek
Bekleme	3,389	Düşük	3,605	Düşük	3,389	Düşük	3,605	Düşük

Kısaltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

15.2 Hidrolik Terskepçe Ekskavatörler

15.2.1 Net kayıt evresinde tüm ölçütler üzerinden değerlendirme

Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin TVT maruziyeti etkilerini inceleyen standart ve direktiflerin ölçütlerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 15.4'de verilmiştir. En kötü durum ekseninde oluşan günlük eşdeğer titreşim ivmesi A(8) dikkate alındığında ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC (2002) direktifi bakımından operatörlerin oldukça büyük bölümü EAV bölgesi içinde yer almakta, vektör toplamı göz önüne alındığında da büyük değişiklik oluşmamaktadır.

Operatörlerin TVT maruziyeti VDV_{Total} bakımından değerlendirildiğinde ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC (2002) direktifi uyarınca operatörlerin büyük kısmının sağlık riski ciddiyeti orta düzeyde kalmaktadır. Diğer yandan BS 6841 (1987) standardı daha koruyucu sınırlara sahip olduğundan özellikle vektör toplamı ölçütüne göre daha fazla sayıda operatör yüksek risk bölgesinde yer almaktadır. Bu duruma hem en kötü durum eksenini hem de vektör toplamı ortalamalarının, eşik sınır olan $15 \text{ m/s}^{1.75}$ civarında olması yol açmaktadır.

Hidrolik terskepçe operatörleri TVT maruziyeti vücut tepkisini değerlendiren ISO 2631-5 (2004) standardı üzerinden değerlendirildiğinde büyük kısmının sağlık riski ciddiyeti düşük düzeyde çıkmaktadır. S_{ed} ölçütüne göre operatörlerin yarısında olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşük, diğer yarısında ise orta ve yüksektir. S_{ed} ile operatörün yaşı ile tecrübesine bağlı azalan güç durumunu dikkate alan R faktörüne göre ise operatörlerin büyük bölümü için olumsuz sağlık etkisi olasılığı düşüktür. ISO 2631-5 (2004) standardına göre TVT maruziyeti sonucu olumsuz sağlık riski, ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC (2002) direktifine kıyasla düşük çıkmaktadır.

Çizelge 15.4 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması

ISO 2631-1 (1997)		A(8) (m/s^2)		Vücut tepkisi	
EKDE ^a	VT ^a	EKDE ^b	VT ^b	S_{ed}^c	R ^d
14 Düşük	7 Düşük	18 Düşük	10 Düşük	18 Düşük	25 Düşük
21 Orta	21 Orta	17 Orta	25 Orta	9 Orta	3 Orta
- Yüksek	7 Yüksek	- Yüksek	- Yüksek	8 Yüksek	7 Yüksek
ISO 2631-1 (1997)		VDV _{Total} ($\text{m/s}^{1.75}$)		EU 2002/44/EC (2002)	
EKDE ^e	VT ^e	EKDE ^f	VT ^f	EKDE ^g	VT ^g
4 Düşük	3 Düşük	22 Düşük	19 Düşük	4 Düşük	4 Düşük
21 Orta	21 Orta	- Orta	- Orta	26 Orta	26 Orta
10 Yüksek	11 Yüksek	13 Yüksek	16 Yüksek	5 Yüksek	5 Yüksek

Kısaltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

15.2.2 Hidrolik terskepçe ekskavatör evrelerinin tüm ölçütler üzerinden değerlendirmesi

Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin TVT maruziyeti etkilerini inceleyen standart ve direktiflerin ölçütlerinden elde edilen sonuçlar evreler bazında Çizelge 15.5'de verilmiştir. En kötü durum ekseninde oluşan günlük eşdeğer titreşim ivmesi A(8) dikkate alındığında ISO 2631-1 (1997) standardı bazında sadece boşaltma ve bekleme evrelerinde EAV bölgesi altında yer almakta olup diğer evrelerde EAV bölgesi içinde yer almaktadır. EU 2002/44/EC (2002) direktifi bakımından evreler değerlendirildiğinde ise operatörlerin oldukça büyük bölümü EAV bölgesi altında yer almakta olup, sadece ileri yürüme evresinde EAV bölgesi üzerinde yer almaktadır. Vektör toplamı göz önüne alındığında da büyük değişiklik oluşmamakta, sadece ileri yürüme evresinde daha fazla operatör EAV sınırı üzerinde bölgede yer almaktadır.

Operatörlerin TVT maruziyeti VDV_{Total} bakımından değerlendirildiğinde ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC (2002) direktifi uyarınca doldurma ve aynada hazırlık evrelerinde büyük kısmının sağlık riski ciddiyeti orta düzeyde kalmaktadır. Boşaltma ve bekleme evrelerinde ise titreşim dozu değeri düşük seviyede yer almakta olup ileri yürüme evresinde yüksek seviyede yer almaktadır. Diğer yandan BS 6841 (1987) standardı daha koruyucu sınırlara sahip olduğundan özellikle vektör toplamı ölçütüne göre daha fazla sayıda operatör yüksek risk bölgesinde yer almaktadır.

TVT maruziyeti vücut tepkisini değerlendiren ISO 2631-5 (2004) standardı üzerinden hidrolik terskepçe operatörleri değerlendirildiğinde operatörlerin büyük kısmının sağlık riski ciddiyeti düşük düzeyde çıkmaktadır. S_{ed} ölçütüne göre operatörlerin büyük bölümünde olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşüktür. S_{ed} ile operatörün yaşı ile tecrübesine bağlı azalan güç durumunu dikkate alan R faktörüne göre ise operatörlerin hemen tamamı için olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşüktür. ISO 2631-5 (2004) standardına göre TVT maruziyeti sonucu olumsuz sağlık riski, ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC (2002) direktifine kıyasla düşük çıkmaktadır.

Aynada hazırlık, boşaltma, ileri yürüme, doldurma ve bekleme evrelerinden oluşan hidrolik terskepçe ekskavatör döngüsünde operatörlerin titreşim ivmesi ve dozu bakımından TVT maruziyeti, ileri yürüme evresinde en yüksek düzeye erişirken bunu aynada hazırlık, doldurma, boşaltma ve bekleme evreleri izlemiştir. Operatör maruziyetleri titreşim ivmesi parametresi göz önüne alınarak en kötü değer eksenini (A(8)) üzerinden değerlendirildiğinde ileri yürüme, aynada hazırlık ve doldurma evreleri maruziyet eylem değerini (EAV) aşmış, operatörü orta düzeyde olumsuz sağlık riskine maruz bırakırken; boşaltma ve bekleme evreleri bu sınırın altında kalarak operatöre olumsuz sağlık riski potansiyeli açısından düşük düzeyde kalmaktadır. Ancak BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi TVT maruziyeti vektör toplamı üzerinden değerlendirildiğinde ileri yürüme evresi maruziyet sınır değerini geçmekte ve operatöre yüksek düzeyde olumsuz sağlık riski potansiyeli barındırmaktadır. Bu ölçüte göre de aynada hazırlık ve doldurma evreleri EAV bölgesinde, boşaltma ve bekleme evreleri EAV bölgesi altında yer almaktadır (Şekil 15.4). Değerlendirme ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca yapıldığında, en kötü değer eksenini ve vektör toplamı ölçütlerine göre sonuçlar, EU 2002/44/EC (2002) direktifi ile örtüşmektedir.

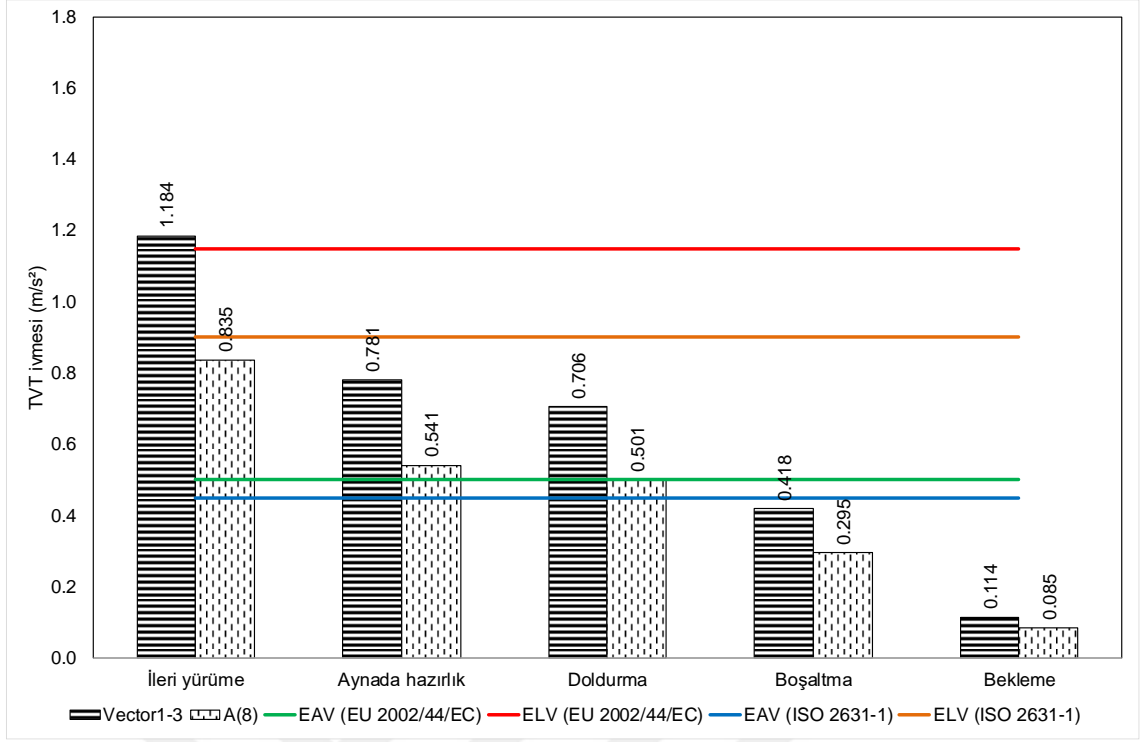
Çizelge 15.5 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin evreler bazında TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması

Evreler	A(8) (m/s ²)								Vücut tepkisi			
	ISO 2631-1 (1997)				EU 2002/44/EC (2002)				ISO 2631-5 (2004)			
	EKDE ^a		VT ^a		EKDE ^b		VT ^b		S _{ed} ^c		R ^d	
Doldurma	12	Düşük	5	Düşük	15	Düşük	7	Düşük	23	Düşük	27	Düşük
	21	Orta	24	Orta	19	Orta	25	Orta	5	Orta	4	Orta
	1	Yüksek	5	Yüksek	-	Yüksek	2	Yüksek	6	Yüksek	3	Yüksek
Boşaltma	30	Düşük	21	Düşük	31	Düşük	25	Düşük	30	Düşük	31	Düşük
	2	Orta	10	Orta	1	Orta	7	Orta	1	Orta	1	Orta
	-	Yüksek	1	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	1	Yüksek	-	Yüksek
İleri yürüme	1	Düşük	-	Düşük	11	Düşük	-	Düşük	4	Düşük	12	Düşük
	8	Orta	1	Orta	1	Orta	7	Orta	6	Orta	1	Orta
	5	Yüksek	13	Yüksek	2	Yüksek	7	Yüksek	4	Yüksek	1	Yüksek
Aynada hazırlık	6	Düşük	3	Düşük	8	Düşük	3	Düşük	11	Düşük	15	Düşük
	10	Orta	9	Orta	9	Orta	13	Orta	3	Orta	-	Orta
	1	Yüksek	5	Yüksek	-	Yüksek	1	Yüksek	3	Yüksek	2	Yüksek
Bekleme	26	Düşük	26	Düşük	26	Düşük	-	Düşük	26	Düşük	26	Düşük
	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek

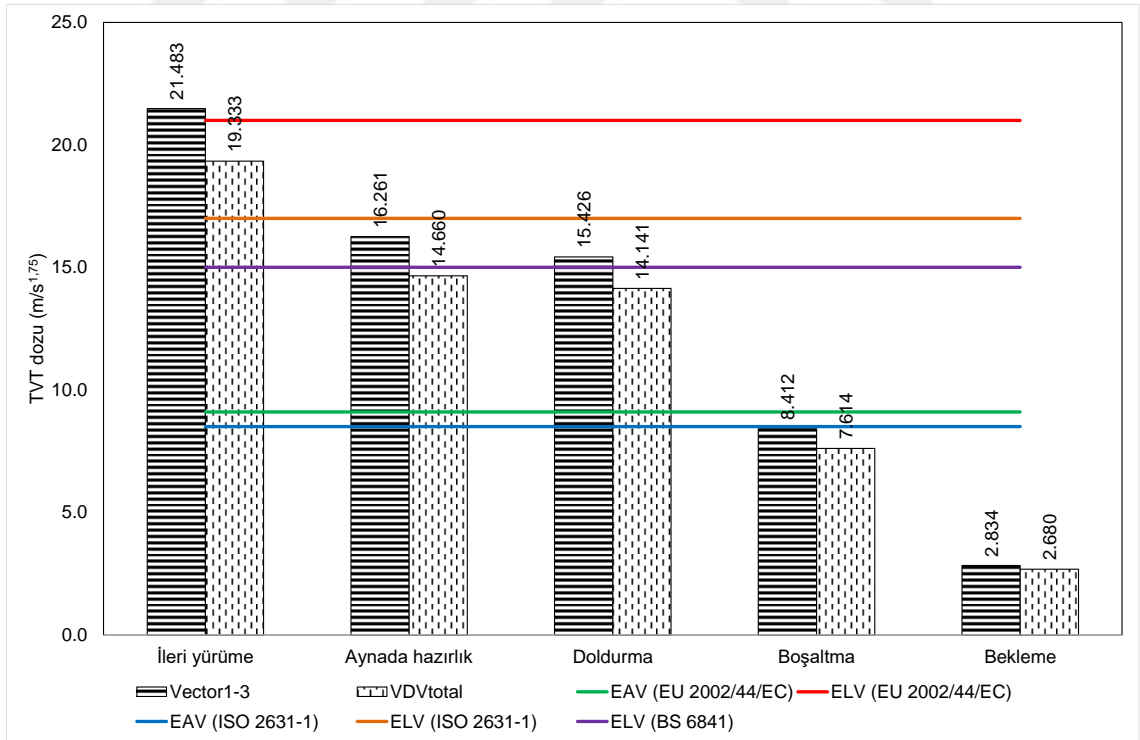
Evreler	VDV (m/s ^{1,75})											
	ISO 2631-1 (1997)				BS 6841 (1987)				EU 2002/44/EC (2002)			
	EKDE ^a		VT ^a		EKDE ^b		VT ^b		EKDE ^e		VT ^e	
Doldurma	6	Düşük	3	Düşük	23	Düşük	19	Düşük	7	Düşük	5	Düşük
	20	Orta	22	Orta	-	Orta	-	Orta	23	Orta	24	Orta
	8	Yüksek	9	Yüksek	11	Yüksek	15	Yüksek	4	Yüksek	5	Yüksek
Boşaltma	23	Düşük	18	Düşük	30	Düşük	29	Düşük	24	Düşük	20	Düşük
	8	Orta	12	Orta	-	Orta	-	Orta	8	Orta	12	Orta
	1	Yüksek	2	Yüksek	2	Yüksek	3	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
İleri yürüme	-	Düşük	-	Düşük	2	Düşük	1	Düşük	-	Düşük	-	Düşük
	6	Orta	1	Orta	-	Orta	-	Orta	9	Orta	7	Orta
	8	Yüksek	13	Yüksek	12	Yüksek	13	Yüksek	5	Yüksek	7	Yüksek
Aynada hazırlık	2	Düşük	1	Düşük	10	Düşük	6	Düşük	4	Düşük	1	Düşük
	11	Orta	11	Orta	-	Orta	-	Orta	10	Orta	12	Orta
	4	Yüksek	5	Yüksek	7	Yüksek	11	Yüksek	3	Yüksek	4	Yüksek
Bekleme	25	Düşük	25	Düşük	26	Düşük	26	Düşük	25	Düşük	25	Düşük
	1	Orta	1	Orta	-	Orta	-	Orta	1	Orta	1	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek

Kısaltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

Operatör maruziyetleri titreşim dozu parametresi göz önüne alınarak EU 2002/44/EC (2002) direktifi uyarınca en kötü değer eksenini üzerinden değerlendirildiğinde ileri yürüme, aynada hazırlık ve doldurma evreleri EAV bölgesinde, boşaltma ve bekleme evreleri EAV sınırı altında kalmaktadır. Vektör toplamı ölçütüne göre ise ileri yürüme evresi ELV bölgesinde olup diğer evreler en kötü değer eksenini ölçütü ile aynıdır. Operatör maruziyetleri ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca değerlendirildiğinde, en kötü değer eksenini ve vektör toplamı ölçütlerine göre evrelerin durum EU direktifi ile aynıdır. Operatör maruziyetleri BS 6841 (1987) standardı uyarınca en kötü değer eksenini üzerinden değerlendirildiğinde ileri yürüme evresi tehlikeli bölgede, diğer tüm evreler tehlike düzeyi tanımlanmamış olan alt bölgede yer almaktadır. Durum, vektör toplamı ölçütüne göre değerlendirildiğinde ise ileri yürüme, aynada hazırlık ve doldurma evreleri tehlikeli bölgeye düşmekte, boşaltma ve bekleme evreleri ise tehlike düzeyi tanımlanmamış olan alt bölgeye düşmektedir (Şekil 15.5).



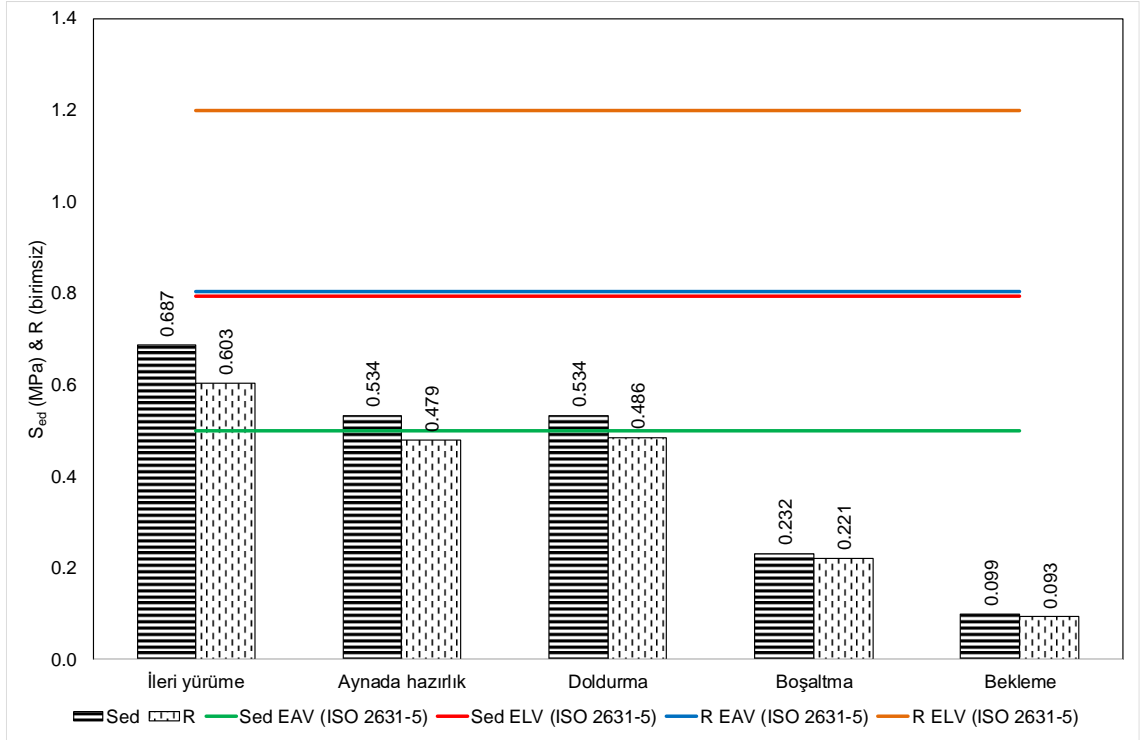
Şekil 15.4 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin evrelere göre Vector₁₋₃ ve A(8) değerlerine göre sağlık riski



Şekil 15.5 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin evrelere göre Vector₁₋₃ ve VDV_{Total} değerlerine göre sağlık riski

ISO 2631-5 (2004) standardı uyarınca S_{ed} parametresi için en kötü değer eksenini ölçütüne göre ileri yürüme evresi orta düzeyli, diğer evreler düşük düzeyli sağlık riskine işaret etmektedir. Vektör toplamı ölçütüne göre ise ileri yürüme, aynada hazırlık ve doldurma evreleri orta düzeyli, boşaltma ve bekleme evreleri düşük düzeyli sağlık riskine işaret etmektedir. R faktörü için en kötü değer eksenini ile vektör toplamı ölçütlerine göre incelendiğinde operatörler, tüm evrelerde düşük düzeyde sağlık riski bölgesinde yer almaktadır (Şekil 15.6).

Hidrolik ekskavatör operatörlerinin TVT ivmesi, dozu ve vücut tepkisi maruziyetlerini inceleyen standart ve direktifler doğrultusunda sağlık riskleri toplu olarak Çizelge 15.6'da verilmiştir.



Şekil 15.6 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin evrelere göre S_{ed} ve R faktörü değerlerine göre sağlık riski

Hidrolik ekskavatör döngüsü evreleri üzerinde istatistiksel analizler yapılmıştır. Operatörün maruz kaldığı titreşim ivmesi bakımından yalnızca aynada hazırlık ve doldurma evreleri arasında anlamlı bir fark yokken diğer tüm evrelerin ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık bulunmaktadır. Titreşim dozu için ise aynada hazırlık ve doldurma ile aynada hazırlık ve ileri yürüme evreleri arasında anlamlı bir fark yokken diğer tüm evrelerin ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık bulunmaktadır.

Kepçe kapasitesinin operatör TVT maruziyeti üzerindeki etkisi araştırıldığında 6-10 m³ kapasiteye sahip ekskavatörler, 0-2 m³ ve 4-6 m³ kova kapasitesine sahip gruplara göre daha düşük titreşim dozu üretmektedir. Ancak ikili karşılaştırma yapılan istatistiksel analiz sonucuna göre gruplar arasında anlamlı bir fark çıkmamış olup kepçe kapasitesi titreşim maruziyetinden bağımsızdır.

Operatör yaşı ve deneyimi istatistiksel olarak incelendiğinde gruplar arasında anlamlı bir fark çıkmamıştır. Böylece titreşim maruziyetinin, operator yaşı ve deneyiminden bağımsız olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak bu sonuç, Langer vd. (2012) yaptığı çalışmayı desteklememektedir.

Malzeme tipi bloklu ve bloksuz olarak ayrılmıştır. İstatistiksel olarak operatörlerin işlenen malzemenin türünden bağımsız olarak benzer düzeyde titreşim ivmesi ve dozuna maruz kaldığı belirlenmiştir. Ortalamalar değerlendirildiğinde ise bloklu malzeme, operatörleri biraz daha yüksek titreşim ivmesi ve dozuna maruz bırakmaktadır.



Çizelge 15.6 Hidrolik terskepçe ekskavatör operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyeti

Evreler	A(8) (m/s ²)						Vücut tepkisi					
	ISO 2631-1 (1997)		EU 2002/44/EC (2002)				ISO 2631-5 (2004)					
	EKDE ^a	VT ^a	EKDE ^b	VT ^b	S _{ed} ^c	R ^d						
Doldurma	0,501	Orta	0,706	Orta	0,501	Orta	0,706	Orta	0,534	Orta	0,486	Düşük
Boşaltma	0,295	Düşük	0,418	Düşük	0,295	Düşük	0,418	Düşük	0,232	Düşük	0,221	Düşük
İleri yürüme	0,835	Orta	1,184	Yüksek	0,835	Orta	1,184	Yüksek	0,687	Orta	0,603	Düşük
Ayna hazırlık	0,541	Orta	0,781	Orta	0,541	Orta	0,781	Orta	0,534	Orta	0,479	Düşük
Bekleme	0,085	Düşük	0,114	Düşük	0,085	Düşük	0,114	Düşük	0,099	Düşük	0,093	Düşük

Evreler	VDV (m/s ^{1,75})				EU 2002/44/EC (2002)							
	ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)		EKDE ^e		VT ^e					
	EKDE ^a	VT ^a	EKDE ^b	VT ^b	EKDE ^e	VT ^e						
Doldurma	14,141	Orta	15,426	Orta	14,141	Düşük	14,141	Düşük	14,141	Orta	15,426	Orta
Boşaltma	7,614	Düşük	8,412	Düşük	7,614	Düşük	7,614	Düşük	7,614	Düşük	8,412	Düşük
İleri yürüme	19,333	Yüksek	21,483	Yüksek	19,333	Yüksek	19,333	Yüksek	19,333	Orta	21,483	Yüksek
Ayna hazırlık	14,660	Orta	16,261	Orta	14,660	Düşük	14,660	Düşük	14,660	Orta	16,261	Orta
Bekleme	2,680	Düşük	2,834	Düşük	2,680	Düşük	2,680	Düşük	2,680	Düşük	2,834	Düşük

Kısıltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

15.3 Dozerler

15.3.1 Net kayıt evresinde tüm ölçütler üzerinden değerlendirme

Dozer operatörlerinin TVT maruziyeti etkilerini inceleyen standart ve direktiflerin ölçütlerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 15.7'de verilmiştir. En kötü durum ekseninde oluşan A(8) dikkate alındığında operatörlerin önemli bölümü ELV bölgesi üstünde yer almakta olup, vektör toplamı göz önüne alındığında ise hemen hepsi ELV bölgesinde kalmaktadır.

Operatörlerin TVT maruziyeti VDV_{Total} bakımından değerlendirildiğinde ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC (2002) direktifi uyarınca operatörlerin büyük kısmının sağlık riski ciddiyeti yüksek düzeyde kalmaktadır. Diğer yandan BS 6841 (1987) standardı daha koruyucu sınırlara sahip olduğundan özellikle vektör toplamı ölçütüne göre hemen tüm operatörler yüksek risk bölgesinde yer almaktadır. Bu duruma hem en kötü durum eksenini hem de vektör toplamı ortalamalarının, eşik sınır olan $15 \text{ m/s}^{1.75}$ civarında olması yol açmaktadır.

TVT maruziyeti vücut tepkisini değerlendiren ISO 2631-5 (2004) standardı üzerinden dozer operatörleri değerlendirildiğinde operatörlerin büyük kısmının sağlık riski ciddiyeti düşük düzeyde çıkmaktadır. S_{ed} ölçütüne göre operatörlerin ancak yarısında olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşüktür. R faktörüne göre ise operatörlerin hemen tamamı için olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşüktür. ISO 2631-5 (2004) standardına göre TVT maruziyeti sonucu olumsuz sağlık riski, ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC (2002) direktifine kıyasla düşük çıkmaktadır.

Çizelge 15.7 Dozer operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması

A(8) (m/s^2)				Vücut tepkisi	
ISO 2631-1 (1997)		EU 2002/44/EC (2002)		ISO 2631-5 (2004)	
EKDE ^a	VT ^a	EKDE ^b	VT ^b	S_{ed} ^c	R ^d
- Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük	14 Düşük	28 Düşük
10 Orta	- Orta	24 Orta	5 Orta	11 Orta	1 Orta
21 Yüksek	31 Yüksek	7 Yüksek	26 Yüksek	6 Yüksek	2 Yüksek
VDV _{Total} ($\text{m/s}^{1.75}$)					
ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)		EU 2002/44/EC (2002)	
EKDE ^e	VT ^e	EKDE ^f	VT ^f	EKDE ^g	VT ^g
- Düşük	- Düşük	2 Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük
7 Orta	1 Orta	- Orta	- Orta	15 Orta	8 Orta
24 Yüksek	30 Yüksek	29 Yüksek	31 Yüksek	16 Yüksek	23 Yüksek

Kısaltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

15.3.2 Dozer evrelerinin tüm ölçütler üzerinden değerlendirmesi

Dozer operatörlerinin TVT maruziyeti etkilerini inceleyen standart ve direktiflerin ölçütlerinden elde edilen sonuçlar evreler bazında Çizelge 15.8'de verilmiştir. En kötü durum ekseninde oluşan A(8) dikkate alındığında operatörlerin büyük bölümünün bekleme evresi hariç diğer tüm evrelerde ELV bölgesi üstünde yer almakta olduğu görülmektedir. Bekleme evresinde ise EAV altında yer almaktadır. Vektör toplamı göz önüne alındığında ise daha fazla sayıda dozer operatörü ELV bölgesine geçmektedir.

Operatörlerin TVT maruziyeti VDV_{Total} bakımından değerlendirildiğinde ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC (2002) direktifi uyarınca operatörlerin bekleme evresi hariç hemen tümünün sağlık riski ciddiyeti yüksek düzeyde, bekleme evresinde ise orta ve düşük düzeyde yer almaktadır. Diğer yandan BS 6841 (1987) standardı daha koruyucu sınırlara sahip olduğundan özellikle vektör toplamı ölçütüne göre bütün operatörler yüksek risk bölgesinde yer almaktadır. Bekleme evresinde ISO 2631-1 standardına göre orta risk grubunda bulunan operatörler BS 6841 standardına göre yüksek risk grubunda yer almışlardır. Bu duruma hem en kötü durum eksenini hem de vektör toplamı ortalamalarının, eşik sınır olan $15 \text{ m/s}^{1.75}$ civarında olması yol açmaktadır.

TVT maruziyeti vücut tepkisini değerlendiren ISO 2631-5 (2004) standardı üzerinden değerlendirildiğinde operatörlerin büyük kısmının sağlık riski ciddiyeti düşük düzeyde çıkmaktadır. S_{ed} ölçütüne göre operatörlerin büyük bölümünde olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşüktür. R faktörüne göre ise operatörlerin hemen tamamı için olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşüktür. ISO 2631-5 (2004) standardına göre TVT maruziyeti sonucu olumsuz sağlık riski, ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC (2002) direktifine kıyasla düşük çıkmaktadır.

Çizelge 15.8 Dozer operatörlerinin evreler bazında TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması

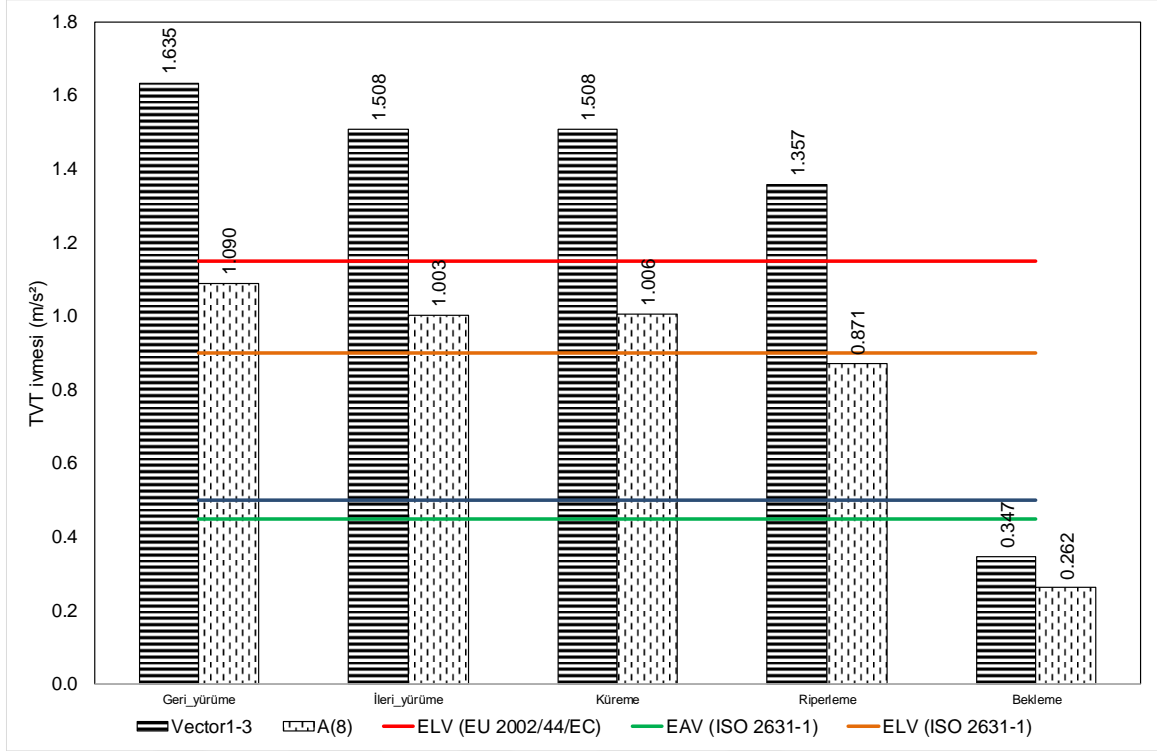
Evreler	A(8) (m/s ²)						Vücut tepkisi			
	ISO 2631-1 (1997)		EU 2002/44/EC (2002)				ISO 2631-5 (2004)			
	EKDE ^a	VT ^a	EKDE ^b	VT ^b	S_{ed}^c	R ^d				
Küreme	- Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük	18 Düşük	29 Düşük	18 Düşük	29 Düşük	18 Düşük	29 Düşük
	9 Orta	2 Orta	25 Orta	5 Orta	8 Orta	1 Orta	8 Orta	1 Orta	8 Orta	1 Orta
	22 Yüksek	29 Yüksek	6 Yüksek	26 Yüksek	5 Yüksek	1 Yüksek	5 Yüksek	1 Yüksek	5 Yüksek	1 Yüksek
İleri yürüme	- Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük	11 Düşük	18 Düşük	11 Düşük	18 Düşük	11 Düşük	18 Düşük
	9 Orta	- Orta	17 Orta	3 Orta	5 Orta	3 Orta	5 Orta	3 Orta	5 Orta	3 Orta
	12 Yüksek	21 Yüksek	4 Yüksek	18 Yüksek	5 Yüksek	3 Yüksek	5 Yüksek	3 Yüksek	5 Yüksek	3 Yüksek
Geri yürüme	- Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük	16 Düşük	28 Düşük	16 Düşük	28 Düşük	16 Düşük	28 Düşük
	7 Orta	- Orta	20 Orta	3 Orta	7 Orta	1 Orta	7 Orta	1 Orta	7 Orta	1 Orta
	23 Yüksek	30 Yüksek	10 Yüksek	27 Yüksek	7 Yüksek	1 Yüksek	7 Yüksek	1 Yüksek	7 Yüksek	1 Yüksek
Riperleme	- Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük	2 Düşük	4 Düşük	2 Düşük	4 Düşük	2 Düşük	4 Düşük
	2 Orta	- Orta	4 Orta	1 Orta	2 Orta	- Orta	2 Orta	- Orta	2 Orta	- Orta
	2 Yüksek	4 Yüksek	0 Yüksek	3 Yüksek	- Yüksek	- Yüksek	- Yüksek	- Yüksek	- Yüksek	- Yüksek
Bekleme	23 Düşük	19 Düşük	23 Düşük	20 Düşük	22 Düşük	25 Düşük	22 Düşük	25 Düşük	22 Düşük	25 Düşük
	2 Orta	5 Orta	3 Orta	6 Orta	2 Orta	1 Orta	2 Orta	1 Orta	2 Orta	1 Orta
	1 Yüksek	2 Yüksek	- Yüksek	- Yüksek	2 Yüksek	- Yüksek	2 Yüksek	- Yüksek	2 Yüksek	- Yüksek
Evreler	VDV (m/s ^{1.75})									
	ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)		EU 2002/44/EC (2002)					
	EKDE ^a	VT ^a	EKDE ^b	VT ^b	EKDE ^e	VT ^e				
Küreme	- Düşük	- Düşük	3 Düşük	2 Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük
	8 Orta	3 Orta	- Orta	- Orta	17 Orta	10 Orta	17 Orta	10 Orta	17 Orta	10 Orta
	23 Yüksek	28 Yüksek	28 Yüksek	29 Yüksek	14 Yüksek	21 Yüksek	14 Yüksek	21 Yüksek	14 Yüksek	21 Yüksek
İleri yürüme	- Düşük	0 Düşük	3 Düşük	1 Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük
	7 Orta	2 Orta	- Orta	- Orta	12 Orta	6 Orta	12 Orta	6 Orta	12 Orta	6 Orta
	14 Yüksek	19 Yüksek	18 Yüksek	20 Yüksek	9 Yüksek	15 Yüksek	9 Yüksek	15 Yüksek	9 Yüksek	15 Yüksek
Geri yürüme	- Düşük	- Düşük	1 Düşük	0 Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük
	4 Orta	1 Orta	- Orta	- Orta	15 Orta	6 Orta	15 Orta	6 Orta	15 Orta	6 Orta
	26 Yüksek	29 Yüksek	29 Yüksek	30 Yüksek	15 Yüksek	24 Yüksek	15 Yüksek	24 Yüksek	15 Yüksek	24 Yüksek
Riperleme	- Düşük	- Düşük	1 Düşük	0 Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük
	2 Orta	- Orta	- Orta	- Orta	3 Orta	2 Orta	3 Orta	2 Orta	3 Orta	2 Orta
	2 Yüksek	4 Yüksek	3 Yüksek	4 Yüksek	1 Yüksek	2 Yüksek	1 Yüksek	2 Yüksek	1 Yüksek	2 Yüksek
Bekleme	15 Düşük	15 Düşük	20 Düşük	20 Düşük	15 Düşük	15 Düşük	15 Düşük	15 Düşük	15 Düşük	15 Düşük
	9 Orta	7 Orta	- Orta	- Orta	11 Orta	10 Orta	11 Orta	10 Orta	11 Orta	10 Orta
	2 Yüksek	4 Yüksek	6 Yüksek	6 Yüksek	- Yüksek	1 Yüksek	- Yüksek	1 Yüksek	- Yüksek	1 Yüksek

Kısaltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

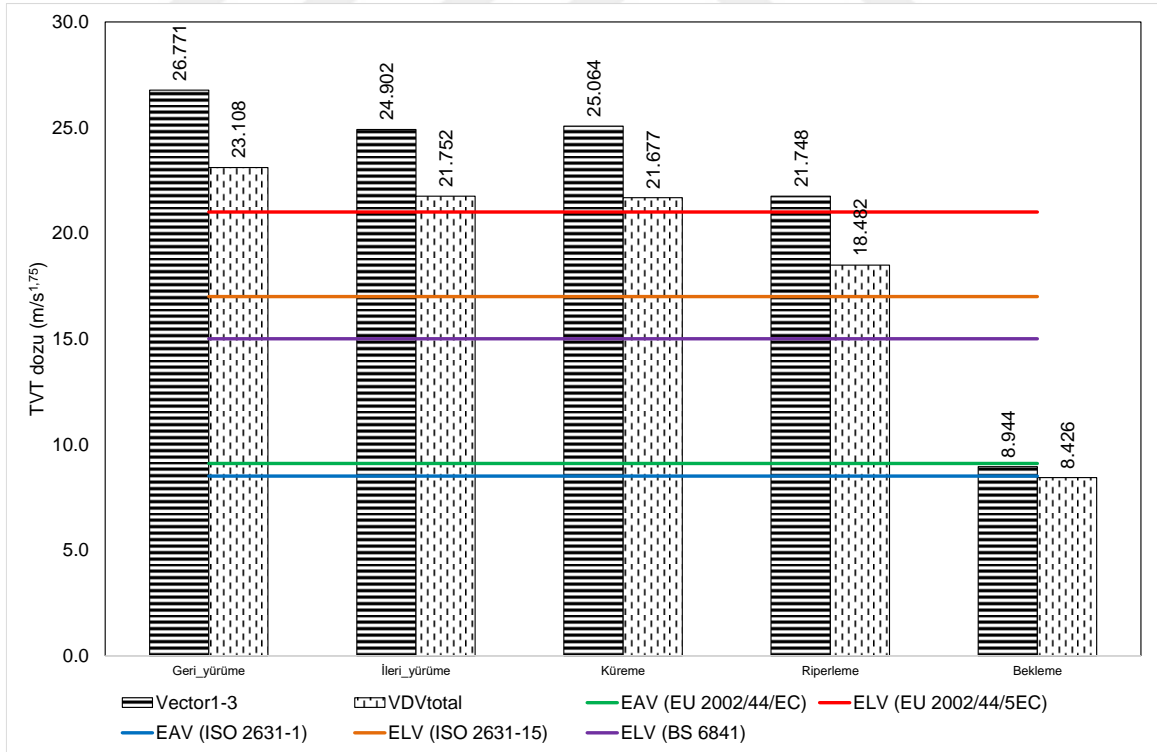
Tipik dozer çalışmasında ardışık olmayan küreme, ileri yürüme, geri yürüme, ripperleme ve bekleme evreleri bulunmaktadır. Operatörlerin titreşim ivmesi ve dozu bakımından TVT maruziyeti, bekleme dışındaki evrelerde birbirine yakındır. Operatör maruziyetleri titreşim ivmesi parametresi göz önüne alınarak en kötü değer eksenini (A(8)) üzerinden değerlendirildiğinde bekleme dışındaki evreler maruziyet eylem değerini (EAV) aşmış, operatörü orta düzeyde olumsuz sağlık riskine maruz bırakırken; bekleme evresi bu sınırın altında kalarak operatöre olumsuz sağlık riski potansiyeli açısından düşük düzeyde kalmaktadır. Ancak TVT maruziyeti, BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektör toplamı üzerinden değerlendirildiğinde EAV sınırı altında kalan bekleme dışındaki tüm evreler maruziyet sınır değerini geçmekte ve operatöre yüksek düzeyde olumsuz sağlık riski potansiyeli barındırmaktadır. Değerlendirme ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca yapıldığında, en kötü değer eksenini ölçütüne göre geri yürüme, ileri yürüme ve küreme evreleri ELV sınırı üzerine çıkarak operatöre yüksek sağlık riski potansiyeli taşımaktadır. Ripperleme evresi EAV bölgesinde kalarak orta düzeyde, bekleme evresi ise EAV sınırı altına inerek düşük düzeyde sağlık riskine işaret etmektedir. Vektör toplamı ölçütü dikkate alındığında ise EAV sınırı altında kalan bekleme dışındaki tüm evreler, operatöre yüksek sağlık riski potansiyeli taşıyan ELV bölgesinde yer almaktadır (Şekil 15.7).

Operatör maruziyetleri titreşim dozu parametresi göz önüne alınarak EU 2002/44/EC (2002) direktifi uyarınca en kötü değer eksenini üzerinden değerlendirildiğinde geri yürüme, ileri yürüme ve küreme evreleri yüksek riskli ELV bölgesinde, ripperleme orta riskli EAV bölgesinde ve bekleme evresi düşük riskli EAV sınırı altında kalmaktadır. Vektör toplamı ölçütüne göre ise EAV bölgesi altındaki düşük riskli alanda kalan bekleme evresi haricindeki tüm evreler, yüksek riskli ELV bölgesinde yer almaktadır. Operatör maruziyetleri ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca değerlendirildiğinde, en kötü değer eksenini ölçütüne göre geri yürüme, ileri yürüme, küreme ve ripperleme evreleri yüksek riskli ELV bölgesinde, bekleme evresi düşük riskli EAV sınırı altında kalmaktadır. Operatör maruziyetleri vektör toplamı dikkate alınarak değerlendirildiğinde ise geri yürüme, ileri yürüme, küreme ve ripperleme evreleri yüksek riskli ELV bölgesinde, bekleme evresi orta riskli EAV bölgesinde kalmaktadır. Operatör maruziyetleri BS 6841 (1987) standardı uyarınca en kötü değer eksenini ve vektör toplamı ölçütleri üzerinden değerlendirildiğinde, tehlike düzeyi tanımlanmamış olan alt bölgede yer alan bekleme dışındaki tüm evreler $15 \text{ m/s}^{1.75}$ üzerindeki tehlikeli bölgeye düşmektedir (Şekil 15.8).

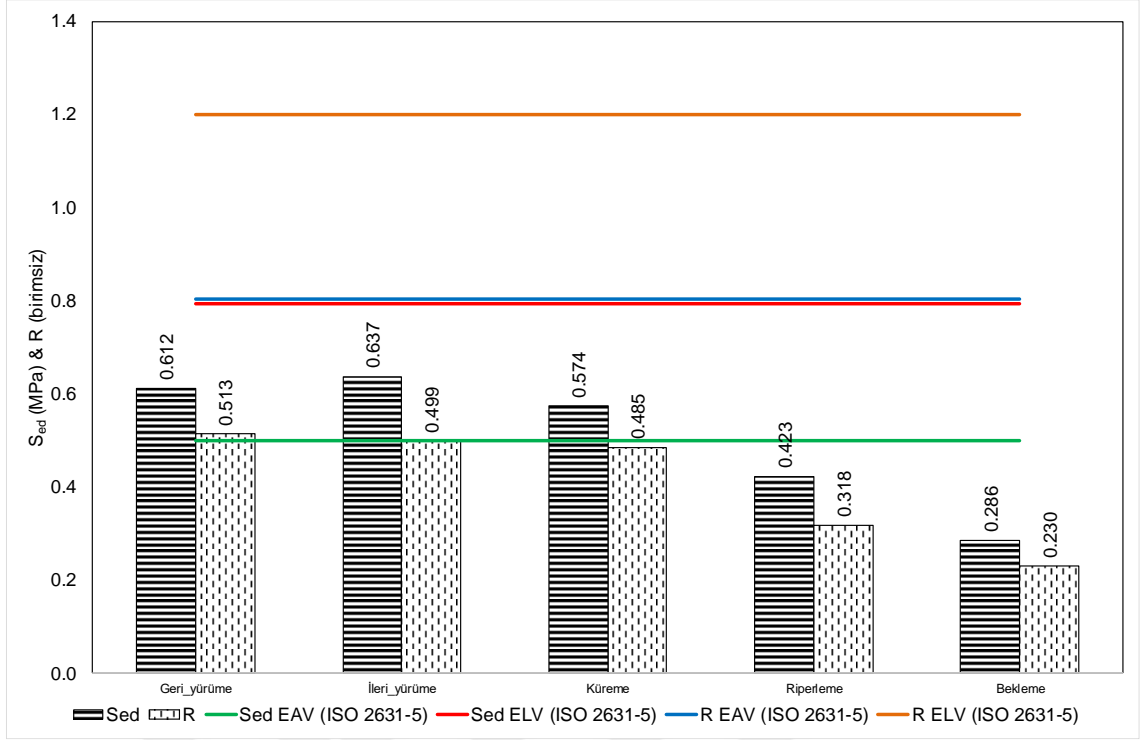
ISO 2631-5 (2004) standardı uyarınca S_{ed} parametresi için en kötü değer eksenini ölçütüne göre geri yürüme evresi orta düzeyli, diğer evreler düşük düzeyli sağlık riskine işaret etmektedir. Vektör toplamı ölçütüne göre ise geri ve ileri yürüme ile küreme evreleri orta düzeyli, ripperleme ve bekleme evreleri düşük düzeyli sağlık riskine işaret etmektedir. R faktörü için en kötü değer eksenini ile vektör toplamı ölçütlerine göre incelendiğinde operatörler, tüm evrelerde düşük düzeyde sağlık riski bölgesinde yer almaktadır (Şekil 15.9).



Şekil 15.7 Dozer operatörlerinin evrelere göre Vector₁₋₃ ve A(8) değerlerine göre sağlık riski



Şekil 15.8 Dozer operatörlerinin evrelere göre Vector₁₋₃ ve VDV_{Total} değerlerine göre sağlık riski



Şekil 15.9 Dozer operatörlerinin evrelere göre S_{ed} ve R faktörü değerlerine göre sağlık riski

Dozer operatörlerinin TVT ivmesi, dozu ve vücut tepkisi maruziyetlerini inceleyen standart ve direktifler doğrultusunda sağlık riskleri toplu olarak Çizelge 15.9'da verilmiştir.

Dozer operatörlerinin evrelerdeki TVT maruziyeti üzerine istatistiksel analizler yapılmıştır. Çoklu karşılaştırma testi sonucunda titreşim ivmesi ve dozu için bekleme evresinde maruziyet ile diğer tüm evreler arasında anlamlı bir farklılık olduğu belirlenmiştir.

Dozerler, boyutlarına göre orta ve büyük olarak ayrılmıştır. Büyük dozerlerin operatörleri, orta boyutlulara göre daha az titreşim ivmesi ve dozuna maruz kalmıştır. Dozer yürüme aksamı da paletli ve lastik tekerlekli olarak ikiye ayrılmıştır. İstatistiksel karşılaştırma analizi sonucunda grup ortalamaları arasında fark bulunamamıştır. Farklı yürüme aksamının dozer operatörlerinin TVT maruziyeti (titreşim ivmesi ve dozu) üzerinde etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır.

Dozer hizmet süresi, operatör deneyimi ve yaşı üzerinde yapılan çoklu karşılaştırma testleri sonucunda bunların, dozer operatörlerinin TVT maruziyeti (titreşim ivmesi ve dozu) üzerinde etkisi olmadığı görülmüştür. Benzer şekilde operatörler, basamak ya da harmandaki çalışma bölgesinden bağımsız olarak benzer düzeyde titreşim ivmesi ve dozuna maruz kalmaktadır. Ancak ortalamalar karşılaştırıldığında basamak zemini, harman zeminine göre operatörleri daha yüksek titreşim ivmesi ve dozuna maruz bırakmaktadır.

Çizelge 15.9 Dozer operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyeti

Evreler	A(8) (m/s ²)				Vücut tepkisi							
	ISO 2631-1 (1997)		EU 2002/44/EC (2002)		ISO 2631-5 (2004)							
	EKDE ^a	VT ^a	EKDE ^b	VT ^b	S _{ed} ^c	R ^d						
Küreme	1.006	Yüksek	1.508	Yüksek	1.006	Orta	1.508	Yüksek	0.574	Orta	0.485	Düşük
İleri yürüme	1.003	Yüksek	1.508	Yüksek	1.003	Orta	1.508	Yüksek	0.637	Orta	0.499	Düşük
Geri yürüme	1.090	Yüksek	1.635	Yüksek	1.090	Orta	1.635	Yüksek	0.612	Orta	0.513	Düşük
Riperleme	0.871	Orta	1.357	Yüksek	0.871	Orta	1.357	Yüksek	0.423	Düşük	0.318	Düşük
Bekleme	0.262	Düşük	0.347	Düşük	0.262	Düşük	0.347	Düşük	0.286	Düşük	0.230	Düşük

Evreler	VDV (m/s ^{1.75})				EU 2002/44/EC (2002)							
	ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)		EKDE ^e		VT ^e					
	EKDE ^a	VT ^a	EKDE ^b	VT ^b	EKDE ^e	VT ^e						
Küreme	21.677	Yüksek	25.064	Yüksek	21.677	Yüksek	25.064	Yüksek	21.677	Yüksek	25.064	Yüksek
İleri yürüme	21.752	Yüksek	24.902	Yüksek	21.752	Yüksek	24.902	Yüksek	21.752	Yüksek	24.902	Yüksek
Geri yürüme	23.108	Yüksek	26.771	Yüksek	23.108	Yüksek	26.771	Yüksek	23.108	Yüksek	26.771	Yüksek
Riperleme	18.482	Yüksek	21.748	Yüksek	18.482	Yüksek	21.748	Yüksek	18.482	Orta	21.748	Yüksek
Bekleme	8.426	Düşük	8.944	Düşük	8.426	Düşük	8.944	Düşük	8.426	Düşük	8.944	Düşük

Kısaltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

15.4 Yükleyiciler

15.4.1 Net kayıt evresinde tüm ölçütler üzerinden değerlendirme

Yükleyici operatörlerinin TVT maruziyeti etkilerini inceleyen standart ve direktiflerin ölçütlerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 15.10'da verilmiştir. En kötü durum ekseninde oluşan A(8) ölçütüne göre operatörlerin büyük kısmı; EU 2002/44/EC (2002) direktifi uyarınca EAV bölgesi içinde, ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca ELV bölgesinde yer almaktadır. Vektör toplamı ölçütüne göre değerlendirildiğinde ise operatörlerin büyük kısmı standart ve direktif uyarınca ELV bölgesinde yer almaktadır. TVT maruziyeti en kötü durum eksenini üzerinden VDV_{Total} ölçütüne göre değerlendirildiğinde operatörler orta ve yüksek risk grubuna dağılmakta olup BS 6841 (1987) standardı uyarınca ise hemen tümü yüksek risk grubunda yer almaktadırlar.

Yükleyici operatörleri TVT maruziyetine vücut tepkisini dikkate alan ISO 2631-5 (2004) standardı üzerinden değerlendirildiğinde büyük kısmının sağlık riski ciddiyeti düşük düzeyde çıkmaktadır. S_{ed} ve R faktörü ölçütlerine göre operatörlerin büyük bölümünde olumsuz sağlık etkisi olasılığı düşüktür. Ancak R faktörüne göre operatörlerin hemen tamamı için olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşüktür. ISO 2631-5 (2004) standardına göre TVT maruziyeti sonucu olumsuz sağlık riski, ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC (2002) direktifine kıyasla düşük çıkmaktadır.

Çizelge 15.10 Yükleyici operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması

A(8) (m/s ²)				Vücut tepkisi			
ISO 2631-1 (1997)		EU 2002/44/EC (2002)		ISO 2631-5 (2004)			
EKDE ^a	VT ^a	EKDE ^b	VT ^b	S_{ed}^c		R^d	
- Düşük	- Düşük	2 Düşük	- Düşük	15 Düşük	23 Düşük	7 Orta	2 Orta
12 Orta	5 Orta	21 Orta	8 Orta	7 Orta	2 Orta	3 Yüksek	3 Yüksek
16 Yüksek	23 Yüksek	5 Yüksek	20 Yüksek	6 Yüksek	3 Yüksek		

VDV_{Total} (m/s ^{1,75})				EU 2002/44/EC (2002)			
ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)		EU 2002/44/EC (2002)			
EKDE ^e	VT ^e	EKDE ^f	VT ^f	EKDE ^g		VT ^g	
- Düşük	- Düşük	4 Düşük	2 Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük
7 Orta	4 Orta	- Orta	- Orta	15 Orta	9 Orta	9 Orta	9 Orta
21 Yüksek	24 Yüksek	24 Yüksek	26 Yüksek	13 Yüksek	19 Yüksek		

Kısaltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

15.4.2 Yükleyici evrelerinin tüm ölçütler üzerinden değerlendirmesi

Yükleyici operatörlerinin TVT maruziyeti etkilerini inceleyen standart ve direktiflerin ölçütlerinden elde edilen sonuçlar evreler bazında Çizelge 15.11'de verilmiştir. Operatörlerin ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC (2002) direktifi uyarınca en kötü durum ekseninde oluşan A(8) ve VDV_{Total} değerleri dikkate alındığında operatörler, bekleme ve ileri yürüme haricindeki evrelerde ELV bölgesinde yer almaktadır. Bekleme evresi çok düşük düzeyli TVT ivmesi ile temsil edilmekte olup operatörler, EAV sınırı altında, ileri yürüme evresinde ise EAV bölgesinde yer almaktadır. Vektör toplamı ölçütü göz önüne alındığında ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC (2002) direktifi sınırları uyarınca operatör maruziyetleri ELV bölgesine geçmektedir.

Titreşim dozu maruziyeti BS 6841 (1987) standardı bakımından değerlendirildiğinde ise sağlık riski sadece bekleme evresinde düşük çıkmakta olup diğer tüm evrelerde yüksek düzeyde kalmaktadır.

Çizelge 15.11 Yükleyici operatörlerinin evreler bazında TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması

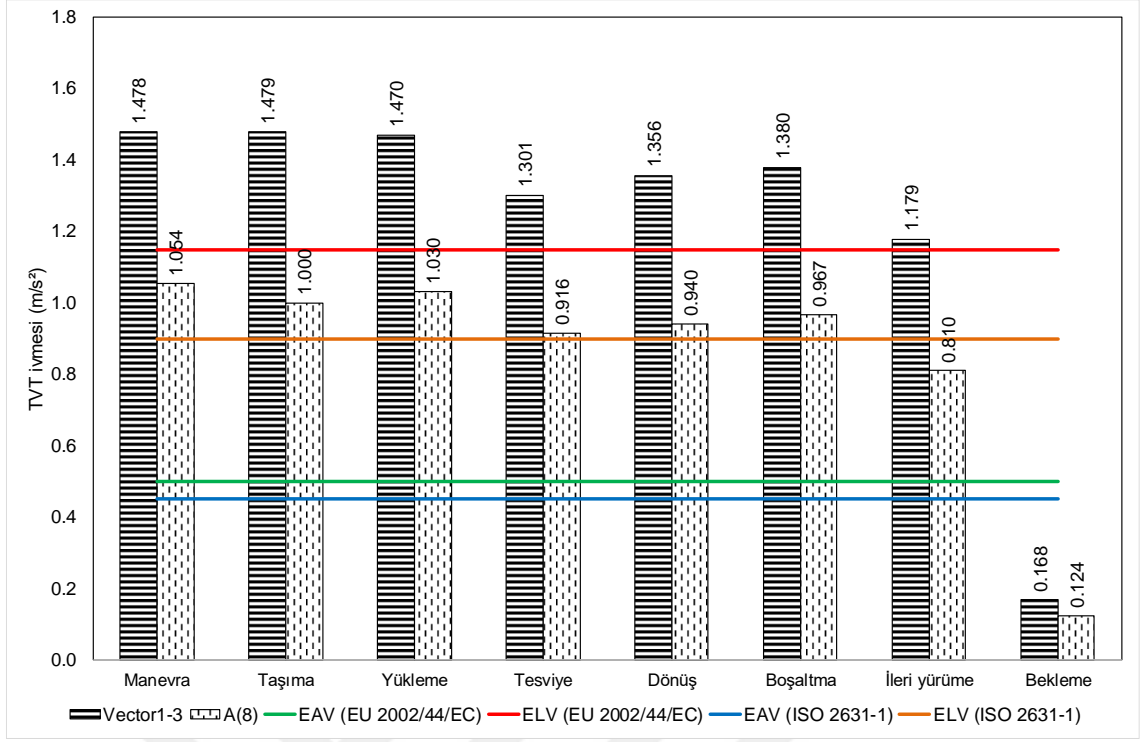
Evreler	A(8) (m/s ²)								Vücut tepkisi			
	ISO 2631-1 (1997)				EU 2002/44/EC (2002)				ISO 2631-5 (2004)			
	EKDE ^a		VT ^a		EKDE ^b		VT ^b		S _{ed} ^c		R ^d	
Yükleme	1	Düşük	1	Düşük	1	Düşük	1	Düşük	14	Düşük	20	Düşük
	5	Orta	0	Orta	15	Orta	3	Orta	5	Orta	1	Orta
	15	Yüksek	20	Yüksek	5	Yüksek	17	Yüksek	2	Yüksek	-	Yüksek
Taşıma	1	Düşük	-	Düşük	1	Düşük	-	Düşük	13	Düşük	17	Düşük
	7	Orta	2	Orta	14	Orta	5	Orta	4	Orta	4	Orta
	13	Yüksek	19	Yüksek	6	Yüksek	16	Yüksek	4	Yüksek	-	Yüksek
Boşaltma	2	Düşük	1	Düşük	2	Düşük	1	Düşük	14	Düşük	19	Düşük
	5	Orta	3	Orta	9	Orta	4	Orta	5	Orta	-	Orta
	12	Yüksek	15	Yüksek	8	Yüksek	14	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
Dönüş	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük	18	Düşük	24	Düşük
	9	Orta	3	Orta	19	Orta	6	Orta	6	Orta	-	Orta
	15	Yüksek	21	Yüksek	5	Yüksek	18	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
Tesviye	-	Düşük	-	Düşük	1	Düşük	-	Düşük	10	Düşük	12	Düşük
	6	Orta	1	Orta	12	Orta	5	Orta	1	Orta	-	Orta
	8	Yüksek	13	Yüksek	1	Yüksek	9	Yüksek	3	Yüksek	1	Yüksek
İleri yürüme	-	Düşük	-	Düşük	3	Düşük	-	Düşük	12	Düşük	14	Düşük
	11	Orta	4	Orta	10	Orta	6	Orta	2	Orta	-	Orta
	4	Yüksek	11	Yüksek	2	Yüksek	9	Yüksek	1	Yüksek	1	Yüksek
Manevra	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük	1	Düşük	2	Düşük
	-	Orta	-	Orta	1	Orta	-	Orta	1	Orta	-	Orta
	2	Yüksek	2	Yüksek	1	Yüksek	2	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
Bekleme	18	Düşük	17	Düşük	18	Düşük	17	Düşük	17	Düşük	17	Düşük
	-	Orta	1	Orta	-	Orta	1	Orta	-	Orta	1	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	1	Yüksek	-	Yüksek
Evreler	VDV (m/s ^{1.75})											
	ISO 2631-1 (1997)				BS 6841 (1987)				EU 2002/44/EC (2002)			
	EKDE ^a		VT ^a		EKDE ^b		VT ^b		EKDE ^e		VT ^e	
Yükleme	-	Düşük	-	Düşük	4	Düşük	1	Düşük	-	Düşük	-	Düşük
	5	Orta	2	Orta	-	Orta	-	Orta	10	Orta	5	Orta
	16	Yüksek	19	Yüksek	17	Yüksek	20	Yüksek	11	Yüksek	16	Yüksek
Taşıma	1	Düşük	-	Düşük	4	Düşük	1	Düşük	1	Düşük	1	Düşük
	5	Orta	4	Orta	-	Orta	-	Orta	11	Orta	6	Orta
	15	Yüksek	17	Yüksek	17	Yüksek	20	Yüksek	9	Yüksek	14	Yüksek
Boşaltma	2	Düşük	1	Düşük	5	Düşük	4	Düşük	2	Düşük	1	Düşük
	4	Orta	3	Orta	-	Orta	-	Orta	9	Orta	8	Orta
	13	Yüksek	15	Yüksek	14	Yüksek	15	Yüksek	8	Yüksek	10	Yüksek
Dönüş	-	Düşük	-	Düşük	3	Düşük	1	Düşük	-	Düşük	-	Düşük
	7	Orta	3	Orta	-	Orta	-	Orta	18	Orta	10	Orta
	17	Yüksek	21	Yüksek	21	Yüksek	23	Yüksek	6	Yüksek	14	Yüksek
Tesviye	-	Düşük	-	Düşük	3	Düşük	1	Düşük	-	Düşük	-	Düşük
	3	Orta	2	Orta	-	Orta	-	Orta	9	Orta	7	Orta
	11	Yüksek	12	Yüksek	11	Yüksek	13	Yüksek	5	Yüksek	7	Yüksek
İleri yürüme	-	Düşük	-	Düşük	5	Düşük	4	Düşük	-	Düşük	-	Düşük
	7	Orta	5	Orta	-	Orta	-	Orta	13	Orta	10	Orta
	8	Yüksek	10	Yüksek	10	Yüksek	11	Yüksek	2	Yüksek	5	Yüksek
Manevra	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük
	2	Orta	2	Orta	-	Orta	-	Orta	1	Orta	2	Orta
	2	Yüksek	2	Yüksek	2	Yüksek	2	Yüksek	1	Yüksek	2	Yüksek
Bekleme	16	Düşük	16	Düşük	17	Düşük	17	Düşük	16	Düşük	16	Düşük
	1	Orta	1	Orta	-	Orta	-	Orta	2	Orta	2	Orta
	1	Yüksek	1	Yüksek	1	Yüksek	1	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek

Kısaltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

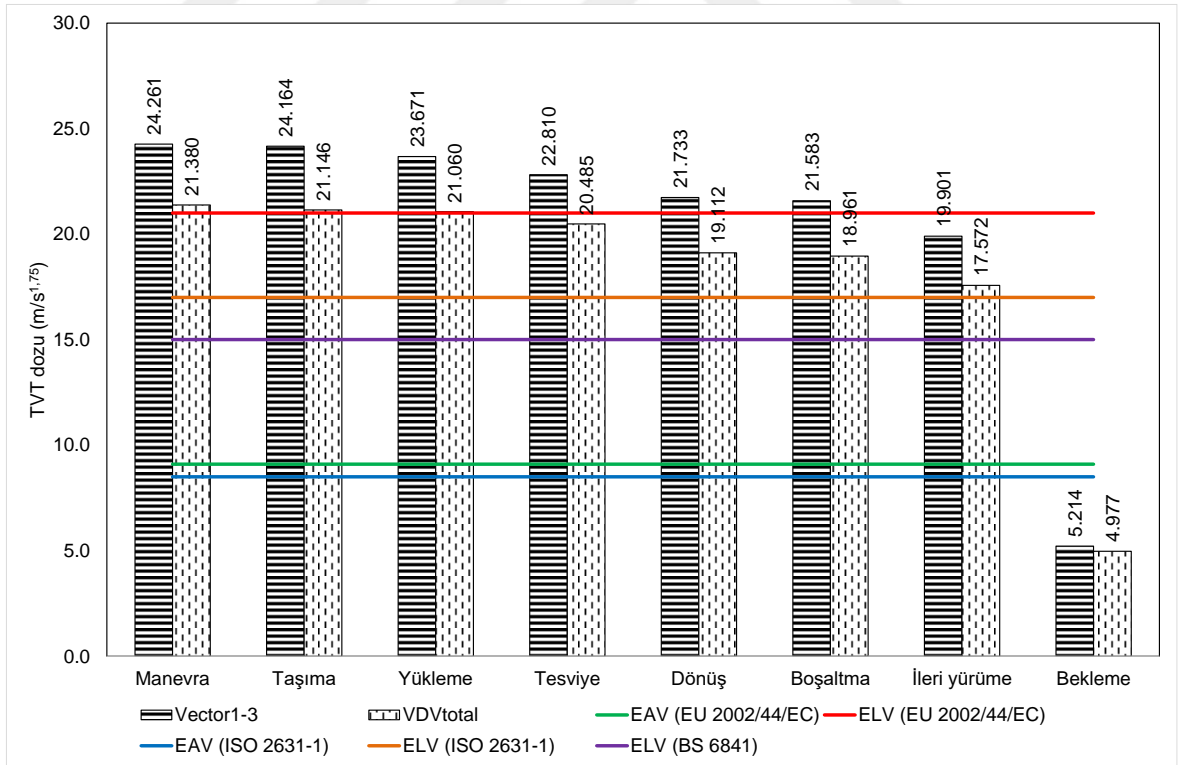
Yükleyici operatörlerinin TVT maruziyeti, vücut tepkisini değerlendiren ISO 2631-5 (2004) standardı üzerinden değerlendirildiğinde operatörlerin büyük kısmının sağlık riski ciddiyeti düşük düzeyde çıkmaktadır. S_{ed} ölçütüne göre tüm evrelerde operatörlerin büyük bölümünde olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşüktür. S_{ed} ile operatörün yaşı ile tecrübesine bağlı azalan güç durumunu dikkate alan R faktörüne göre ise operatörlerin hemen tamamı için olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşüktür. ISO 2631-5 (2004) standardına göre TVT maruziyeti sonucu olumsuz sağlık riski, ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC (2002) direktifine kıyasla düşük çıkmaktadır.

Yükleyici çalışması ardışık yükleme, taşıma, boşaltma, dönüş ile ardışık olmayan ileri yürüme, manevra, tesviye ve bekleme evrelerinden oluşmaktadır. Operatörlerin titreşim ivmesi ve dozu bakımından TVT maruziyeti, bekleme dışındaki evrelerde birbirine yakındır. Operatör maruziyetleri titreşim ivmesi parametresi göz önüne alınarak en kötü değer eksenini (A(8)) üzerinden değerlendirildiğinde bekleme dışındaki evreler maruziyet eylem değerini (EAV) aşmış, operatörü orta düzeyde olumsuz sağlık riskine maruz bırakırken; bekleme evresi bu sınırın altında kalarak operatöre olumsuz sağlık riski potansiyeli açısından düşük düzeyde kalmaktadır. Ancak TVT maruziyeti, BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektör toplamı üzerinden değerlendirildiğinde EAV sınırı altında kalan bekleme dışındaki tüm evreler maruziyet sınırı değerini geçmekte ve operatöre yüksek düzeyde olumsuz sağlık riski potansiyeli barındırmaktadır. Değerlendirme ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca yapıldığında, en kötü değer eksenini ölçütüne göre ileri yürüme evresi EAV bölgesinde kalarak orta düzeyde, bekleme evresi ise EAV sınırı altına inerek düşük düzeyde sağlık riskine işaret ederken, diğer tüm evreler ELV sınırı üzerine çıkarak operatöre yüksek sağlık riski potansiyeli taşımaktadır. Vektör toplamı ölçütü dikkate alındığında ise EAV sınırı altında kalan bekleme dışındaki tüm evreler, operatöre yüksek sağlık riski potansiyeli taşıyan ELV bölgesinde yer almaktadır (Şekil 15.10).

Operatör maruziyetleri titreşim dozu parametresi göz önüne alınarak EU 2002/44/EC (2002) direktifi uyarınca en kötü değer eksenini üzerinden değerlendirildiğinde manevra, taşıma ve yükleme evreleri yüksek riskli ELV bölgesinde, tesviye, dönüş, boşaltma ve ileri yürüme orta riskli EAV bölgesinde ve bekleme evresi düşük riskli EAV sınırı altında kalmaktadır. Vektör toplamı ölçütüne göre ise EAV bölgesi altındaki düşük riskli alanda kalan bekleme ile EAV bölgesinde orta riskli alanda kalan ileri yürüme evresi haricindeki tüm evreler, yüksek riskli ELV bölgesinde yer almaktadır. Operatör maruziyetleri ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca değerlendirildiğinde, en kötü değer eksenini ve vektör toplamı ölçütlerine göre bekleme evresi düşük riskli EAV sınırı altında kalırken, diğer tüm evreler yüksek riskli ELV bölgesine çıkmaktadır. Operatör maruziyetleri BS 6841 (1987) standardı uyarınca en kötü değer eksenini ve vektör toplamı ölçütleri üzerinden değerlendirildiğinde, tehlike düzeyi tanımlanmamış olan alt bölgede yer alan bekleme dışındaki tüm evreler $15 \text{ m/s}^{1.75}$ üzerindeki tehlikeli bölgeye düşmektedir (Şekil 15.11).

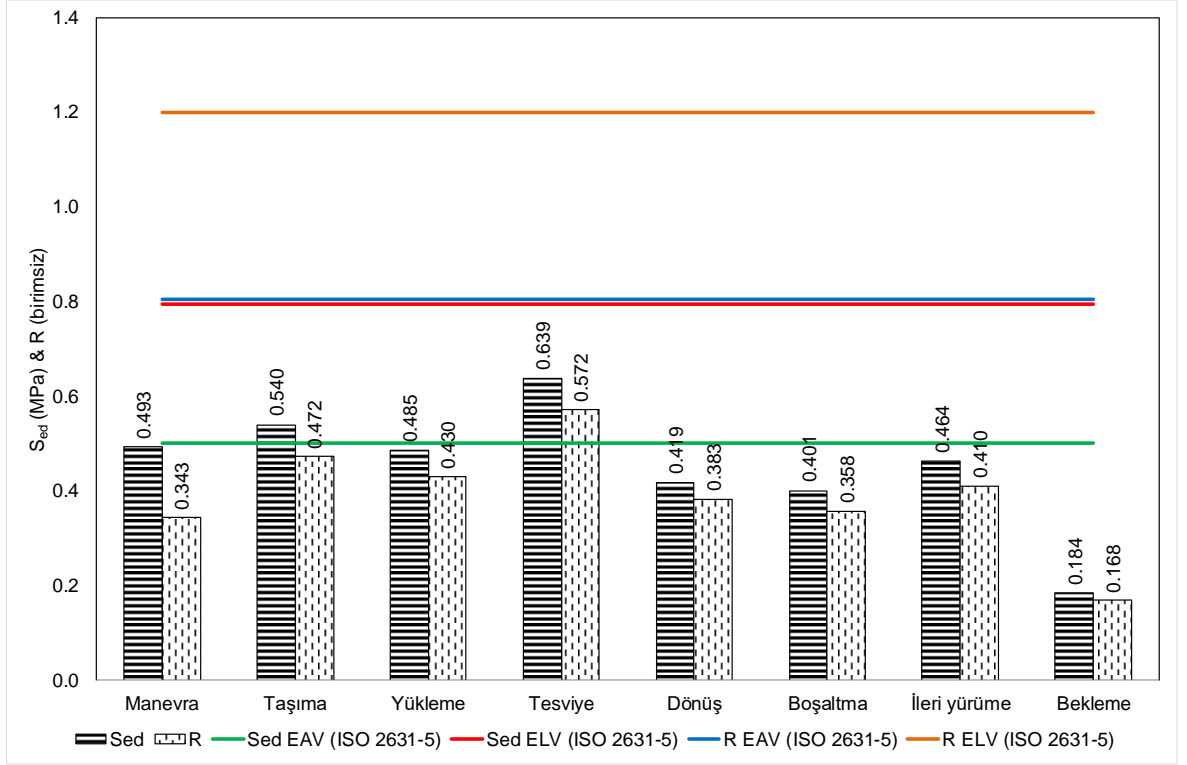


Şekil 15.10 Yükleyici operatörlerinin evrelere göre Vector₁₋₃ ve A(8) değerlerine göre sağlık riski



Şekil 15.11 Yükleyici operatörlerinin evrelere göre Vector₁₋₃ ve VDV_{Total} değerlerine göre sağlık riski

ISO 2631-5 (2004) standardı uyarınca S_{ed} parametresi için en kötü değer eksenini ölçütüne göre yalnızca tesviye evresi orta düzeyli, diğer evreler düşük düzeyli sağlık riskine işaret etmektedir. Vektör toplamı ölçütüne göre ise taşıma ve tesviye evreleri orta düzeyli, diğer tüm evreler düşük düzeyli sağlık riskine işaret etmektedir. R faktörü için en kötü değer eksenini ile vektör toplamı ölçütlerine göre incelendiğinde operatörler, tüm evrelerde düşük düzeyde sağlık riski bölgesinde yer almaktadır (Şekil 15.12).



Şekil 15.12 Yükleyici operatörlerinin evrelere göre S_{ed} ve R faktörü değerlerine göre sağlık riski

Yükleyici operatörlerinin TVT ivmesi, dozu ve vücut tepkisi maruziyetlerini inceleyen standart ve direktifler doğrultusunda sağlık riskleri toplu olarak Çizelge 15.12'de verilmiştir.

Operatör TVT maruziyetinin evreler bazında anlamlı biçimde değişip, değişmediği çoklu karşılaştırma analizi aracılığıyla incelenmiştir. Bekleme evresi ile diğer tüm evreler arasında anlamlı bir fark vardır.

Yükleyicilerin kova kapasitesi betimleyici istatistikler ile incelendiğinde büyük kapasiteli kovanın en az titreşim ivmesi ve dozu ürettiği sonucu çıkarken; çoklu karşılaştırma analizi sonucunda kova kapasiteleri arasında TVT düzeyi bakımından anlamlı bir fark çıkmamıştır. Lastik koruma zinciri kullanan ve kullanmayan grup ortalamaları arasında titreşim dozu bakımından anlamlı bir farklılık yoktur. Ancak titreşim ivmesi incelendiğinde, zincirsiz yükleyiciler ile sadece ön lastiklerinde zincir bulunan yükleyiciler arasında anlamlı bir farklılık çıkarken; çift zincir takılı olan yükleyiciler ile diğer

gruplar arasında anlamlı bir farklılık çıkmamaktadır. Dolayısıyla ön dingilde zincir kullanan lastik tekerlekli yükleyicilerin operatörleri daha fazla titreşim ivmesine maruz kalmaktadır.

Yükleyici hizmet süresi, operatör yaşı, operatör deneyimi grupları ile titreşim ivmesi ve dozu arasında anlamlı bir farklılık yoktur ve yükleyici operatörleri, bu değişkenlerden etkilenmemektedir.

Gevşek ve sıkı zemin karşılaştırıldığında operatörler zemin türünden bağımsız olarak benzer düzeyde titreşim ivmesi ve dozuna maruz kalmakta olup gevşek zemin, operatörleri daha düşük titreşim ivme ve dozuna maruz bırakmaktadır. Tesviye ve normal çalışma karşılaştırıldığında, ortalamalar arasında titreşim dozu için fark olmadığı, titreşim ivmesi için ise anlamlı bir fark olduğu sonucuna varılmıştır. Tesviye, operatörleri daha düşük titreşim ivmesine maruz bırakmaktadır. Taşıma ve dönüş evreleri karşılaştırıldığında ise titreşim ivmesi ve dozu arasında fark yoktur. Bu sonuçlar Newell vd. (2006) ve Blood vd.'nin (2012) çalışmalarını desteklemektedir.



Çizelge 15.12 Yükleyici operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyeti

Evreler	A(8) (m/s ²)								Vücut tepkisi			
	ISO 2631-1 (1997)				EU 2002/44/EC (2002)				ISO 2631-5 (2004)			
	EKDE ^a		VT ^a		EKDE ^b		VT ^b		S _{ed} ^c		R ^d	
Yükleme	1,030	Yüksek	1,470	Yüksek	1,030	Orta	1,470	Yüksek	0,485	Düşük	0,430	Düşük
Taşıma	1,000	Yüksek	1,479	Yüksek	1,000	Orta	1,479	Yüksek	0,540	Orta	0,472	Düşük
Boşaltma	0,967	Yüksek	1,380	Yüksek	0,967	Orta	1,380	Yüksek	0,401	Düşük	0,358	Düşük
Dönüş	0,940	Yüksek	1,356	Yüksek	0,940	Orta	1,356	Yüksek	0,419	Düşük	0,383	Düşük
Tesviye	0,916	Yüksek	1,301	Yüksek	0,916	Orta	1,301	Yüksek	0,639	Orta	0,572	Düşük
İleri yürüme	0,810	Orta	1,179	Yüksek	0,810	Orta	1,179	Yüksek	0,464	Düşük	0,410	Düşük
Manevra	1,054	Yüksek	1,478	Yüksek	1,054	Orta	1,478	Yüksek	0,493	Düşük	0,343	Düşük
Bekleme	0,124	Düşük	0,168	Düşük	0,124	Düşük	0,168	Düşük	0,184	Düşük	0,168	Düşük

Evreler	VDV (m/s ^{1,75})							
	ISO 2631-1 (1997)				EU 2002/44/EC (2002)			
	EKDE ^a		VT ^a		EKDE ^b		VT ^b	
Yükleme	21,060	Yüksek	23,671	Yüksek	21,060	Yüksek	23,671	Yüksek
Taşıma	21,146	Yüksek	24,164	Yüksek	21,146	Yüksek	24,164	Yüksek
Boşaltma	18,961	Yüksek	21,583	Yüksek	18,961	Yüksek	21,583	Yüksek
Dönüş	19,112	Yüksek	21,733	Yüksek	19,112	Yüksek	21,733	Yüksek
Tesviye	20,485	Yüksek	22,810	Yüksek	20,485	Yüksek	22,810	Yüksek
İleri yürüme	17,572	Yüksek	19,901	Yüksek	17,572	Yüksek	19,901	Yüksek
Manevra	21,380	Yüksek	24,261	Yüksek	21,380	Yüksek	24,261	Yüksek
Bekleme	4,977	Düşük	5,214	Düşük	4,977	Düşük	5,214	Düşük

Kısıltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

15.5 Greyderler

15.5.1 Net kayıt evresinde tüm ölçütler üzerinden değerlendirme

Greyder operatörlerinin TVT maruziyeti etkilerini inceleyen standart ve direktiflerin ölçütlerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 15.13'de verilmiştir. En kötü durum ekseninde oluşan A(8) ve VDV_{Total} değerlerine göre operatörlerin büyük kısmı EAV bölgesi içinde kalırken; diğer kısmı ELV bölgesi üstündedir. Vektör toplamı ölçütü göz önüne alındığında da EU 2002/44/EC (2002) direktifi bakımından büyük değişiklik oluşmamaktadır. Diğer yandan BS 6841 (1987) standardına göre en kötü durum ekseninde düşük ve yüksek risk dağılımı eşit şekilde olurken, vektör toplamı ölçütünde operatörlerin tümü yüksek risk bölgesinde yer almaktadır. Bu duruma hem en kötü durum eksenine hem de vektör toplamı ortalamalarının, eşik sınır olan 15 m/s^{1,75} civarında olması yol açmaktadır.

Greyder operatörleri TVT maruziyetine vücut tepkisini değerlendiren ISO 2631-5 (2004) standardı üzerinden değerlendirildiğinde, büyük kısmının sağlık riski ciddiyeti düşük düzeyde çıkmaktadır. S_{ed} ölçütüne göre operatörlerin büyük bölümünde olumsuz sağlık etkisi olasılığı düşüktür. R faktörüne göre ise operatörlerin hemen tamamı için olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşüktür. ISO 2631-5 (2004) standardına göre TVT maruziyeti sonucu olumsuz sağlık riski, ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC (2002) direktifine kıyasla düşük çıkmaktadır.

Çizelge 15.13 Greyder operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması

ISO 2631-1 (1997)		A(8) (m/s ²)		Vücut tepkisi	
EKDE ^a	VT ^a	EKDE ^b	VT ^b	S _{ed} ^c	R ^d
- Düşük	- Düşük	1 Düşük	- Düşük	8 Düşük	15 Düşük
12 Orta	1	13 Orta	10 Orta	5 Orta	1 Orta
4 Yüksek	15 Yüksek	2 Yüksek	6 Yüksek	3 Yüksek	- Yüksek

ISO 2631-1 (1997)		VDV _{Total} (m/s ^{1,75})		EU 2002/44/EC (2002)	
EKDE ^e	VT ^e	EKDE ^f	VT ^f	EKDE ^g	VT ^g
- Düşük	- Düşük	7 Düşük	1 Düşük	- Düşük	- Düşük
8 Orta	7 Orta	- Orta	- Orta	11 Orta	9 Orta
8 Yüksek	9 Yüksek	9 Yüksek	15 Yüksek	5 Yüksek	7 Yüksek

Kısaltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

15.5.2 Greyder evrelerinin tüm ölçütler üzerinden değerlendirmesi

Greyder operatörlerinin TVT maruziyeti etkilerini inceleyen standart ve direktiflerin ölçütlerinden elde edilen sonuçlar evreler bazında Çizelge 15.14'de verilmiştir. En kötü durum ekseninde oluşan A(8) dikkate alındığında operatörler, ISO 2631-1 (1997) standardı bazında yalnızca bekleme evresinde EAV bölgesi altında, diğer evrelerde EAV bölgesi içinde yer almaktadır. Evreler EU 2002/44/EC (2002) direktifi bakımından değerlendirildiğinde de benzer durum söz konusudur. Operatörlerin sağlık riski vektör toplamı ölçütüne göre değerlendirildiğinde, ISO 2631-1 (1997) standardı bazında büyük bölümü ELV sınırı üzerinde; EU 2002/44/EC (2002) direktifi kapsamında ise EAV bölgesi içinde yer almaktadır.

Operatörlerin TVT maruziyeti VDV_{Total} ile değerlendirildiğinde ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC (2002) direktifi uyarınca bekleme evresi hariç diğer evrelerde operatörlerin sağlık riski ciddiyeti orta düzeyde kalmaktadır. Bekleme evresinde ise sağlık riski ciddiyeti düşük düzeydedir. Diğer yandan BS 6841 (1987) standardı vektör toplamı ölçütüne göre operatörlerin büyük bir kısmı yüksek risk bölgesinde yer almaktadır.

Greyder operatörleri TVT maruziyetine vücut tepkisini değerlendiren ISO 2631-5 (2004) standardı üzerinden değerlendirildiğinde, operatörlerin büyük kısmının sağlık riski ciddiyeti tüm evrelerde düşük düzeyde çıkmaktadır. S_{ed} ölçütüne göre operatörlerin büyük bölümünde olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşüktür. S_{ed} ile operatörün yaşı ile tecrübesine bağlı azalan güç durumunu dikkate alan R faktörüne göre ise operatörlerin hemen tamamı için olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşüktür. ISO 2631-5 (2004) standardına göre TVT maruziyeti sonucu olumsuz sağlık riski, ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC (2002) direktifine kıyasla düşük çıkmaktadır.

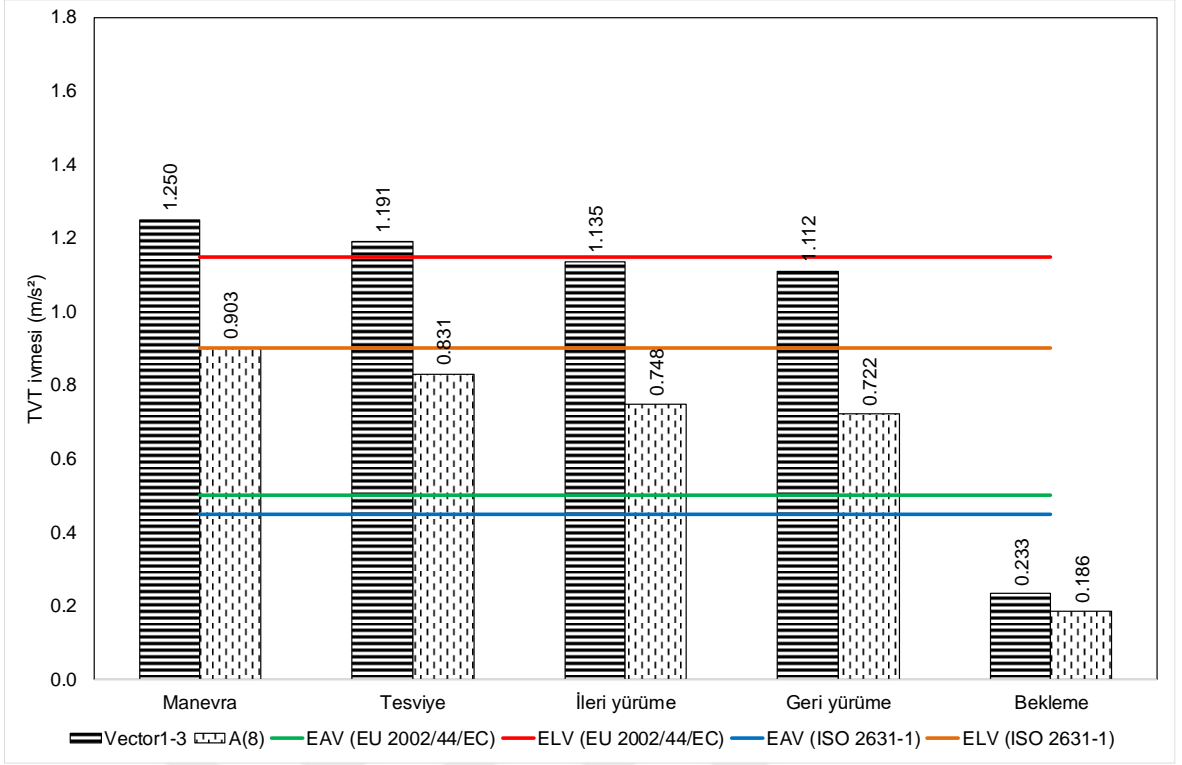
Çizelge 15.14 Greyder operatörlerinin evreler bazında TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırması

Evreler	A(8) (m/s ²)								Vücut tepkisi			
	ISO 2631-1 (1997)				EU 2002/44/EC (2002)				ISO 2631-5 (2004)			
	EKDE ^a	VT ^a			EKDE ^b	VT ^b			S_{ed} ^c	R ^d		
Tesviye	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük	10	Düşük	16	Düşük
	12	Orta	1	Orta	13	Orta	11	Orta	6	Orta	-	Orta
	4	Yüksek	15	Yüksek	3	Yüksek	5	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
İleri yürüme	3	Düşük	1	Düşük	3	Düşük	1	Düşük	3	Düşük	6	Düşük
	2	Orta	2	Orta	4	Orta	3	Orta	3	Orta	2	Orta
	3	Yüksek	5	Yüksek	1	Yüksek	4	Yüksek	2	Yüksek	-	Yüksek
Geri yürüme	-	Düşük	0	Düşük	2	Düşük	0	Düşük	7	Düşük	7	Düşük
	7	Orta	2	Orta	7	Orta	7	Orta	-	Orta	2	Orta
	2	Yüksek	7	Yüksek	-	Yüksek	2	Yüksek	2	Yüksek	-	Yüksek
Manevra	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük	0	Düşük	2	Düşük	2	Düşük
	1	Orta	-	Orta	1	Orta	1	Orta	-	Orta	-	Orta
	1	Yüksek	2	Yüksek	1	Yüksek	1	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
Bekleme	14	Düşük	13	Düşük	14	Düşük	14	Düşük	13	Düşük	15	Düşük
	1	Orta	2	Orta	1	Orta	1	Orta	1	Orta	-	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	1	Yüksek	-	Yüksek
Evreler	VDV (m/s ^{1.75})											
	ISO 2631-1 (1997)				BS 6841 (1987)				EU 2002/44/EC (2002)			
	EKDE ^a	VT ^a			EKDE ^b	VT ^b			EKDE ^e	VT ^e		
Tesviye	-	Düşük	-	Düşük	10	Düşük	1	Düşük	-	Düşük	-	Düşük
	11	Orta	8	Orta	-	Orta	-	Orta	12	Orta	11	Orta
	5	Yüksek	8	Yüksek	6	Yüksek	15	Yüksek	4	Yüksek	5	Yüksek
İleri yürüme	1	Düşük	0	Düşük	3	Düşük	3	Düşük	1	Düşük	1	Düşük
	3	Orta	3	Orta	-	Orta	-	Orta	4	Orta	4	Orta
	4	Yüksek	5	Yüksek	5	Yüksek	5	Yüksek	3	Yüksek	3	Yüksek
Geri yürüme	-	Düşük	-	Düşük	6	Düşük	2	Düşük	-	Düşük	-	Düşük
	7	Orta	5	Orta	-	Orta	-	Orta	7	Orta	7	Orta
	2	Yüksek	4	Yüksek	3	Yüksek	7	Yüksek	2	Yüksek	2	Yüksek
Manevra	-	Düşük	-	Düşük	1	Düşük	1	Düşük	-	Düşük	-	Düşük
	1	Orta	1	Orta	-	Orta	-	Orta	2	Orta	1	Orta
	1	Yüksek	1	Yüksek	1	Yüksek	1	Yüksek	0	Yüksek	1	Yüksek
Bekleme	10	Düşük	10	Düşük	14	Düşük	14	Düşük	10	Düşük	10	Düşük
	4	Orta	4	Orta	-	Orta	-	Orta	5	Orta	5	Orta
	1	Yüksek	1	Yüksek	1	Yüksek	1	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek

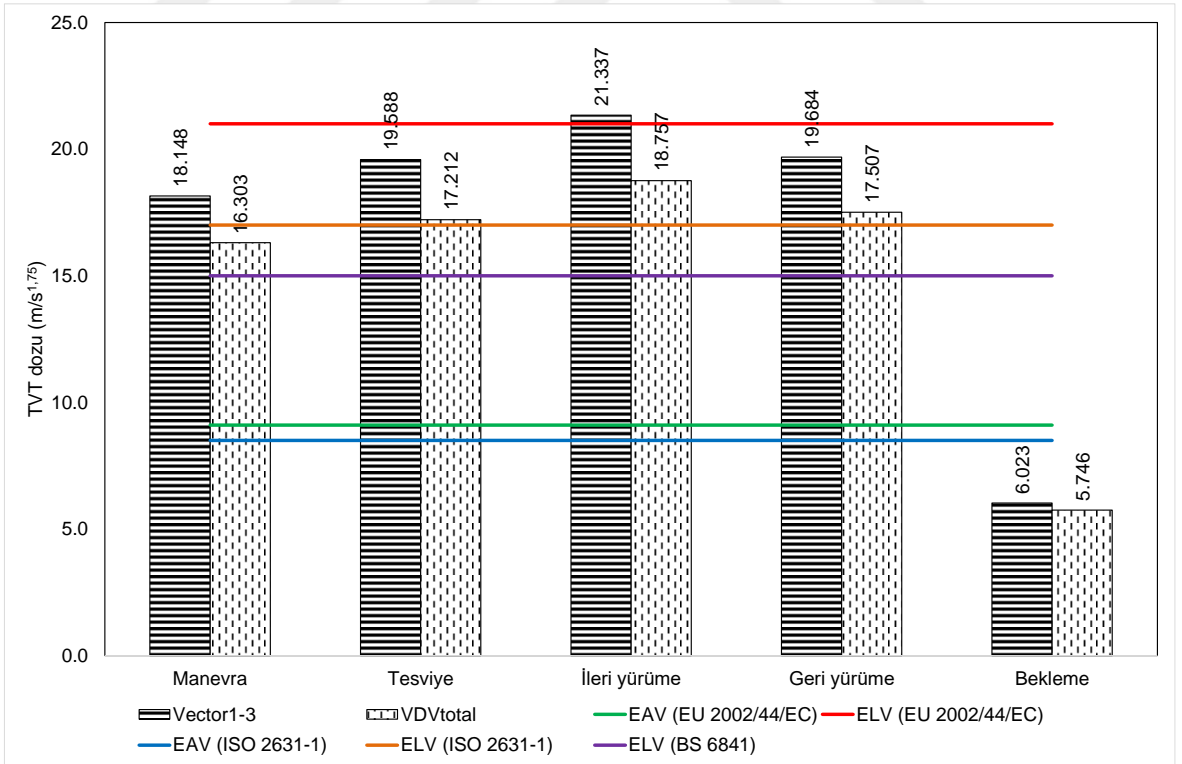
Greyder çalışması ardışık olmayan manevra, tesviye ileri yürüme, geri yürüme ve bekleme evrelerinden oluşmaktadır. Operatörlerin titreşim ivmesi ve dozu bakımından TVT maruziyeti, bekleme dışındaki evrelerde birbirine yakındır. Operatör maruziyetleri titreşim ivmesi parametresi göz önüne alınarak en kötü değer eksenini (A(8)) üzerinden değerlendirildiğinde bekleme dışındaki evreler maruziyet eylem değerini (EAV) aşmış, operatörü orta düzeyde olumsuz sağlık riskine maruz bırakırken; bekleme evresi bu sınırın altında kalarak operatöre olumsuz sağlık riski potansiyeli açısından düşük düzeyde kalmaktadır. Ancak TVT maruziyeti, BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektör toplamı üzerinden değerlendirildiğinde manevra ve tesviye evreleri operatöre yüksek düzeyde olumsuz sağlık riski potansiyeli barındıran ELV bölgesine, ileri ve geri yürüme evreleri operatöre orta düzeyde olumsuz sağlık riski potansiyeli barındıran EAV bölgesine düşmektedir. EAV sınırı altında kalan bekleme evresi düşük düzeyde olumsuz sağlık riskine işaret etmektedir. Değerlendirme ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca yapıldığında, en kötü değer eksenini ölçütüne göre manevra evresi ELV bölgesinde kalarak yüksek düzeyde; tesviye, ileri ve geri yürüme evreleri EAV bölgesinde kalarak orta düzeyde ve bekleme evresi sınırı altına inerek düşük düzeyde sağlık riskine işaret etmektedir. Vektör toplamı ölçütü dikkate alındığında ise EAV sınırı altında kalan bekleme dışındaki tüm evreler, operatöre yüksek sağlık riski potansiyeli taşıyan ELV bölgesinde yer almaktadır (Şekil 15.13).

Operatör maruziyetleri titreşim dozu parametresi göz önüne alınarak EU 2002/44/EC (2002) direktifi uyarınca en kötü değer eksenini üzerinden değerlendirildiğinde bekleme evresi düşük riskli EAV sınırı altında kalırken diğer tüm evreler orta riskli EAV bölgesinde bulunmaktadır. Vektör toplamı ölçütüne göre ise EAV bölgesi altındaki düşük riskli alanda kalan bekleme ile ELV bölgesinde yüksek riskli alanda kalan ileri yürüme evresi haricindeki tüm evreler, orta riskli EAV bölgesinde yer almaktadır. Operatör maruziyetleri ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca değerlendirildiğinde, en kötü değer eksenini ölçütüne göre bekleme evresi düşük riskli EAV sınırı altında ve manevra evresi orta riskli EAV bölgesinde kalırken, diğer tüm evreler yüksek riskli ELV bölgesine çıkmaktadır. Vektör toplamı ölçütüne göre ise bekleme evresi düşük riskli EAV sınırı altında yer alırken diğer tüm evreler yüksek riskli ELV bölgesinde konumlanmaktadır. Operatör maruziyetleri BS 6841 (1987) standardı uyarınca en kötü değer eksenini ve vektör toplamı ölçütleri üzerinden değerlendirildiğinde, tehlike düzeyi tanımlanmamış olan alt bölgede yer alan bekleme dışındaki tüm evreler $15 \text{ m/s}^{1,75}$ üzerindeki tehlikeli bölgeye düşmektedir (Şekil 15.14).

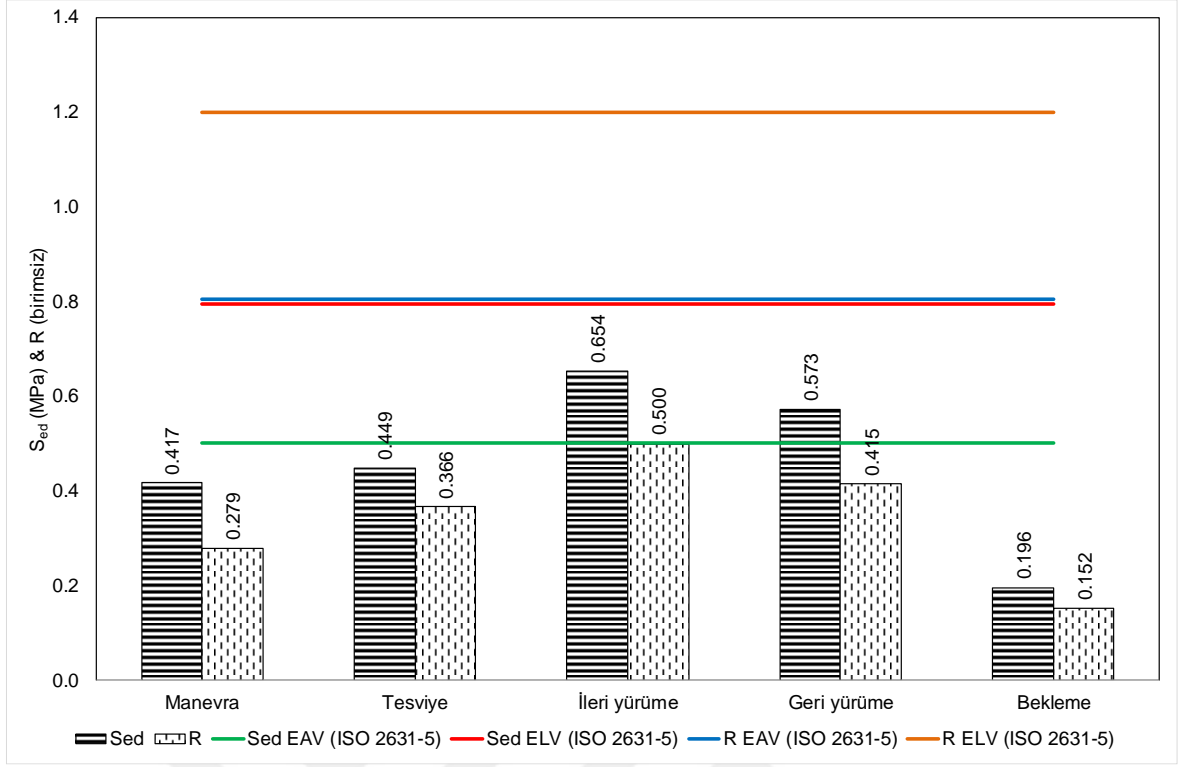
ISO 2631-5 (2004) standardı uyarınca S_{ed} parametresi için en kötü değer eksenini ölçütüne göre yalnızca ileri yürüme evresi orta düzeyli, diğer evreler düşük düzeyli sağlık riskine işaret etmektedir. Vektör toplamı ölçütüne göre ise ileri ve geri yürüme evreleri orta düzeyli, diğer tüm evreler düşük düzeyli sağlık riskine işaret etmektedir. R faktörü için en kötü değer eksenini ile vektör toplamı ölçütlerine göre incelendiğinde operatörler, tüm evrelerde düşük düzeyde sağlık riski bölgesinde yer almaktadır (Şekil 15.15).



Şekil 15.13 Greyder operatörlerinin evrelere göre Vector₁₋₃ ve A(8) değerlerine göre sağlık riski



Şekil 15.14 Greyder operatörlerinin evrelere göre Vector₁₋₃ ve VDV_{Total} değerlerine göre sağlık riski



Şekil 15.15 Greyder operatörlerinin evrelere göre S_{ed} ve R faktörü değerlerine göre sağlık riski

Greyder operatörlerinin TVT ivmesi, dozu ve vücut tepkisi maruziyetlerini inceleyen standart ve direktifler doğrultusunda sağlık riskleri toplu olarak Çizelge 15.15'de verilmiştir.

Greyder çalışmasında ileri yürüme ve tesviye evleri ikili gruplar halinde karşılaştırıldığında titreşim ivmesi ve dozu ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark çıkmamaktadır.

Greyderler orta ve büyük boyutlu olarak sınıflandırılıp, operatörlerin titreşim maruziyeti değerlendirildiğinde titreşim dozu için gruplar arasında anlamlı bir fark çıkmazken, titreşim ivmesi için anlamlı bir farklılık çıkmaktadır. Büyük greyderlerin operatörleri daha yüksek titreşim ivmesine maruz kalmaktadır.

Greyder hizmet süresi, operatör yaşı ve deneyimi değişkenleri ile titreşim maruziyeti arasında anlamlı bir ilişki bulunmamaktadır. Operatör titreşim maruziyeti bu değişkenlerden bağımsızdır.

Gevşek ve sert zemin üzerinde çalışma farklılığı değerlendirildiğinde, TVT ivmesi ve dozu için zemin türleri arasında fark olmadığı sonucuna varılmıştır. Operatörler zemin türünden bağımsız olarak benzer düzeyde titreşim ivmesi ve dozuna maruz kalmakta olup gevşek zemin, operatörleri daha düşük titreşim ivme ve dozu değerine maruz bırakmaktadır.

Çalışma bölgesi harman ve basamak şeklinde gruplara ayrılmış olup titreşim ivmesi ve dozu için anlamlı bir fark olmadığı sonucuna varılmıştır. Basamak, operatörleri daha düşük titreşim ivmesi ve dozuna maruz bırakmaktadır.

Çizelge 15.15 Greyder operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyeti

Evreler	A(8) (m/s ²)								Vücut tepkisi			
	ISO 2631-1 (1997)				EU 2002/44/EC (2002)				ISO 2631-5 (2004)			
	EKDE ^a		VT ^a		EKDE ^b		VT ^b		S _{ed} ^c		R ^d	
Tesviye	0,831	Orta	1,191	Yüksek	0,831	Orta	1,191	Yüksek	0,449	Düşük	0,366	Düşük
İleri yürüme	0,748	Orta	1,135	Yüksek	0,748	Orta	1,135	Orta	0,654	Orta	0,500	Düşük
Geri yürüme	0,722	Orta	1,112	Yüksek	0,722	Orta	1,112	Orta	0,573	Orta	0,415	Düşük
Manevra	0,903	Yüksek	1,250	Yüksek	0,903	Orta	1,250	Yüksek	0,417	Düşük	0,279	Düşük
Bekleme	0,186	Düşük	0,233	Düşük	0,186	Düşük	0,233	Düşük	0,196	Düşük	0,152	Düşük
Evreler	VDV (m/s ^{1,75})								EU 2002/44/EC (2002)			
	ISO 2631-1 (1997)				BS 6841 (1987)				EU 2002/44/EC (2002)			
	EKDE ^a		VT ^a		EKDE ^b		VT ^b		EKDE ^e		VT ^e	
Tesviye	17,212	Yüksek	19,588	Yüksek	17,212	Yüksek	19,588	Yüksek	17,212	Orta	19,588	Orta
İleri yürüme	18,757	Yüksek	21,337	Yüksek	18,757	Yüksek	21,337	Yüksek	18,757	Orta	21,337	Yüksek
Geri yürüme	17,507	Yüksek	19,684	Yüksek	17,507	Yüksek	19,684	Yüksek	17,507	Orta	19,684	Orta
Manevra	16,303	Orta	18,148	Yüksek	16,303	Yüksek	18,148	Yüksek	16,303	Orta	18,148	Orta
Bekleme	5,746	Düşük	6,023	Düşük	5,746	Düşük	6,023	Düşük	5,746	Düşük	6,023	Düşük

Kısaltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

15.6 Elektrikli Ekskavatörler

15.6.1 Net kayıt evresinde tüm ölçütler üzerinden değerlendirme

Elektrikli ekskavatör operatörlerinin TVT maruziyeti etkilerini inceleyen standart ve direktiflerin ölçütlerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 15.16'da verilmiştir. En kötü durum ekseninde oluşan günlük eşdeğer titreşim ivmesi A(8) ve günlük eşdeğer titreşim dozu (VDV_{Total}) dikkate alındığında ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC (2002) direktifi bakımından operatörlerin hemen tümü EAV bölgesi altında yer almakta olup, vektör toplamı göz önüne alındığında da büyük değişiklik oluşmamaktadır. BS 6841 (1987) standardı açısından da aynı durum söz konusu olup operatörlerin hemen hepsi düşük risk bölgesinde yer almaktadır.

Elektrikli ekskavatör operatörleri TVT maruziyeti vücut tepkisini değerlendiren ISO 2631-5 (2004) standardı üzerinden değerlendirildiğinde, hemen tümünün sağlık riski ciddiyeti düşük düzeyde çıkmaktadır. Günlük eşdeğer statik basınç dozu (S_{ed}) ile S_{ed} ile operatörün yaşı ile tecrübesine bağlı azalan güç durumunu dikkate alan R faktörüne göre operatörlerin hemen tamamı için olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşüktür. ISO 2631-5 (2004) standardına göre TVT maruziyeti sonucu olumsuz sağlık riski, ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC (2002) direktifine kıyasla düşük çıkmaktadır.

Çizelge 15.16 Elektrikli ekskavatör operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması

ISO 2631-1 (1997)		A(8) (m/s^2)		Vücut tepkisi	
EKDE ^a	VT ^a	EKDE ^b	VT ^b	S_{ed} ^c	R ^d
13 Düşük	11 Düşük	13 Düşük	12 Düşük	12 Düşük	12 Düşük
- Orta	2 Orta	- Orta	1 Orta	- Orta	1 Orta
- Yüksek	- Yüksek	- Yüksek	- Yüksek	1 Yüksek	- Yüksek

ISO 2631-1 (1997)		VDV _{Total} ($m/s^{1.75}$)		EU 2002/44/EC (2002)	
EKDE ^e	VT ^e	EKDE ^f	VT ^f	EKDE ^g	VT ^g
10 Düşük	10 Düşük	12 Düşük	12 Düşük	11 Düşük	10 Düşük
2 Orta	2 Orta	- Orta	- Orta	2 Orta	3 Orta
1 Yüksek	1 Yüksek	1 Yüksek	1 Yüksek	- Yüksek	- Yüksek

Kısaltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

15.6.2 Elektrikli ekskavatör evrelerinin tüm ölçütler üzerinden değerlendirmesi

Elektrikli ekskavatör operatörlerinin TVT maruziyeti etkilerini inceleyen standart ve direktiflerin ölçütlerinden elde edilen sonuçlar evreler bazında Çizelge 15.17'de verilmiştir. En kötü durum ekseninde oluşan günlük eşdeğer titreşim ivmesi A(8) ve VDV_{Total} dikkate alındığında ISO 2631-1 (1997) standardı ile EU 2002/44/EC (2002) direktifi kapsamında tüm evrelerde EAV bölgesi altında yer almaktadır. Vektör toplamı ölçütüne göre de aynı durum söz konusudur. Operatörlerin titreşim dozu maruziyeti BS 6841 (1987) standardı uyarınca değerlendirildiğinde operatörler, tüm evrelerde düşük sağlık riski etkisi altında kalmaktadır.

Elektrikli ekskavatör operatörleri TVT maruziyetine vücut tepkisini düzenleyen ISO 2631-5 (2004) standardı üzerinden değerlendirildiğinde, büyük kısmının sağlık riski ciddiyeti tüm evrelerde düşük düzeyde çıkmaktadır. Günlük eşdeğer statik basınç dozu (S_{ed}) ile operatörün yaşı ile tecrübesine bağlı azalan güç durumunu dikkate alan R faktörüne göre operatörlerin hemen tamamı için olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşüktür. ISO 2631-5 (2004) standardına göre TVT maruziyeti sonucu olumsuz sağlık riski, ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC (2002) direktifine kıyasla düşük çıkmaktadır.

Çizelge 15.17 Elektrikli ekskavatör operatörlerinin evreler bazında TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması

Evreler	A(8) (m/s ²)						Vücut tepkisi					
	ISO 2631-1 (1997)			EU 2002/44/EC (2002)			ISO 2631-5 (2004)			R ^d		
	EKDE ^a	VT ^a		EKDE ^b	VT ^b		S_{ed} ^c					
Doldurma	13	Düşük	8	Düşük	13	Düşük	10	Düşük	13	Düşük	13	Düşük
	-	Orta	5	Orta	-	Orta	3	Orta	-	Orta	-	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
Boşaltma	12	Düşük	11	Düşük	13	Düşük	11	Düşük	13	Düşük	13	Düşük
	1	Orta	2	Orta	-	Orta	2	Orta	-	Orta	-	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
İleri yürüme	5	Düşük	5	Düşük	5	Düşük	5	Düşük	5	Düşük	5	Düşük
	-	Orta	-	Orta	0	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	0	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
Bekleme	10	Düşük	10	Düşük	10	Düşük	10	Düşük	9	Düşük	9	Düşük
	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	1	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	1	Yüksek	-	Yüksek
Evreler	ISO 2631-1 (1997)				VDV (m/s ^{1,75})				EU 2002/44/EC (2002)			
	EKDE ^a	VT ^a			EKDE ^b	VT ^b			EKDE ^e	VT ^e		
Doldurma	11	Düşük	10	Düşük	13	Düşük	13	Düşük	13	Düşük	10	Düşük
	2	Orta	3	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	3	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
Boşaltma	11	Düşük	11	Düşük	11	Düşük	11	Düşük	11	Düşük	11	Düşük
	2	Orta	2	Orta	-	Orta	-	Orta	2	Orta	2	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	2	Yüksek	2	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
İleri yürüme	5	Düşük	5	Düşük	5	Düşük	5	Düşük	5	Düşük	5	Düşük
	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta
	-	Yüksek	0	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
Bekleme	9	Düşük	9	Düşük	9	Düşük	9	Düşük	9	Düşük	9	Düşük
	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	1	Orta	1	Orta
	1	Yüksek	1	Yüksek	1	Yüksek	1	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek

Kısaltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

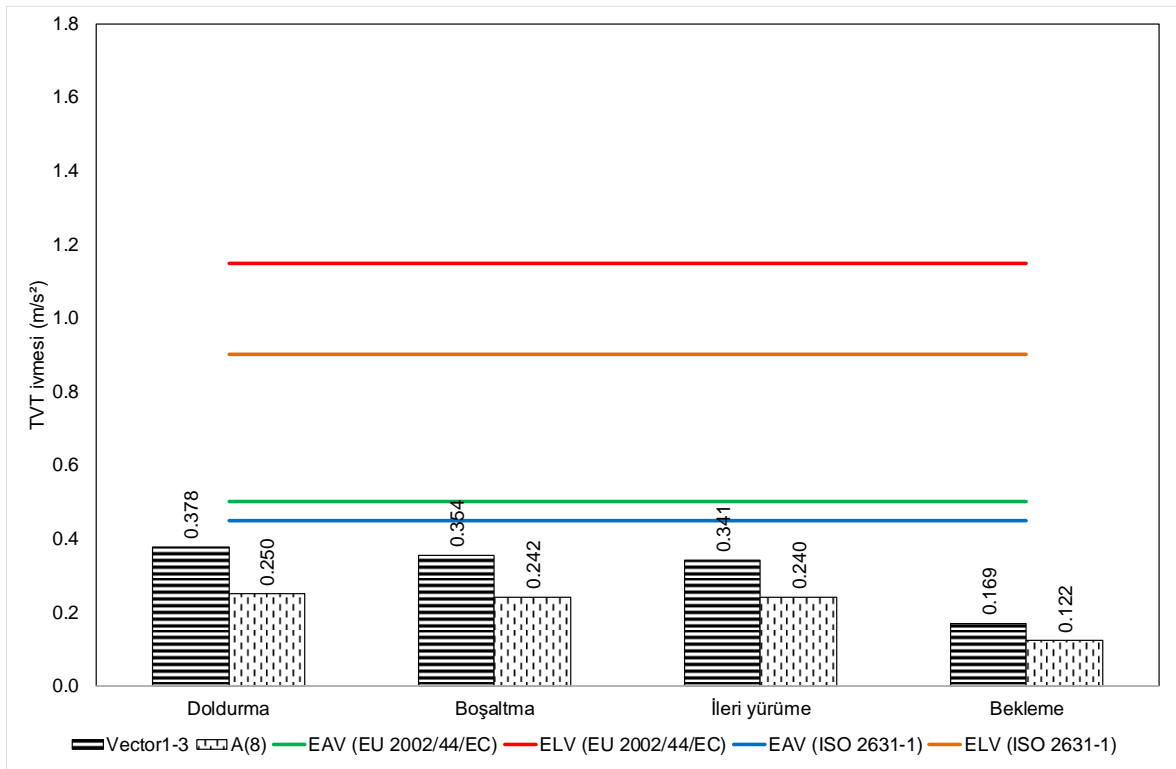
Elektrikli ekskavatör çalışması ardışık doldurma-dolu dönüş ve boşaltma-boş dönüş evreleri ile ardışık olmayan ileri yürüme ve bekleme evrelerinden oluşmaktadır. Operatörlerin titreşim ivmesi ve dozu bakımından TVT maruziyeti, tüm evrelerde birbirine yakındır. Operatör maruziyetleri EU direktifi ve ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca titreşim ivmesi göz önüne alınarak en kötü değer eksen ve vektör toplamı üzerinden değerlendirildiğinde operatörler, tüm evrelerde olumsuz sağlık riski potansiyeli açısından düşük düzeyde kalmaktadır (Şekil 15.16).

Operatör maruziyetleri titreşim dozu parametresi göz önüne alınarak EU 2002/44/EC (2002) direktifi, ISO 2631-1 (1997) ve BS 6841 (1987) standartları uyarınca en kötü değer eksen ve vektör toplamı

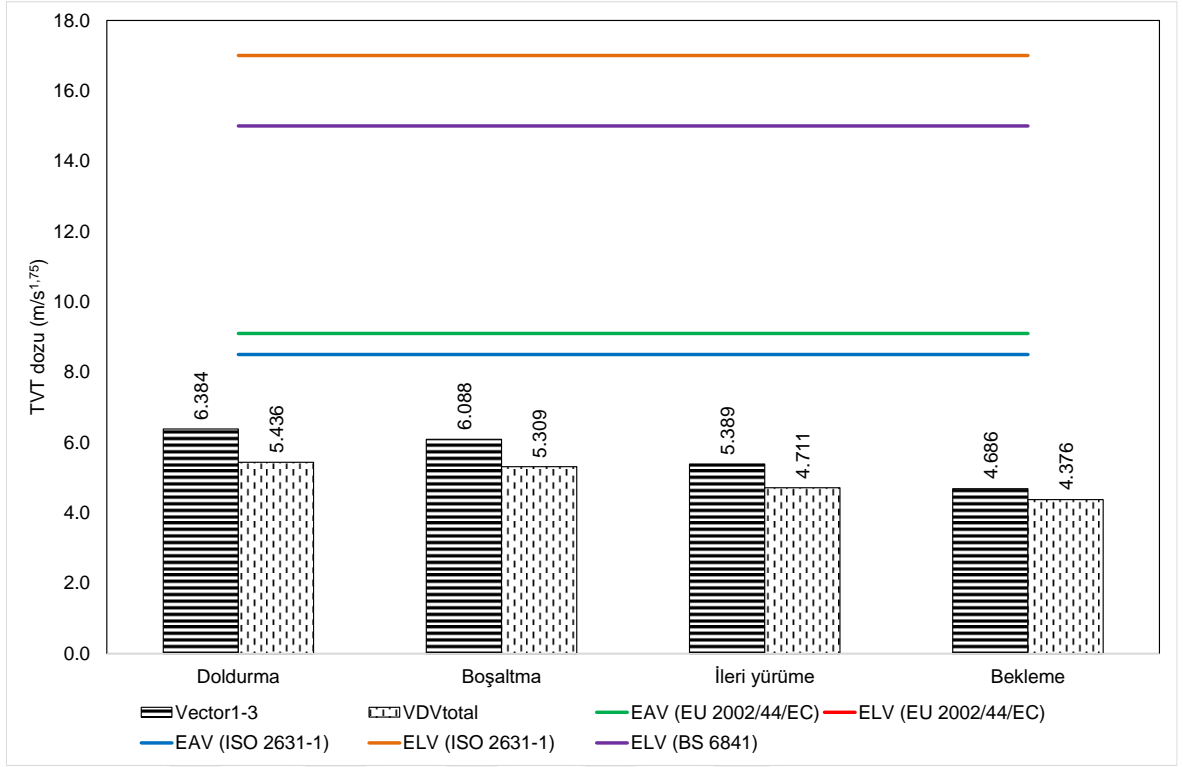
üzerinden değerlendirildiğinde operatörler, tüm evrelerde olumsuz sağlık riski potansiyeli açısından düşük/tehlikesiz düzeyde kalmaktadır (Şekil 15.17).

ISO 2631-5 (2004) standardı uyarınca S_{ed} parametresi için en kötü değer eksenini ile vektör toplamı ölçütlerine göre tüm evreler düşük düzeyli sağlık riskine işaret etmektedir. R faktörü için en kötü değer eksenini ile vektör toplamı ölçütlerine göre incelendiğinde operatörler, tüm evrelerde düşük düzeyde sağlık riski bölgesinde yer almaktadır (Şekil 15.18).

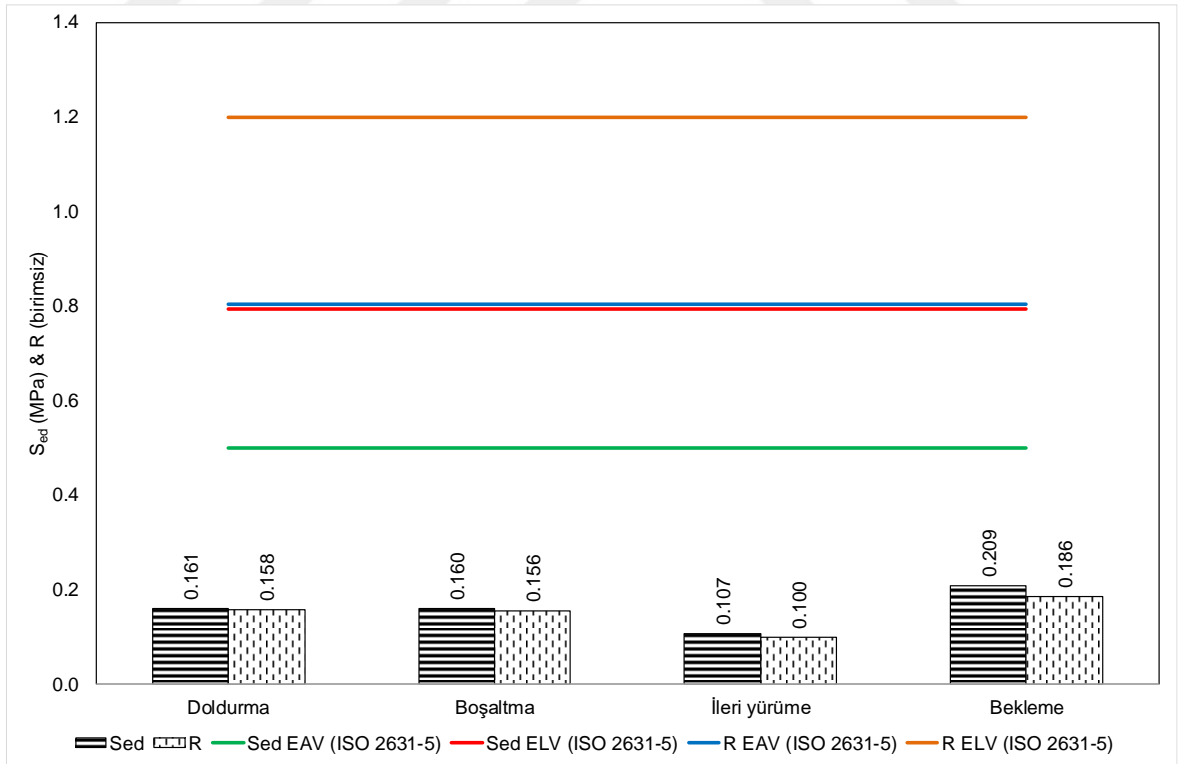
Elektrikli ekskavatör operatörlerinin TVT ivmesi, dozu ve vücut tepkisi maruziyetlerini inceleyen standart ve direktifler doğrultusunda sağlık riskleri toplu olarak Çizelge 15.18'de verilmiştir.



Şekil 15.16 Elektrikli ekskavatör operatörlerinin evrelere göre $Vector_{1-3}$ ve $A(8)$ değerlerine göre sağlık riski



Şekil 15.17 Elektrikli ekskavatör operatörlerinin evrelere göre Vector₁₋₃ ve VDV_{Total} değerlerine göre sağlık riski



Şekil 15.18 Elektrikli ekskavatör operatörlerinin evrelere göre S_{ed} ve R faktörü değerlerine göre sağlık riski

Çizelge 15.18 Elektrikli ekskavator operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyeti

Evreler	A(8) (m/s ²)				Vücut tepkisi							
	ISO 2631-1 (1997)		EU 2002/44/EC (2002)		ISO 2631-5 (2004)							
	EKDE ^a	VT ^a	EKDE ^b	VT ^b	S _{ed} ^c	R ^d						
Doldurma	0,250	Düşük	0,378	Düşük	0,250	Düşük	0,378	Düşük	0,161	Düşük	0,158	Düşük
Boşaltma	0,242	Düşük	0,354	Düşük	0,242	Düşük	0,354	Düşük	0,160	Düşük	0,156	Düşük
İleri yürüme	0,240	Düşük	0,341	Düşük	0,240	Düşük	0,341	Düşük	0,107	Düşük	0,100	Düşük
Bekleme	0,122	Düşük	0,169	Düşük	0,122	Düşük	0,169	Düşük	0,209	Düşük	0,186	Düşük

Evreler	VDV (m/s ^{1.75})			
	ISO 2631-1 (1997)		EU 2002/44/EC (2002)	
	EKDE ^a	VT ^a	EKDE ^b	VT ^b
Doldurma	5,436	Düşük	6,384	Düşük
Boşaltma	5,309	Düşük	6,088	Düşük
İleri yürüme	4,711	Düşük	5,389	Düşük
Bekleme	4,376	Düşük	4,686	Düşük

Kısaltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

15.7 Titreşimli Silindirler

15.7.1 Net kayıt evresinde tüm ölçütler üzerinden değerlendirme

Titreşimli silindir operatörlerinin TVT maruziyeti etkilerini inceleyen standart ve direktiflerin ölçütlerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 15.19'da verilmiştir. Titreşim ivmesi ve dozu günlük eşdeğer değerleri ve vektör toplamları ISO 2631-1 (1997) standardı ile EU 2002/44/EC (2002) direktifi kapsamında EAV bölgesi içinde yer almaktadır. Titreşim dozu BS 6841 (1987) standardı baz alınarak değerlendirildiğinde ise operatörler yüksek sağlık riski etkisi altında yer almaktadırlar.

TVT maruziyeti vücut tepkisini değerlendiren ISO 2631-5 (2004) standardı üzerinden titreşimli silindir operatörleri değerlendirildiğinde operatörlerin büyük kısmının sağlık riski ciddiyeti düşük düzeyde çıkmaktadır. Günlük eşdeğer statik basınç dozu (S_{ed}) ölçütüne göre operatörlerin büyük bölümünde olumsuz sağlık etkisi olasılığı düşüktür. S_{ed} ile operatörün yaşı ile tecrübesine bağlı azalan güç durumunu dikkate alan R faktörüne göre ise operatörlerin hemen tamamı için olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşüktür. ISO 2631-5 (2004) standardına göre TVT maruziyeti sonucu olumsuz sağlık riski, ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC (2002) direktifine kıyasla düşük çıkmaktadır.

Çizelge 15.19 Titreşimli silindir operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması

ISO 2631-1 (1997)		A(8) (m/s ²)				Vücut tepkisi					
EKDE ^a		VT ^a		EU 2002/44/EC (2002)		S _{ed} ^c		ISO 2631-5 (2004)			
				EKDE ^b		VT ^b		R ^d			
4	Düşük	-	Düşük	4	Düşük	1	Düşük	6	Düşük	10	Düşük
5	Orta	5	Orta	6	Orta	5	Orta	3	Orta	1	Orta
2	Yüksek	6	Yüksek	1	Yüksek	5	Yüksek	2	Yüksek	-	Yüksek
ISO 2631-1 (1997)		VDV _{Total} (m/s ^{1,75})				EU 2002/44/EC (2002)					
EKDE ^e		VT ^e		BS 6841 (1987)		EKDE ^g		VT ^g			
				EKDE ^f		VT ^f					
1	Düşük	-	Düşük	3	Düşük	3	Düşük	1	Düşük	-	Düşük
4	Orta	3	Orta	-	Orta	-	Orta	7	Orta	6	Orta
6	Yüksek	8	Yüksek	8	Yüksek	8	Yüksek	3	Yüksek	5	Yüksek

Kısaltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

15.7.2 Titreşimli silindir evrelerinin tüm ölçütler üzerinden değerlendirmesi

Titreşimli silindir operatörlerinin TVT maruziyeti etkilerini inceleyen standart ve direktiflerin ölçütlerinden elde edilen sonuçlar evreler bazında Çizelge 15.20'de verilmiştir. Titreşim ivmesi ve dozu günlük eşdeğer değerleri ISO 2631-1 (1997) standardı ile EU 2002/44/EC (2002) direktifi kapsamında EAV bölgesi içinde ve üstünde yer almaktadır. Titreşim dozu BS 6841 (1987) standardı baz alınarak değerlendirildiğinde ise operatörler yüksek sağlık riski etkisi altında yer almaktadırlar. Operatörler; bekleme evresinde düşük sağlık riski, ileri sıkıştırma ve ileri yürüme evrelerinde yüksek sağlık riski etkisi altında kalmışlardır.

TVT maruziyeti vücut tepkisini değerlendiren ISO 2631-5 (2004) standardı üzerinden titreşimli silindir operatörleri değerlendirildiğinde tüm evrelerde operatörlerin büyük kısmının sağlık riski ciddiyeti

düşük düzeyde çıkmaktadır. Günlük eşdeğer statik basınç dozu (S_{ed}) ölçütüne göre ileri yürüme haricindeki tüm evrelerde operatörlerin büyük bölümünde olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşüktür. S_{ed} ile operatörün yaşı ile tecrübesine bağlı azalan güç durumunu dikkate alan R faktörüne göre ise operatörlerin hemen tamamı için olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşüktür. ISO 2631-5 (2004) standardına göre TVT maruziyeti sonucu olumsuz sağlık riski, ISO 2631-1 (1997) standardı ve EU 2002/44/EC (2002) direktifine kıyasla düşük çıkmaktadır.

Çizelge 15.20 Titreşimli silindirlerin evreler bazında TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması

Evreler	A(8) (m/s ²)						Vücut tepkisi					
	ISO 2631-1 (1997)		EU 2002/44/EC (2002)		EU 2002/44/EC (2002)		ISO 2631-5 (2004)					
	EKDE ^a	VT ^a	EKDE ^b	VT ^b	EKDE ^b	VT ^b	S_{ed} ^c	R ^d				
İleri sıkıştırma	4	Düşük	2	Düşük	4	Düşük	2	Düşük	9	Düşük	10	Düşük
	4	Orta	3	Orta	6	Orta	4	Orta	1	Orta	1	Orta
	3	Yüksek	6	Yüksek	1	Yüksek	5	Yüksek	1	Yüksek	-	Yüksek
Geri sıkıştırma	2	Düşük	-	Düşük	2	Düşük	1	Düşük	4	Düşük	4	Düşük
	3	Orta	3	Orta	3	Orta	4	Orta	-	Orta	-	Orta
	-	Yüksek	2	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	1	Yüksek	1	Yüksek
İleri yürüme	1	Düşük	-	Düşük	1	Düşük	-	Düşük	1	Düşük	5	Düşük
	3	Orta	1	Orta	4	Orta	3	Orta	2	Orta	1	Orta
	2	Yüksek	5	Yüksek	1	Yüksek	3	Yüksek	3	Yüksek	-	Yüksek
Geri yürüme	1	Düşük	-	Düşük	1	Düşük	-	Düşük	1	Düşük	3	Düşük
	-	Orta	1	Orta	1	Orta	1	Orta	1	Orta	-	Orta
	2	Yüksek	2	Yüksek	1	Yüksek	2	Yüksek	1	Yüksek	-	Yüksek
Bekleme	8	Düşük	8	Düşük	8	Düşük	8	Düşük	8	Düşük	8	Düşük
	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
Evreler	VDV (m/s ^{1.75})											
	ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)		EU 2002/44/EC (2002)		EU 2002/44/EC (2002)					
	EKDE ^a	VT ^a	EKDE ^b	VT ^b	EKDE ^e	VT ^e						
İleri sıkıştırma	-	Düşük	3	Düşük	5	Düşük	5	Düşük	4	Düşük	3	Düşük
	3	Orta	2	Orta	-	Orta	-	Orta	3	Orta	4	Orta
	2	Yüksek	6	Yüksek	6	Yüksek	6	Yüksek	4	Yüksek	4	Yüksek
Geri sıkıştırma	6	Düşük	1	Düşük	3	Düşük	2	Düşük	1	Düşük	1	Düşük
	1	Orta	2	Orta	-	Orta	-	Orta	3	Orta	3	Orta
	3	Yüksek	2	Yüksek	2	Yüksek	3	Yüksek	1	Yüksek	1	Yüksek
İleri yürüme	2	Düşük	-	Düşük	1	Düşük	1	Düşük	1	Düşük	-	Düşük
	1	Orta	1	Orta	-	Orta	-	Orta	2	Orta	2	Orta
	-	Yüksek	5	Yüksek	5	Yüksek	5	Yüksek	3	Yüksek	4	Yüksek
Geri yürüme	1	Düşük	-	Düşük	1	Düşük	1	Düşük	1	Düşük	1	Düşük
	1	Orta	1	Orta	-	Orta	-	Orta	1	Orta	-	Orta
	-	Yüksek	2	Yüksek	2	Yüksek	2	Yüksek	1	Yüksek	2	Yüksek
Bekleme	1	Düşük	7	Düşük	8	Düşük	8	Düşük	8	Düşük	7	Düşük
	7	Orta	1	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	1	Orta
	1	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek

Kısaltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

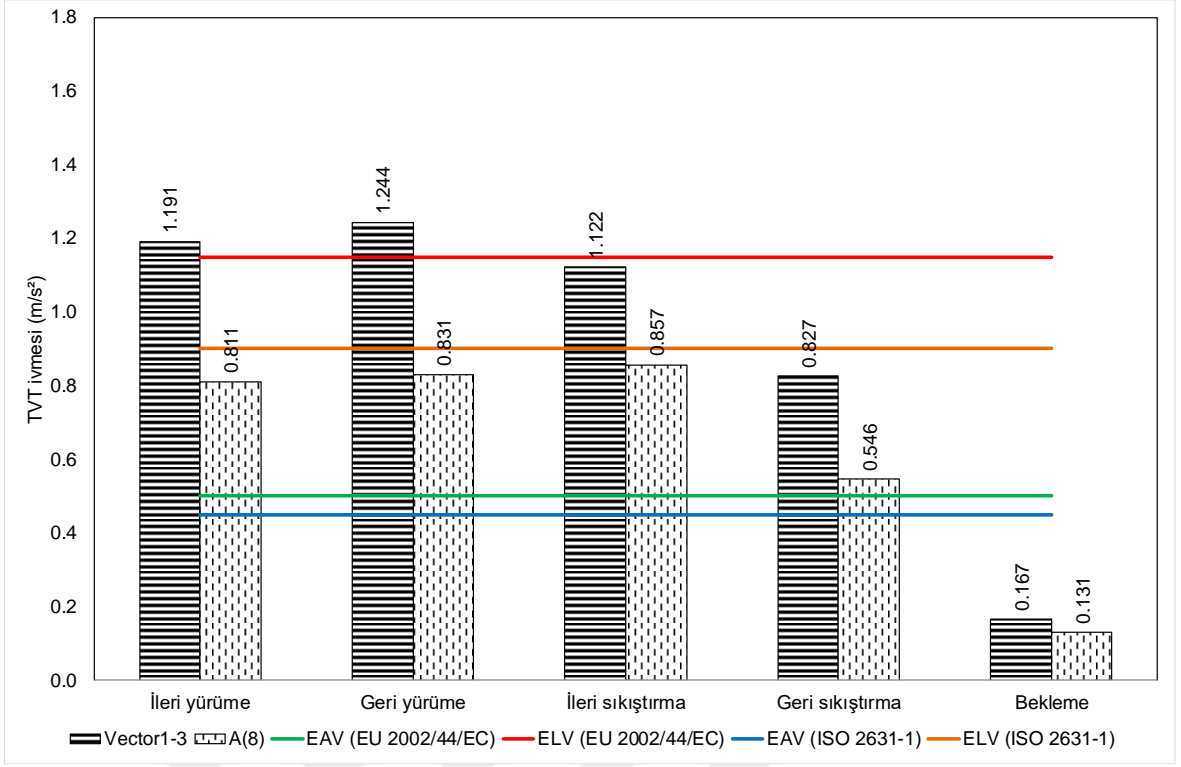
Titreşimli silindir çalışması ileri sıkıştırma, geri sıkıştırma, ileri yürüme, geri yürüme ve bekleme evrelerine ayrılmıştır. Operatörlerin titreşim ivmesi ve dozu bakımından TVT maruziyeti, bekleme dışındaki evrelerde birbirine yakındır. Operatör maruziyetleri titreşim ivmesi parametresi göz önüne alınarak en kötü değer eksenini (A(8)) üzerinden değerlendirildiğinde bekleme dışındaki evreler maruziyet eylem değerini (EAV) aşmış, operatörü orta düzeyde olumsuz sağlık riskine maruz bırakırken; bekleme evresi bu sınırın altında kalarak operatöre olumsuz sağlık riski potansiyeli

açısından düşük düzeyde kalmaktadır. Ancak TVT maruziyeti, BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektör toplamı üzerinden değerlendirildiğinde ileri ve geri yürüme evreleri operatöre yüksek düzeyde olumsuz sağlık riski potansiyeli barındıran ELV bölgesine, ileri ve geri sıkıştırma evreleri operatöre orta düzeyde olumsuz sağlık riski potansiyeli barındıran EAV bölgesine düşmektedir. EAV sınırı altında kalan bekleme evresi düşük düzeyde olumsuz sağlık riskine işaret etmektedir. Değerlendirme ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca yapıldığında, en kötü değer eksenini ölçütüne göre durum, EU direktifi ile aynıdır. Vektör toplamı ölçütü dikkate alındığında ise ileri ve geri yürüme ile ileri sıkıştırma evreleri operatöre yüksek sağlık riski potansiyeli taşıyan ELV bölgesinde yer alırken, geri sıkıştırma evresi EAV bölgesinde, bekleme evresi ise düşük düzeyli sağlık riskine işaret eden EAV sınırı altındaki bölgeye düşmektedir (Şekil 15.19).

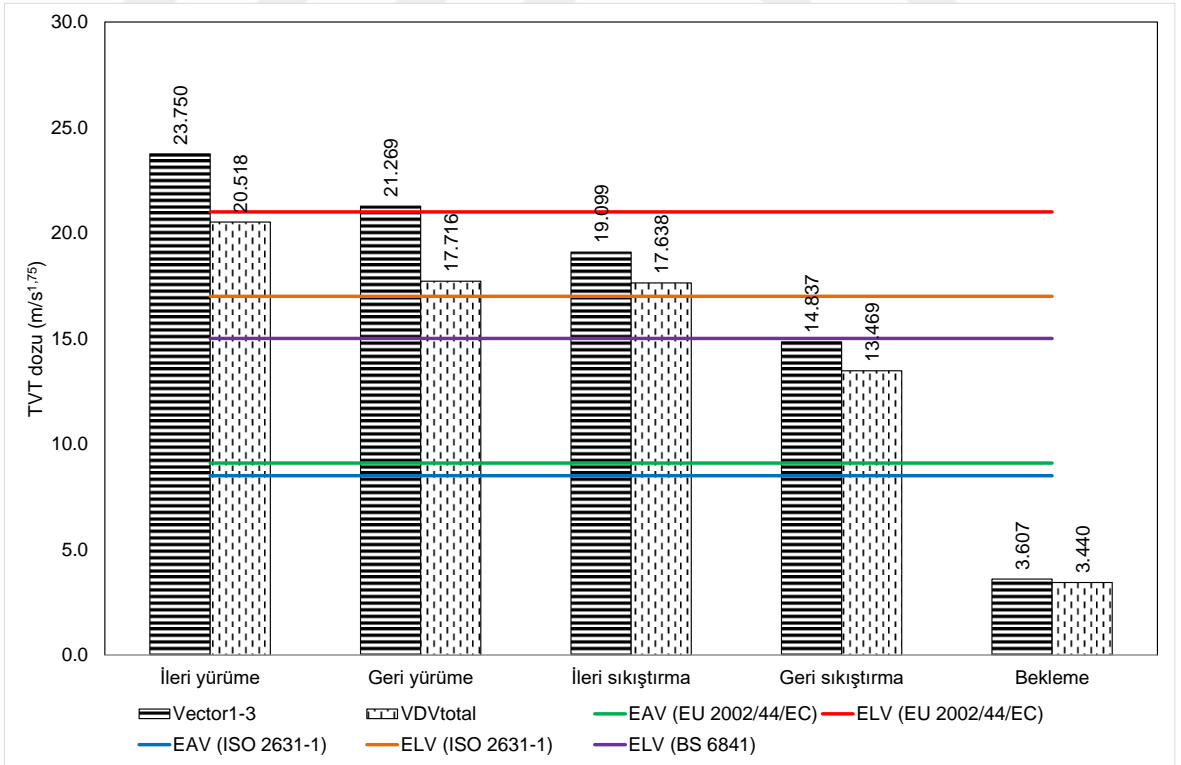
Operatör maruziyetleri titreşim dozu parametresi göz önüne alınarak EU 2002/44/EC (2002) direktifi uyarınca en kötü değer eksenini üzerinden değerlendirildiğinde bekleme, düşük riskli EAV sınırı altında kalırken, diğer tüm evreler orta riskli EAV bölgesindedir. Vektör toplamı ölçütüne göre ise ileri ve geri yürüme evreleri yüksek riskli ELV, ileri ve geri yürüme evreleri orta riskli EAV ve bekleme evresi ise EAV sınırı altındaki düşük risk bölgesinde yer almaktadır. Operatör maruziyetleri ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca değerlendirildiğinde, en kötü değer eksenini ve vektör toplamı ölçütlerine göre ileri ve geri yürüme ile ileri sıkıştırma evreleri ELV, geri sıkıştırma evresi EAV ve bekleme evresi ise düşük riskli EAV sınırı altındaki bölgededir. Maruziyetler BS 6841 (1987) standardı uyarınca en kötü değer eksenini ve vektör toplamına göre değerlendirildiğinde, tehlike düzeyi tanımlanmamış olan alt bölgedeki geri sıkıştırma ve bekleme dışındaki evreler, tehlikeli bölgeye düşmektedir (Şekil 15.20).

ISO 2631-5 (2004) standardı uyarınca S_{ed} için en kötü değer eksenini ölçütüne göre ileri yürüme evresi orta düzeyli, diğer evreler düşük düzeyli sağlık riskine işaret etmektedir. Vektör toplamı ölçütüne göre ise ileri ve geri yürüme evreleri orta düzeyli, diğer tüm evreler düşük düzeyli sağlık riskine işaret etmektedir. R faktörü için en kötü değer eksenini ile vektör toplamı ölçütlerine göre incelendiğinde operatörler, tüm evrelerde düşük düzeyde sağlık riski bölgesinde yer almaktadır (Şekil 15.21).

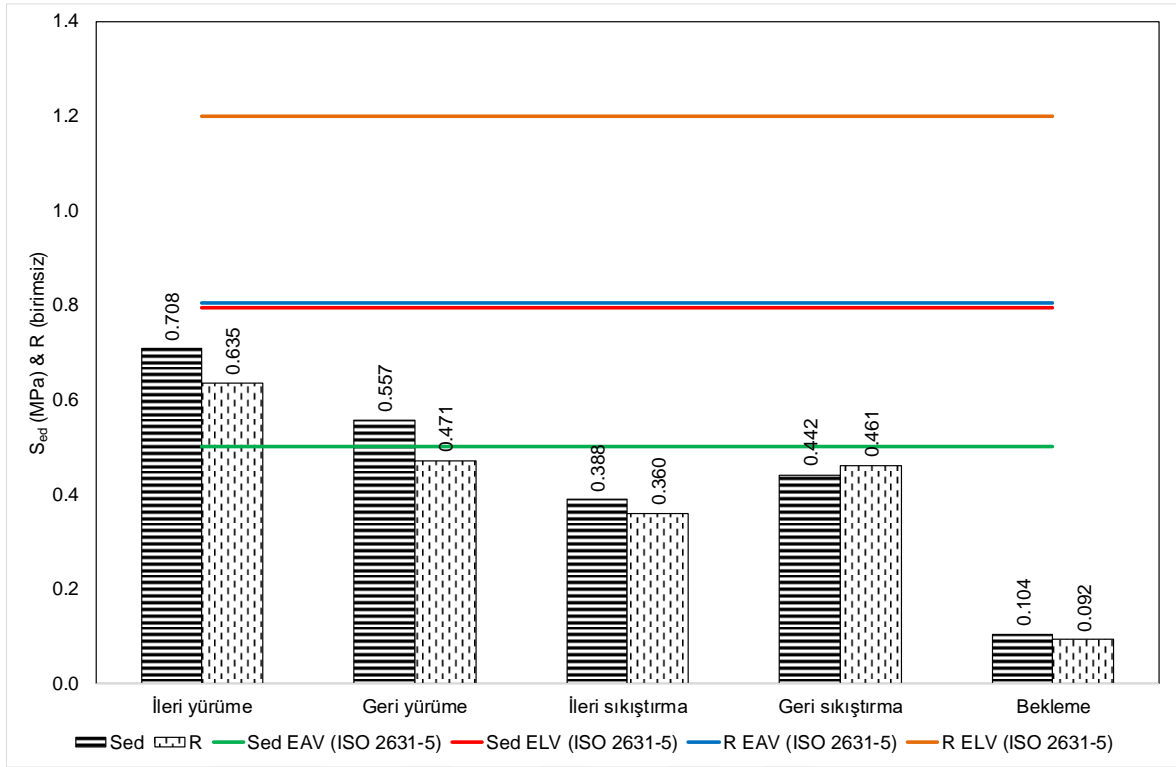
Titreşimli silindir operatörlerinin TVT ivmesi, dozu ve vücut tepkisi maruziyetlerini inceleyen standart ve direktifler doğrultusunda sağlık riskleri toplu olarak Çizelge 15.21'de verilmiştir.



Şekil 15.19 Titreşimli silindir operatörlerinin evrelere göre Vector₁₋₃ ve A(8) değerlerine göre sağlık riski



Şekil 15.20 Titreşimli silindir operatörlerinin evrelere göre Vector₁₋₃ ve VDV_{Total} değerlerine göre sağlık riski



Şekil 16.21 Titreşimli silindir operatörlerinin evrelere göre S_{ed} ve R faktörü değerlerine göre sağlık riski

Titreşimli silindir evreleri üzerinde yapılan çoklu karşılaştırma testi sonucunda titreşim ivmesi için bekleme ile ileri sıkıştırma evreleri arasındaki farklılık istatistiksel olarak anlamlıdır. Titreşim dozu için de bekleme ile ileri sıkıştırma ve ileri yürüme evreleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır.

Orta ve büyük boyutlu silindirlerin neden olduğu TVT maruziyeti arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılık yoktur. Benzer biçimde silindir tambur adedi grupları arasında anlamlı bir farklılık yoktur. Yine, titreşimli ve titreşimsiz silindir grupları arasında da anlamlı bir farklılık yoktur. Hizmet süresi, operatör yaşı ve deneyimi gibi değişkenlerle TVT maruziyeti arasında da anlamlı bir ilişki çıkmamıştır. Bu çalışmanın bulguları Rakheja vd.'nin (2011) yaptığı çalışmayı desteklemektedir. Bunun nedeninin çalışmada örneklenen silindir sayısının azlığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 15.21 Titreşimli silindir operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyeti

Evreler	A(8) (m/s ²)								Vücut tepkisi			
	ISO 2631-1 (1997)				EU 2002/44/EC (2002)				ISO 2631-5 (2004)			
	EKDE ^a	VT ^a		EKDE ^b	VT ^b			S _{ed} ^c	R ^d			
İleri sıkıştırma	0,857	Orta	1,122	Yüksek	0,857	Orta	1,122	Orta	0,388	Düşük	0,360	Düşük
Geri sıkıştırma	0,546	Orta	0,827	Orta	0,546	Orta	0,827	Orta	0,442	Düşük	0,461	Düşük
İleri yürüme	0,811	Orta	1,191	Yüksek	0,811	Orta	1,191	Yüksek	0,708	Orta	0,635	Düşük
Geri yürüme	0,831	Orta	1,244	Yüksek	0,831	Orta	1,244	Yüksek	0,557	Orta	0,471	Düşük
Bekleme	0,131	Düşük	0,167	Düşük	0,131	Düşük	0,167	Düşük	0,104	Düşük	0,092	Düşük

Evreler	VDV (m/s ^{1,75})											
	ISO 2631-1 (1997)				EU 2002/44/EC (2002)							
	EKDE ^a	VT ^a		EKDE ^b	VT ^b		EKDE ^e	VT ^e				
İleri sıkıştırma	17,638	Yüksek	19,099	Yüksek	17,638	Yüksek	19,099	Yüksek	17,638	Orta	19,099	Orta
Geri sıkıştırma	13,469	Orta	14,837	Orta	13,469	Düşük	14,837	Düşük	13,469	Orta	14,837	Orta
İleri yürüme	20,518	Yüksek	23,750	Yüksek	20,518	Yüksek	23,750	Yüksek	20,518	Orta	23,750	Yüksek
Geri yürüme	17,716	Yüksek	21,269	Yüksek	17,716	Yüksek	21,269	Yüksek	17,716	Orta	21,269	Yüksek
Bekleme	3,440	Düşük	3,607	Düşük	3,440	Düşük	3,607	Düşük	3,440	Düşük	3,607	Düşük

Kısaltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

15.8 Deliciler

15.8.1 Net kayıt evresinde tüm ölçütler üzerinden değerlendirme

Delici operatörlerinin TVT maruziyeti etkilerini inceleyen standart ve direktiflerin ölçütlerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 15.22'de verilmiştir. Operatörlerin titreşim ivmesi ve dozu maruziyetleri, en kötü değer eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre ISO 2631-1 (1997) standardı ile EU 2002/44/EC (2002) direktifi kapsamında EAV bölgesi altında yer almaktadır. Titreşim dozu BS 6841 (1987) standardı baz alınarak değerlendirildiğinde de operatörler, düşük sağlık riski etkisi altında yer almaktadırlar.

TVT maruziyetine vücut tepkisini değerlendiren ISO 2631-5 (2004) standardı üzerinden delici operatörleri değerlendirildiğinde operatörlerin büyük kısmının sağlık riski ciddiyeti düşük düzeyde çıkmaktadır. Günlük eşdeğer statik basınç dozu (S_{ed}) ölçütüne göre operatörlerin büyük bölümünde olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşüktür. S_{ed} ile operatörün yaşı ile tecrübesine bağlı azalan güç durumunu dikkate alan R faktörüne göre ise operatörlerin hemen tamamı için olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşüktür.

Çizelge 15.22 Delici operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması

ISO 2631-1 (1997)		A(8) (m/s ²)				Vücut tepkisi	
EKDE ^a	VT ^a	EU 2002/44/EC (2002)		ISO 2631-5 (2004)			
		EKDE ^b	VT ^b	S_{ed} ^c	R ^d		
9 Düşük	8 Düşük	10 Düşük	9 Düşük	8 Düşük	10 Düşük		
1 Orta	2 Orta	- Orta	1 Orta	2 Orta	- Orta		
- Yüksek	- Yüksek	- Yüksek	- Yüksek	2 Yüksek	- Yüksek		
ISO 2631-1 (1997)		VDV _{Total} (m/s ^{1.75})		EU 2002/44/EC (2002)			
EKDE ^e	VT ^e	EKDE ^f	VT ^f	EKDE ^g	VT ^g		
6 Düşük	6 Düşük	10 Düşük	10 Düşük	7 Düşük	6 Düşük		
4 Orta	4 Orta	- Orta	- Orta	3 Orta	4 Orta		
- Yüksek	- Yüksek	- Yüksek	- Yüksek	- Yüksek	- Yüksek		

Kısaltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

15.8.2 Delici evrelerinin tüm ölçütler üzerinden değerlendirmesi

Delici operatörlerinin TVT maruziyeti etkilerini inceleyen standart ve direktiflerin ölçütlerinden elde edilen sonuçlar evreler bazında Çizelge 15.23'de verilmiştir. Tüm evrelerde operatörlerin titreşim ivmesi ve dozu maruziyetleri, en kötü değer eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre ISO 2631-1 (1997) standardı ile EU 2002/44/EC (2002) direktifi kapsamında EAV bölgesi altında yer almaktadır. Titreşim dozu, BS 6841 (1987) standardı baz alınarak değerlendirildiğinde de operatörler düşük sağlık riski etkisi altında yer almaktadırlar.

TVT maruziyeti vücut tepkisini değerlendiren ISO 2631-5 (2004) standardı üzerinden delici operatörleri değerlendirildiğinde operatörlerin büyük kısmının sağlık riski ciddiyeti düşük düzeyde çıkmaktadır. Günlük eşdeğer statik basınç dozu (S_{ed}) ölçütüne göre operatörlerin hemen tümünde

olumsuz sağlık etkisi olasılığı düşüktür. S_{ed} ile operatörün yaşı ile tecrübesine bağlı azalan güç durumunu dikkate alan R faktörüne göre ise operatörlerin tümü için olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşüktür.

Çizelge 15.23 Delici operatörlerinin evreler bazında TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması

Evreler	A(8) (m/s ²)						Vücut tepkisi			
	ISO 2631-1 (1997)		EU 2002/44/EC (2002)				ISO 2631-5 (2004)			
	EKDE ^a	VT ^a	EKDE ^b	VT ^b	EKDE ^b	VT ^b	S_{ed} ^c	R ^d		
Delmeye hazırlık	5	Düşük	5	Düşük	5	Düşük	5	Düşük	5	Düşük
	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
Delme	9	Düşük	9	Düşük	9	Düşük	9	Düşük	10	Düşük
	1	Orta	1	Orta	1	Orta	1	Orta	-	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
Tij değiştirme	7	Düşük	7	Düşük	7	Düşük	7	Düşük	7	Düşük
	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
İleri yürüme	5	Düşük	5	Düşük	5	Düşük	5	Düşük	6	Düşük
	1	Orta	-	Orta	1	Orta	1	Orta	-	Orta
	-	Yüksek	1	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
Evreler	ISO 2631-1 (1997)		VDV (m/s ^{1.75})				EU 2002/44/EC (2002)			
	EKDE ^a	VT ^a	EKDE ^b	VT ^b	EKDE ^b	VT ^b	EKDE ^e	VT ^e		
Delmeye hazırlık	3	Düşük	3	Düşük	5	Düşük	5	Düşük	3	Düşük
	2	Orta	2	Orta	-	Orta	-	Orta	2	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
Delme	7	Düşük	7	Düşük	10	Düşük	10	Düşük	8	Düşük
	3	Orta	3	Orta	-	Orta	-	Orta	2	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
Tij değiştirme	7	Düşük	6	Düşük	7	Düşük	7	Düşük	7	Düşük
	-	Orta	1	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
İleri yürüme	5	Düşük	5	Düşük	5	Düşük	5	Düşük	5	Düşük
	1	Orta	1	Orta	-	Orta	-	Orta	1	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	1	Yüksek	1	Yüksek	-	Yüksek

Kısaltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

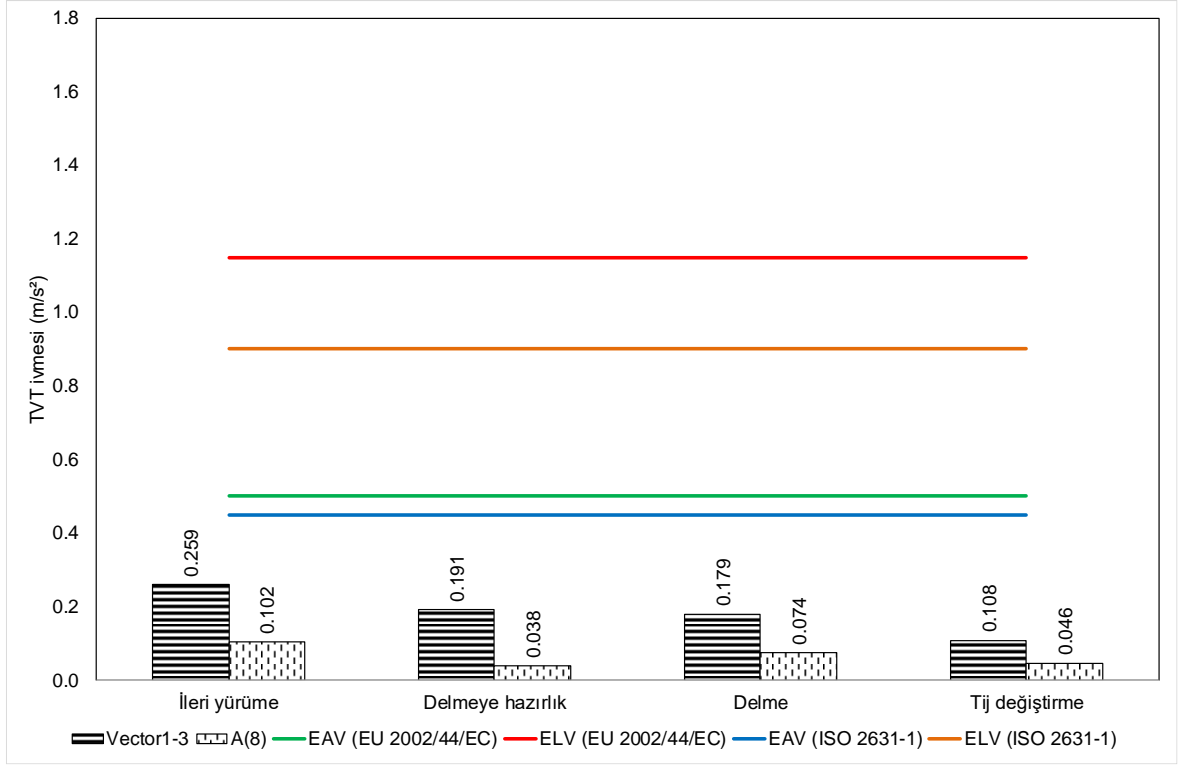
Delici çalışması ardışık delmeye hazırlık, delme ve ve tij değiştirme evreleri ile ardışık olmayan ileri yürüme evresinden oluşmaktadır. Operatörlerin titreşim ivmesi ve dozu bakımından TVT maruziyeti, tüm evrelerde birbirine yakındır. Operatör maruziyetleri EU direktifi ve ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca titreşim ivmesi göz önüne alınarak en kötü değer eksen ve vektör toplamı üzerinden değerlendirildiğinde operatörler, tüm evrelerde olumsuz sağlık riski potansiyeli açısından düşük düzeyde kalmaktadır (Şekil 15.22).

Operatör maruziyetleri titreşim dozu parametresi göz önüne alınarak EU 2002/44/EC (2002) direktifi, ISO 2631-1 (1997) ve BS 6841 (1987) standartları uyarınca en kötü değer eksen ve vektör toplamı üzerinden değerlendirildiğinde operatörler, tüm evrelerde olumsuz sağlık riski potansiyeli açısından düşük/tehlikesiz düzeyde kalmaktadır (Şekil 15.23).

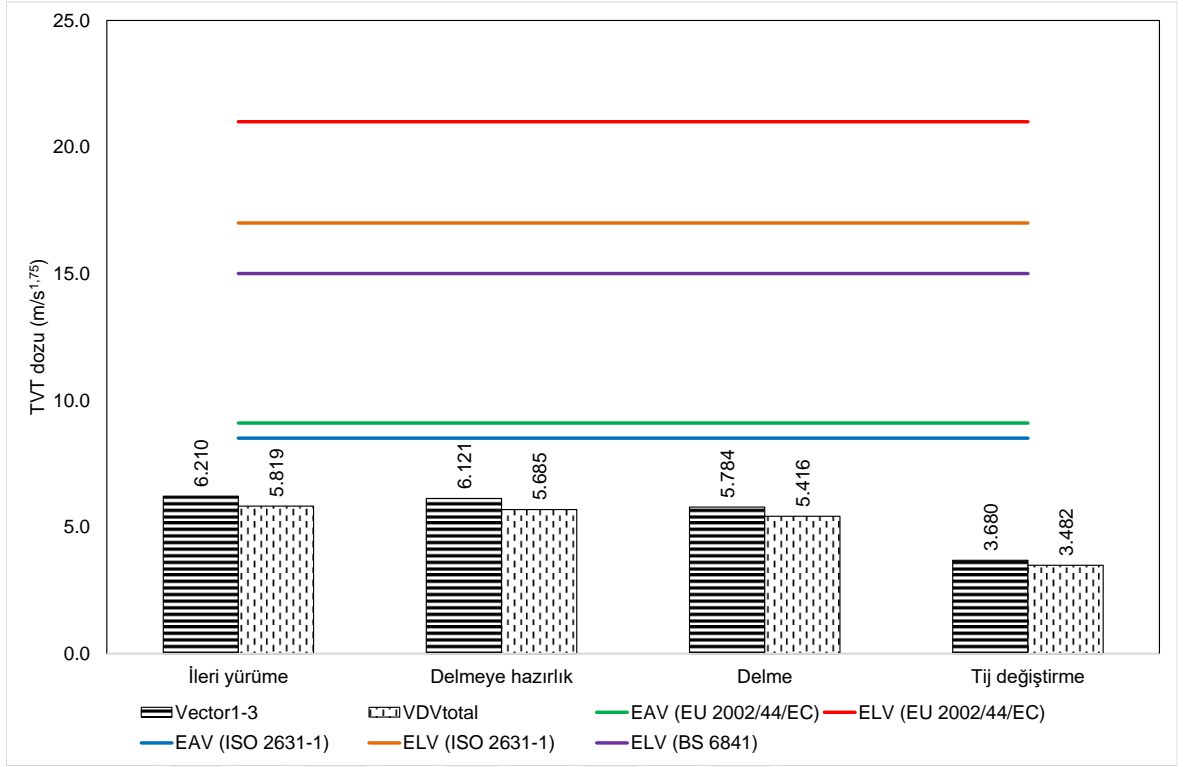
ISO 2631-5 (2004) standardı uyarınca S_{ed} parametresi için en kötü değer eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre tüm evreler düşük düzeyli sağlık riskine işaret etmektedir. R faktörü için en kötü

değer eksenini ile vektör toplamı ölçütlerine göre incelendiğinde operatörler, tüm evrelerde düşük düzeyde sağlık riski bölgesinde yer almaktadır (Şekil 15.24).

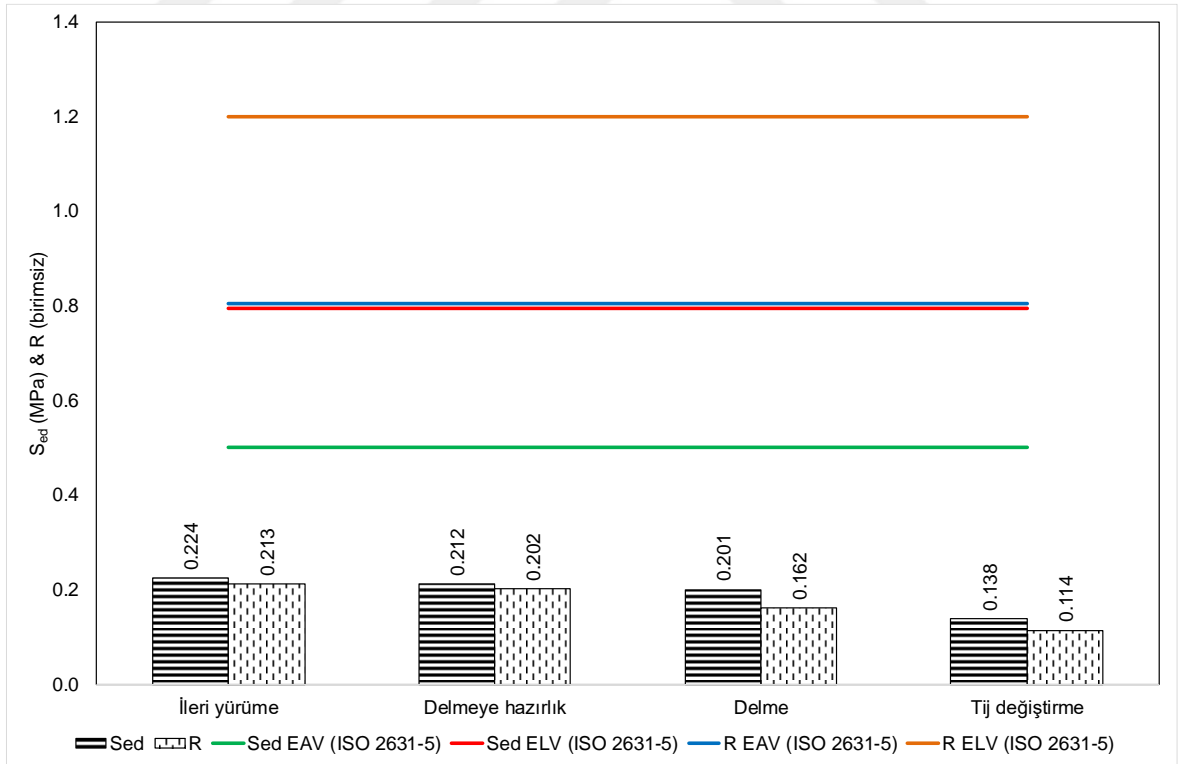
Delici operatörlerinin TVT ivmesi, dozu ve vücut tepkisi maruziyetlerini inceleyen standart ve direktifler doğrultusunda sağlık riskleri toplu olarak Çizelge 15.24'de verilmiştir.



Şekil 15.22 Delici operatörlerinin evrelere göre Vector₁₋₃ ve A(8) değerlerine göre sağlık riski



Şekil 15.23 Delici operatörlerinin evrelere göre Vector₁₋₃ ve VDV_{Total} değerlerine göre sağlık riski



Şekil 15.24 Delici operatörlerinin evrelere göre S_{ed} ve R faktörü değerlerine göre sağlık riski

Çizelge 15.24 Delici operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyeti

Evreler	A(8) (m/s ²)				Vücut tepkisi							
	ISO 2631-1 (1997)		EU 2002/44/EC (2002)		ISO 2631-5 (2004)							
	EKDE ^a	VT ^a	EKDE ^b	VT ^b	S _{ed} ^c	R ^d						
Delme hazırlık	0,191	Düşük	0,236	Düşük	0,191	Düşük	0,236	Düşük	0,212	Düşük	0,202	Düşük
Delme	0,179	Düşük	0,229	Düşük	0,179	Düşük	0,229	Düşük	0,201	Düşük	0,162	Düşük
Tij değiştirme	0,108	Düşük	0,150	Düşük	0,108	Düşük	0,150	Düşük	0,138	Düşük	0,114	Düşük
İleri yürüme	0,259	Düşük	0,327	Düşük	0,259	Düşük	0,327	Düşük	0,224	Düşük	0,213	Düşük

Evreler	VDV (m/s ^{1,75})				EU 2002/44/EC (2002)							
	ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)		EKDE ^e		VT ^e					
	EKDE ^a	VT ^a	EKDE ^b	VT ^b								
Delme hazırlık	5,685	Düşük	6,121	Düşük	5,685	Düşük	6,121	Düşük	5,685	Düşük	6,121	Düşük
Delme	5,416	Düşük	5,784	Düşük	5,416	Düşük	5,784	Düşük	5,416	Düşük	5,784	Düşük
Tij değiştirme	3,482	Düşük	3,680	Düşük	3,482	Düşük	3,680	Düşük	3,482	Düşük	3,680	Düşük
İleri yürüme	5,819	Düşük	6,210	Düşük	5,819	Düşük	6,210	Düşük	5,819	Düşük	6,210	Düşük

Kısaltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

15.9 Hidrolik Kırıcılar

15.9.1 Net kayıt evresinde tüm ölçütler üzerinden değerlendirme

Hidrolik kırıcı operatörlerinin TVT maruziyeti etkilerini inceleyen standart ve direktiflerin ölçütlerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 15.25'de verilmiştir. Operatörlerin titreşim ivmesi ve dozu maruziyetleri, en kötü değer eksenini ölçütüne göre değerlendirildiğinde ISO 2631-1 (1997) standardı ile EU 2002/44/EC (2002) direktifi kapsamında çoğunlukla, orta seviye risk grubunu gösteren EAV bölgesinde, vektör toplamı ölçütüne göre ise ELV bölgesinde yer almaktadır. Titreşim dozu BS 6841 (1987) standardı baz alınarak değerlendirildiğinde operatörler, yüksek sağlık riski bölgesinde yer almaktadır.

Hidrolik kırıcı operatörleri TVT maruziyetine vücut tepkisini değerlendiren ISO 2631-5 (2004) standardı üzerinden değerlendirildiğinde operatörlerin büyük kısmının sağlık riski ciddiyeti orta ve düşük düzeyde çıkmaktadır. Günlük eşdeğer statik basınç dozu (S_{ed}) ölçütüne göre operatörlerin daha büyük bölümünde olumsuz sağlık etkisi olasılığı yüksektir. S_{ed} ile operatörün yaşı ile tecrübesine bağlı azalan güç durumunu dikkate alan R faktörüne göre ise operatörlerin hemen tamamı için olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşüktür.

Çizelge 15.25 Hidrolik kırıcı operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması

ISO 2631-1 (1997)		A(8) (m/s^2)		EU 2002/44/EC (2002)		Vücut tepkisi	
EKDE ^a	VT ^a	EKDE ^b	VT ^b	EKDE ^b	VT ^b	S_{ed} ^c	R ^d
- Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük	2 Düşük	5 Düşük
4 Orta	2 Orta	7 Orta	3 Orta	3 Orta	3 Orta	2 Orta	1 Orta
3 Yüksek	5 Yüksek	- Yüksek	4 Yüksek	4 Yüksek	4 Yüksek	3 Yüksek	1 Yüksek

ISO 2631-1 (1997)		VDV _{Total} ($m/s^{1.75}$)		EU 2002/44/EC (2002)	
EKDE ^e	VT ^e	EKDE ^f	VT ^f	EKDE ^g	VT ^g
- Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük	- Düşük
1 Orta	- Orta	- Orta	- Orta	4 Orta	3 Orta
6 Yüksek	7 Yüksek	7 Yüksek	7 Yüksek	3 Yüksek	4 Yüksek

Kısaltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

15.9.2 Hidrolik kırıcı evrelerinin tüm ölçütler üzerinden değerlendirmesi

Hidrolik kırıcı operatörlerinin TVT maruziyeti etkilerini inceleyen standart ve direktiflerin ölçütlerinden elde edilen sonuçlar evreler bazında Çizelge 15.26'da verilmiştir. Bekleme ve geri yürüme evreleri hariç diğer tüm evrelerde operatörlerin titreşim ivmesi ve dozu maruziyetleri, en kötü değer eksenini ölçütüne göre ISO 2631-1 (1997) standardı ile EU 2002/44/EC (2002) direktifi kapsamında EAV bölgesinde yer almaktadır. Operatörler bekleme evresinde düşük, geri yürüme evresinde yüksek sağlık riski bölgesinde bulunmaktadır. Titreşim dozu maruziyeti, BS 6841 (1987) standardı baz alınarak değerlendirildiğinde operatörler, bekleme dışındaki her üç evrede yüksek sağlık riski etkisi altında yer almaktadırlar.

Hidrolik kırıcı operatörleri TVT maruziyetine vücut tepkisini incelenen ISO 2631-5 (2004) standardı üzerinden değerlendirildiğinde, bekleme hariç tüm evrelerde operatörlerin büyük kısmının sağlık riski ciddiyeti orta ve yüksek düzeyde çıkmaktadır. Günlük eşdeğer statik basınç dozu (S_{ed}) ölçütüne göre operatörlerin daha büyük bölümünde olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı yüksektir. S_{ed} ile operatörün yaşı ile tecrübesine bağlı azalan güç durumunu dikkate alan R faktörüne göre ise operatörlerin hemen tamamı için olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşüktür.

Çizelge 15.26 Hidrolik kırıcı operatörlerinin evreler bazında TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması

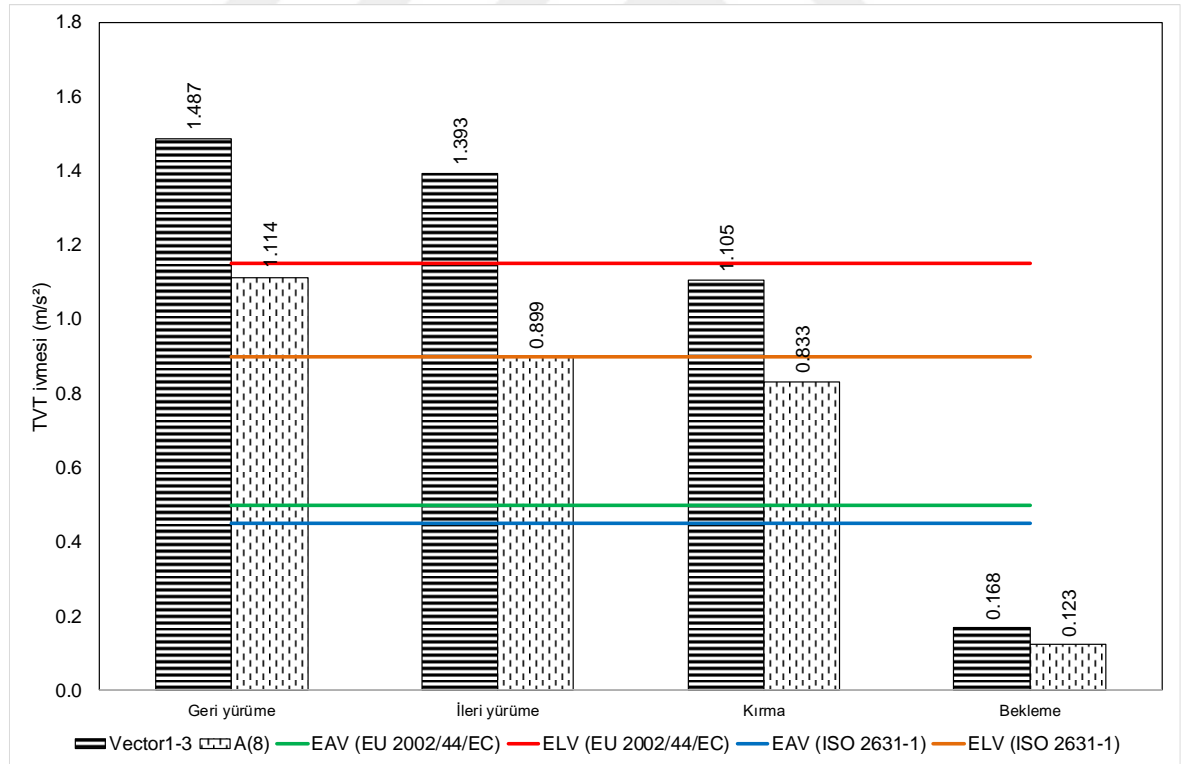
Evreler	A(8) (m/s ²)						Vücut tepkisi					
	ISO 2631-1 (1997)			EU 2002/44/EC (2002)			ISO 2631-5 (2004)					
	EKDE ^a	VT ^a		EKDE ^b	VT ^b		S_{ed} ^c	R ^d				
Kırma	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük	3	Düşük	6	Düşük
	4	Orta	2	Orta	7	Orta	3	Orta	2	Orta	-	Orta
	3	Yüksek	5	Yüksek	-	Yüksek	4	Yüksek	2	Yüksek	1	Yüksek
İleri yürüme	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük	1	Düşük
	2	Orta	-	Orta	2	Orta	1	Orta	1	Orta	2	Orta
	1	Yüksek	3	Yüksek	1	Yüksek	2	Yüksek	2	Yüksek	-	Yüksek
Geri yürüme	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük
	-	Orta	-	Orta	1	Orta	-	Orta	-	Orta	1	Orta
	1	Yüksek	1	Yüksek	-	Yüksek	1	Yüksek	1	Yüksek	-	Yüksek
Bekleme	5	Düşük	5	Düşük	5	Düşük	5	Düşük	5	Düşük	5	Düşük
	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
Evreler	VDV (m/s ^{1.75})											
	ISO 2631-1 (1997)			BS 6841 (1987)			EU 2002/44/EC (2002)					
	EKDE ^a	VT ^a		EKDE ^b	VT ^b		EKDE ^e	VT ^e				
Kırma	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük
	2	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	5	Orta	3	Orta
	5	Yüksek	7	Yüksek	7	Yüksek	7	Yüksek	2	Yüksek	4	Yüksek
İleri yürüme	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük
	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta
	3	Yüksek	3	Yüksek	3	Yüksek	3	Yüksek	3	Yüksek	3	Yüksek
Geri yürüme	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük	-	Düşük
	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta
	1	Yüksek	1	Yüksek	1	Yüksek	1	Yüksek	1	Yüksek	1	Yüksek
Bekleme	4	Düşük	4	Düşük	5	Düşük	5	Düşük	5	Düşük	4	Düşük
	1	Orta	1	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	1	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek

Kısaltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

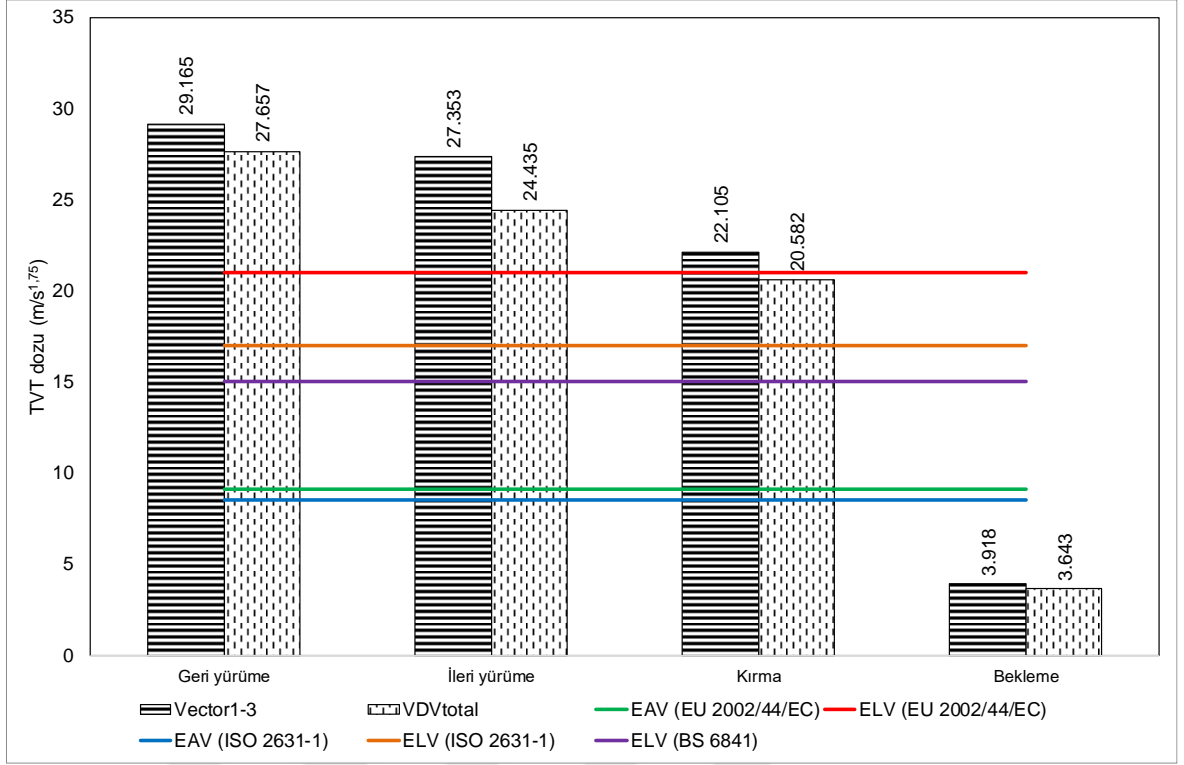
Hidrolik kırıcı çalışması ileri yürüme, geri yürüme, kırma ve bekleme evrelerine ayrılmıştır. Operatörlerin titreşim ivmesi ve dozu bakımından TVT maruziyeti, bekleme dışındaki evrelerde birbirine yakındır. Operatör maruziyetleri titreşim ivmesi parametresi göz önüne alınarak en kötü değer eksenini (A(8)) üzerinden değerlendirildiğinde bekleme dışındaki evreler maruziyet eylem değerini (EAV) aşmış, operatörü orta düzeyde olumsuz sağlık riskine maruz bırakırken; bekleme evresi bu sınırın altında kalarak operatöre olumsuz sağlık riski potansiyeli açısından düşük düzeyde kalmaktadır. Ancak TVT maruziyeti, BS 6841 (1987) standardında önerildiği gibi vektör toplamı üzerinden değerlendirildiğinde ileri ve geri yürüme evreleri operatöre yüksek düzeyde olumsuz sağlık riski potansiyeli barındıran ELV bölgesine, kırma evresi operatöre orta düzeyde olumsuz sağlık riski potansiyeli barındıran EAV bölgesine düşmektedir. EAV sınırı altında kalan bekleme evresi düşük

düzeyde olumsuz sağlık riskine işaret etmektedir. Değerlendirme ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca yapıldığında, en kötü değer eksenini ölçütüne göre geri yürüme ELV bölgesinde, ileri yürüme ve kırma evreleri EAV bölgesinde ve bekleme, EAV sınırı altında yer almaktadır. Vektör toplamı ölçütü dikkate alındığında ise ileri ve geri yürüme ile kırma evreleri operatöre yüksek sağlık riski potansiyeli taşıyan ELV bölgesinde yer alırken, bekleme evresi düşük düzeyli sağlık riskine işaret eden EAV sınırı altındaki bölgeye düşmektedir (Şekil 15.25).

Operatör maruziyetleri titreşim dozu parametresi göz önüne alınarak EU 2002/44/EC (2002) direktifi uyarınca en kötü değer eksenini üzerinden değerlendirildiğinde bekleme, EAV sınırı altındaki düşük riskli bölgede kalırken, kırma orta riskli EAV bölgesinde ve diğer evreler yüksek riskli ELV bölgesine düşmektedir. Vektör toplamı ölçütüne göre düşük risk bölgesindeki bekleme dışındaki evreler, ELV sınırı üzerindeki yüksek risk bölgesinde yer almaktadır. Operatör maruziyetleri ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca değerlendirildiğinde, en kötü değer eksenini ve vektör toplamı ölçütlerine göre ileri ve geri yürüme ile kırma evreleri ELV üzerinde, bekleme evresi ise düşük riskli EAV sınırı altındaki bölgededir. Maruziyetler BS 6841 (1987) standardı uyarınca en kötü değer eksenini ve vektör toplamına göre değerlendirildiğinde, tehlike düzeyi tanımlanmamış olan alt bölgedeki bekleme dışındaki evreler, tehlikeli bölgeye düşmektedir (Şekil 15.26).



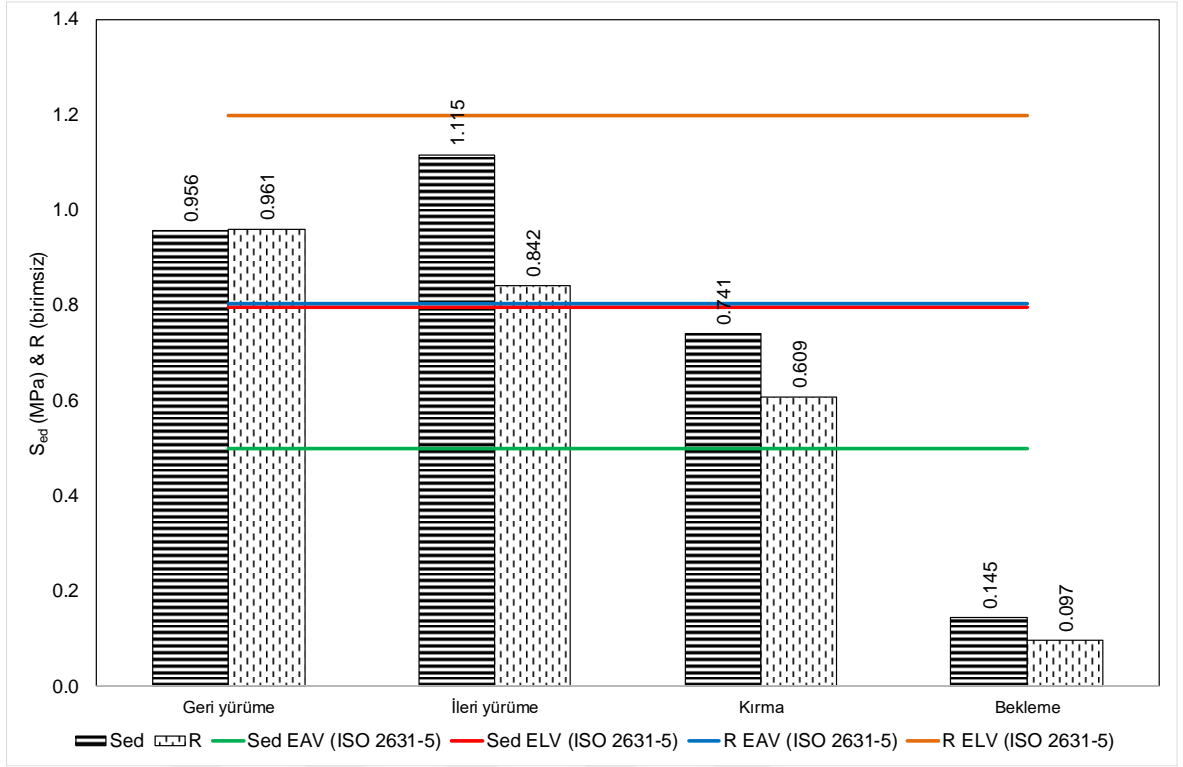
Şekil 15.25 Hidrolik kırıcı operatörlerinin evrelere göre Vector₁₋₃ ve A(8) değerlerine göre sağlık riski



Şekil 15.26 Hidrolik kırıcı operatörlerinin evrelere göre Vector₁₋₃ ve A(8) değerlerine göre sağlık riski

ISO 2631-5 (2004) standardı uyarınca S_{ed} parametresi için en kötü değer eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre ileri ve geri yürüme evreleri yüksek düzeyli, kırma evresi orta düzeyli ve bekleme evresi düşük düzeyli sağlık riskine işaret etmektedir. R faktörü için en kötü değer eksen ve vektör toplamı ölçütlerine göre ileri ve geri yürüme evreleri orta düzeyli, kırma ve bekleme evreleri düşük düzeyli sağlık riskine işaret etmektedir (Şekil 15.27).

Hidrolik kırıcı operatörlerinin TVT ivmesi, dozu ve vücut tepkisi maruziyetlerini inceleyen standart ve direktifler doğrultusunda sağlık riskleri toplu olarak Çizelge 15.27'de verilmiştir.



Şekil 15.27 Hidrolik kırıcı operatörlerinin evrelere göre S_{ed} ve R faktörü değerlerine göre sağlık riski

Çizelge 15.27 Hidrolik kırıcı operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyeti

Evreler	A(8) (m/s ²)								Vücut tepkisi			
	ISO 2631-1 (1997)				EU 2002/44/EC (2002)				ISO 2631-5 (2004)			
	EKDE ^a		VT ^a		EKDE ^b		VT ^b		S _{ed} ^c		R ^d	
Kırma	0.833	Orta	1.105	Yüksek	0.833	Orta	1.105	Orta	0.741	Orta	0.609	Düşük
İleri yürüme	0.899	Orta	1.393	Yüksek	0.899	Orta	1.393	Yüksek	1.115	Yüksek	0.842	Orta
Geri yürüme	1.114	Yüksek	1.468	Yüksek	1.114	Orta	1.468	Orta	0.956	Yüksek	0.961	Orta
Bekleme	0.123	Düşük	0.168	Düşük	0.123	Düşük	0.168	Düşük	0.145	Düşük	0.097	Orta

Evreler	VDV (m/s ^{1.75})							
	ISO 2631-1 (1997)				EU 2002/44/EC (2002)			
	EKDE ^a		VT ^a		EKDE ^b		VT ^b	
Kırma	20.582	Yüksek	22.105	Yüksek	20.582	Yüksek	22.105	Yüksek
İleri yürüme	24.435	Yüksek	27.353	Yüksek	24.435	Yüksek	27.353	Yüksek
Geri yürüme	27.657	Yüksek	29.165	Yüksek	27.657	Yüksek	29.165	Yüksek
Bekleme	3.643	Düşük	3.918	Düşük	3.643	Düşük	3.918	Düşük

Kısaltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

15.10 Çekmekepçeler

15.10.1 Net kayıt evresinde tüm ölçütler üzerinden değerlendirme

Çekmekepçe operatörlerinin TVT maruziyeti etkilerini inceleyen standart ve direktiflerin ölçütlerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 15.28'de verilmiştir. EU 2002/44/EC direktifi, ISO 2631-1 (1997), ISO 2631-5 (2004) ve BS 6841 (1987) standartları uyarınca TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre operatörlerin sağlık riski potansiyeli düşüktür.

Çizelge 15.28 Çekmekepçe operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması

ISO 2631-1 (1997)		A(8) (m/s ²)		EU 2002/44/EC (2002)		Vücut tepkisi	
EKDE ^a	VT ^a	EKDE ^b	VT ^b	EKDE ^c	VT ^c	S _{ed} ^c	R ^d
3 Düşük	3 Düşük	3 Düşük	3 Düşük	3 Düşük	3 Düşük	3 Düşük	3 Düşük
- Orta	- Orta	- Orta	- Orta	- Orta	- Orta	- Orta	- Orta
- Yüksek	- Yüksek	- Yüksek	- Yüksek	- Yüksek	- Yüksek	- Yüksek	- Yüksek

ISO 2631-1 (1997)		VDV _{Total} (m/s ^{1.75})		EU 2002/44/EC (2002)	
EKDE ^e	VT ^e	EKDE ^f	VT ^f	EKDE ^g	VT ^g
3 Düşük	3 Düşük	3 Düşük	3 Düşük	3 Düşük	3 Düşük
- Orta	- Orta	- Orta	- Orta	- Orta	- Orta
- Yüksek	- Yüksek	- Yüksek	- Yüksek	- Yüksek	- Yüksek

Kisaltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

15.10.2 Çekmekepçe evrelerinin tüm ölçütler üzerinden değerlendirmesi

Çekmekepçe operatörlerinin TVT maruziyeti etkilerini inceleyen standart ve direktiflerin ölçütlerinden elde edilen sonuçlar evreler bazında Çizelge 15.29'da verilmiştir. EU 2002/44/EC direktifi, ISO 2631-1 (1997), ISO 2631-5 (2004) ve BS 6841 (1987) standartları uyarınca tüm evrelerde operatörlerin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyeti değerlendirilmesi düşüktür.

Çekmekepçe çalışması ardışık yükleme, dolu dönüş, boşaltma ve boş dönüş evrelerinden oluşmaktadır. Operatörlerin titreşim ivmesi ve dozu bakımından TVT maruziyeti, tüm evrelerde birbirine yakındır. Operatör maruziyetleri EU direktifi ve ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca titreşim ivmesi göz önüne alınarak en kötü değer eksen ve vektör toplamı üzerinden değerlendirildiğinde operatörler, tüm evrelerde olumsuz sağlık riski potansiyeli açısından düşük düzeyde kalmaktadır (Şekil 15.28).

Operatör maruziyetleri titreşim dozu parametresi göz önüne alınarak EU 2002/44/EC (2002) direktifi, ISO 2631-1 (1997) ve BS 6841 (1987) standartları uyarınca en kötü değer eksen ve vektör toplamı üzerinden değerlendirildiğinde operatörler, tüm evrelerde olumsuz sağlık riski potansiyeli açısından düşük/tehlikesiz düzeyde kalmaktadır (Şekil 15.29).

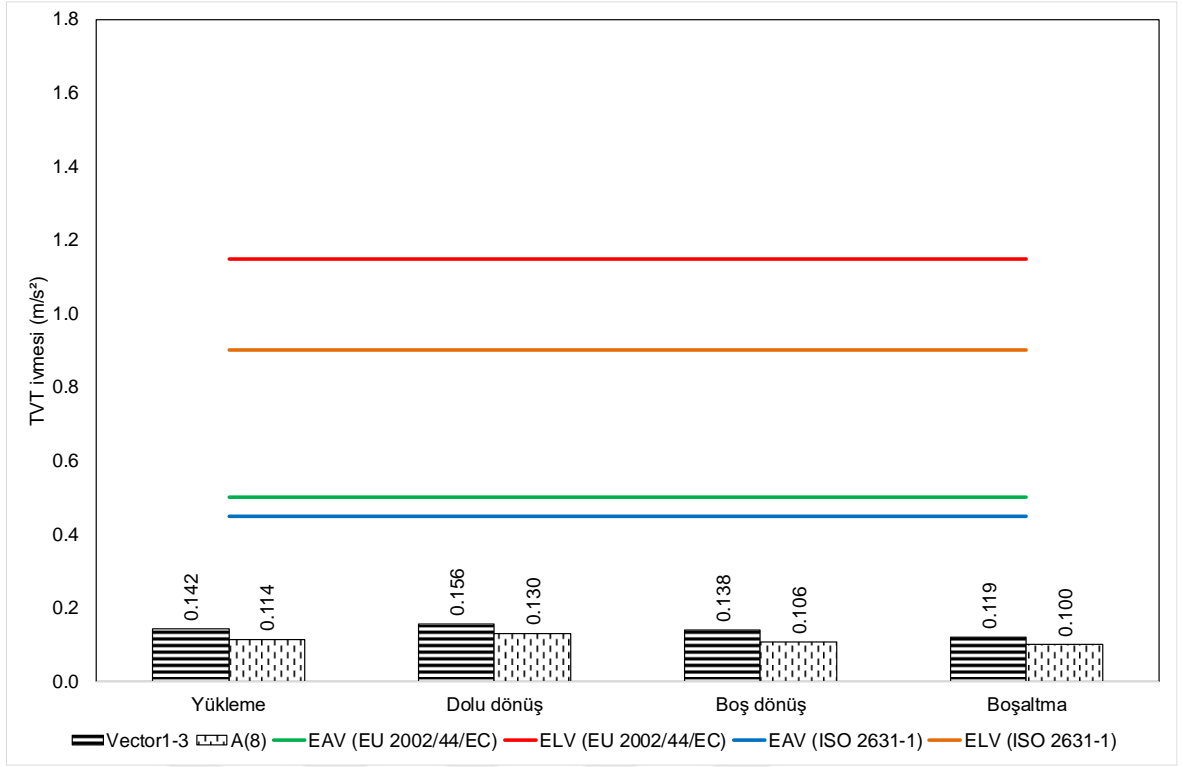
Çizelge 15.29 Çekmekepçe operatörlerinin evreler bazında TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması

Evreler	A(8) (m/s ²)								Vücut tepkisi			
	ISO 2631-1 (1997)				EU 2002/44/EC (2002)				ISO 2631-5 (2004)			
	EKDE ^a		VT ^a		EKDE ^b		VT ^b		S _{ed} ^c		R ^d	
Doldurma	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük
	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
Dolu dönüş	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük
	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
Boşaltma	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük
	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
Boş dönüş	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük
	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
Evreler	VDV (m/s ^{1,75})											
	ISO 2631-1 (1997)				BS 6841 (1987)				EU 2002/44/EC (2002)			
	EKDE ^a		VT ^a		EKDE ^b		VT ^b		EKDE ^e		VT ^e	
Doldurma	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük
	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
Dolu dönüş	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük
	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
Boşaltma	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük
	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
Boş dönüş	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük	3	Düşük
	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek

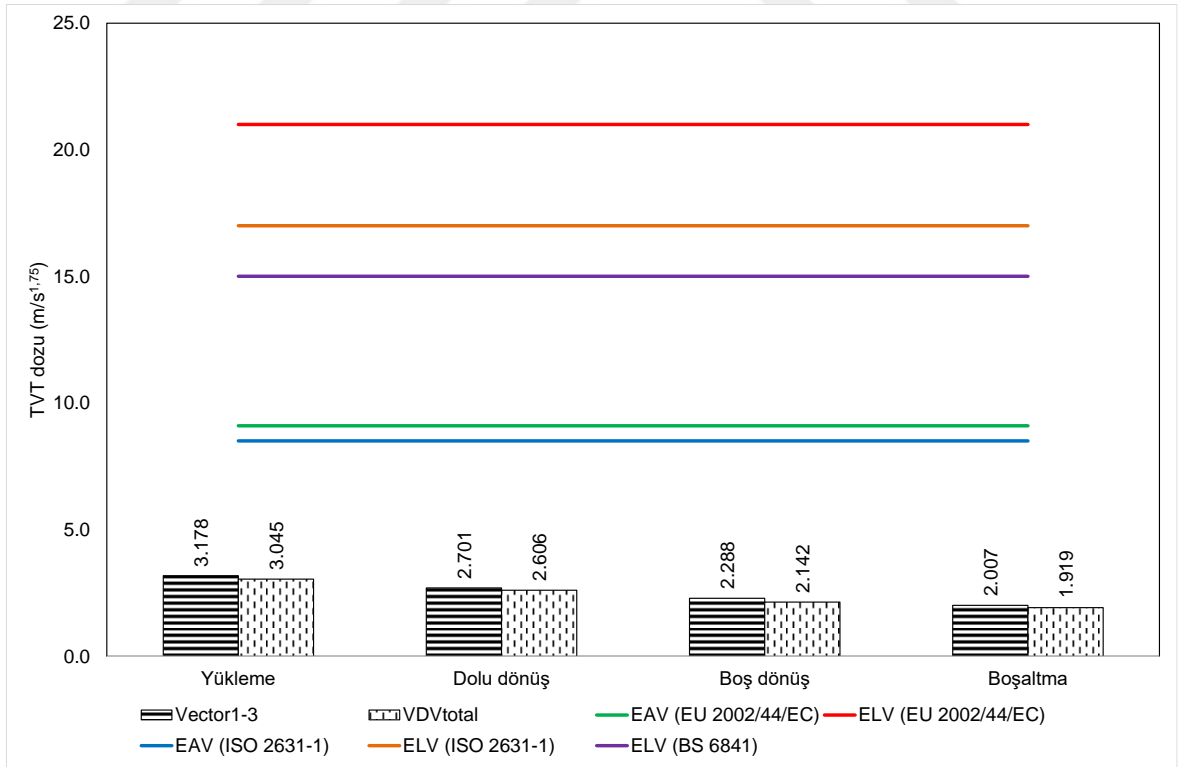
Kısaltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

ISO 2631-5 (2004) standardı uyarınca S_{ed} parametresi için en kötü değer eksenini ile vektör toplamı ölçütlerine göre tüm evreler düşük düzeyli sağlık riskine işaret etmektedir. R faktörü için en kötü değer eksenini ile vektör toplamı ölçütlerine göre incelendiğinde operatörler, tüm evrelerde düşük düzeyde sağlık riski bölgesinde yer almaktadır (Şekil 15.30).

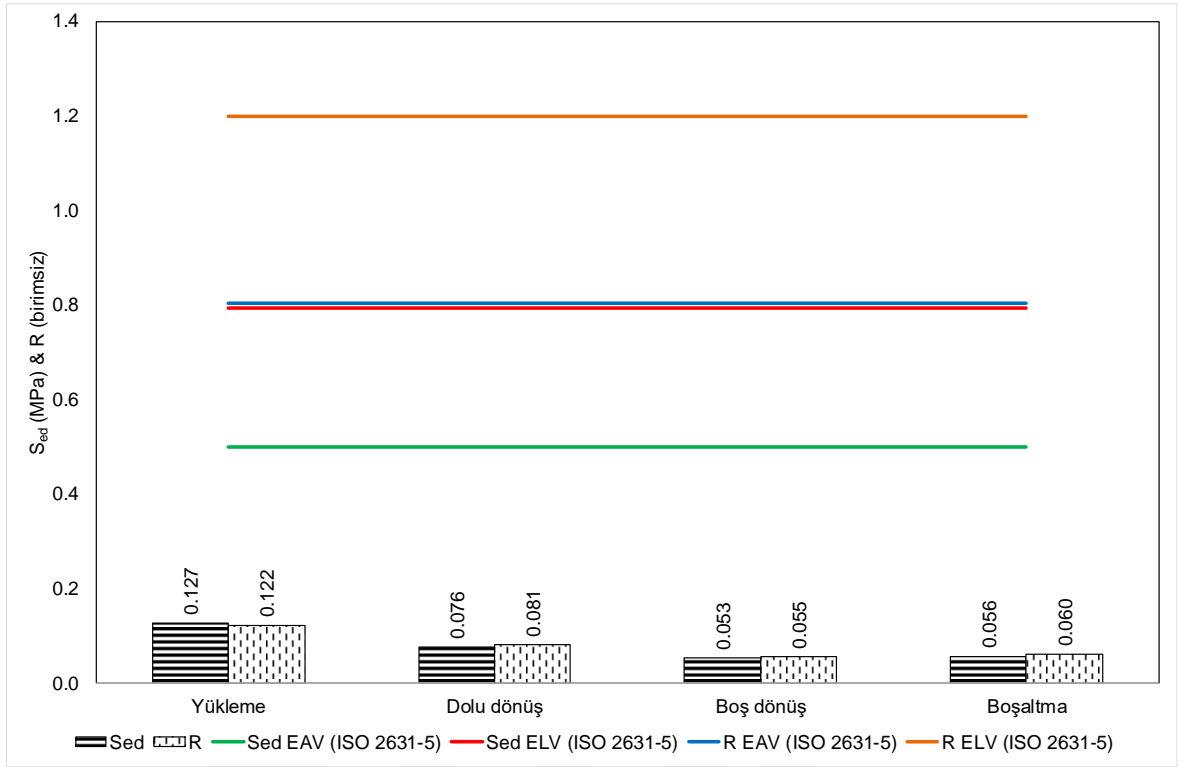
Çekmekepçe operatörlerinin TVT ivmesi, dozu ve vücut tepkisi maruziyetlerini inceleyen standart ve direktifler doğrultusunda sağlık riskleri toplu olarak Çizelge 15.30'da verilmiştir.



Şekil 15.28 Çekmekepçe operatörlerinin evrelere göre Vector₁₋₃ ve A(8) değerlerine göre sağlık riski



Şekil 15.39 Çekmekepçe operatörlerinin evrelere göre Vector₁₋₃ ve VDV_{Total} değerlerine göre sağlık riski



Şekil 15.30 Çekmekepçe operatörlerinin evrelere göre S_{ed} ve R faktörü değerlerine göre sağlık riski

Çizelge 15.30 Çekmekepçe operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyeti

Evreler	A(8) (m/s ²)								Vücut tepkisi			
	ISO 2631-1 (1997)				EU 2002/44/EC (2002)				ISO 2631-5 (2004)			
	EKDE ^a		VT ^a		EKDE ^b		VT ^b		S _{ed} ^c		R ^d	
Doldurma	0,114	Düşük	0,142	Düşük	0,114	Düşük	0,142	Düşük	0,127	Düşük	0,122	Düşük
Dolu dönüş	0,130	Düşük	0,156	Düşük	0,130	Düşük	0,156	Düşük	0,076	Düşük	0,081	Düşük
Boşaltma	0,100	Düşük	0,119	Düşük	0,100	Düşük	0,119	Düşük	0,056	Düşük	0,060	Düşük
Boş dönüş	0,106	Düşük	0,138	Düşük	0,106	Düşük	0,138	Düşük	0,053	Düşük	0,055	Düşük
Evreler	VDV (m/s ^{1,75})								EU 2002/44/EC (2002)			
	ISO 2631-1 (1997)				BS 6841 (1987)				EU 2002/44/EC (2002)			
	EKDE ^a		VT ^a		EKDE ^b		VT ^b		EKDE ^e		VT ^e	
Doldurma	3,045	Düşük	3,178	Düşük	3,045	Düşük	3,178	Düşük	3,045	Düşük	3,178	Düşük
Dolu dönüş	2,606	Düşük	2,701	Düşük	2,606	Düşük	2,701	Düşük	2,606	Düşük	2,701	Düşük
Boşaltma	1,919	Düşük	2,007	Düşük	1,919	Düşük	2,007	Düşük	1,919	Düşük	2,007	Düşük
Boş dönüş	2,142	Düşük	2,288	Düşük	2,142	Düşük	2,288	Düşük	2,142	Düşük	2,288	Düşük

Kısaltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

15.11 Döner Kepçeli Ekskavatörler

15.11.1 Net kayıt evresinde tüm ölçütler üzerinden değerlendirme

DKE'lerin operatörlerinin TVT maruziyeti etkilerini inceleyen standart ve direktiflerin ölçütlerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 15.31'de verilmiştir. EU 2002/44/EC direktifi, ISO 2631-1 (1997), ISO 2631-5 (2004) ve BS 6841 (1987) standartları uyarınca TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyeti değerlendirmesi düşük çıkmaktadır.

Çizelge 15.31 DKE operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması

ISO 2631-1 (1997)		A(8) (m/s ²)		EU 2002/44/EC (2002)		Vücut tepkisi	
EKDE ^a	VT ^a	EKDE ^b	VT ^b	EKDE ^b	VT ^b	S _{ed} ^c	R ^d
3 Düşük	2 Düşük	3 Düşük	2 Düşük	3 Düşük	2 Düşük	3 Düşük	3 Düşük
- Orta	1 Orta	- Orta	1 Orta	- Orta	1 Orta	- Orta	- Orta
- Yüksek	- Yüksek	- Yüksek	- Yüksek	- Yüksek	- Yüksek	- Yüksek	- Yüksek

ISO 2631-1 (1997)		VDV _{Total} (m/s ^{1.75})		EU 2002/44/EC (2002)	
EKDE ^e	VT ^e	EKDE ^f	VT ^f	EKDE ^g	VT ^g
2 Düşük	2 Düşük	3 Düşük	2 Düşük	2 Düşük	2 Düşük
1 Orta	1 Orta	- Orta	- Orta	1 Orta	1 Orta
- Yüksek	- Yüksek	- Yüksek	1 Yüksek	- Yüksek	- Yüksek

Kısaltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

15.11.2 DKE evrelerinin tüm ölçütler üzerinden değerlendirmesi

DKE'lerin operatörlerinin TVT maruziyeti etkilerini inceleyen standart ve direktiflerin ölçütlerinden elde edilen sonuçlar evreler bazında Çizelge 15.32'de verilmiştir. EU 2002/44/EC direktifi, ISO 2631-1 (1997), ISO 2631-5 (2004) ve BS 6841 (1987) standartları uyarınca TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyeti değerlendirilmesi düşük çıkmaktadır.

DKE çalışması kazı ve ileri yürüme evrelerinden oluşmaktadır. Operatörlerin titreşim ivmesi ve dozu bakımından TVT maruziyeti, tüm evrelerde birbirine yakındır. Operatör maruziyetleri EU direktifi ve ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca titreşim ivmesi göz önüne alınarak en kötü değer eksen ve vektör toplamı üzerinden değerlendirildiğinde operatörler, tüm evrelerde olumsuz sağlık riski potansiyeli açısından düşük düzeyde kalmaktadır (Şekil 15.31).

Operatör maruziyetleri titreşim dozu parametresi göz önüne alınarak EU 2002/44/EC (2002) direktifi, ISO 2631-1 (1997) ve BS 6841 (1987) standartları uyarınca en kötü değer eksen üzerinden değerlendirildiğinde operatörler, tüm evrelerde olumsuz sağlık riski potansiyeli açısından düşük/tehlikesiz düzeyde kalmaktadır. Vektör toplamı ölçütünde kazı evresi ISO 2631-1 (1997) standardına göre orta düzeyde sağlık riskine işaret eden EAV bölgesine düşmektedir (Şekil 15.32).

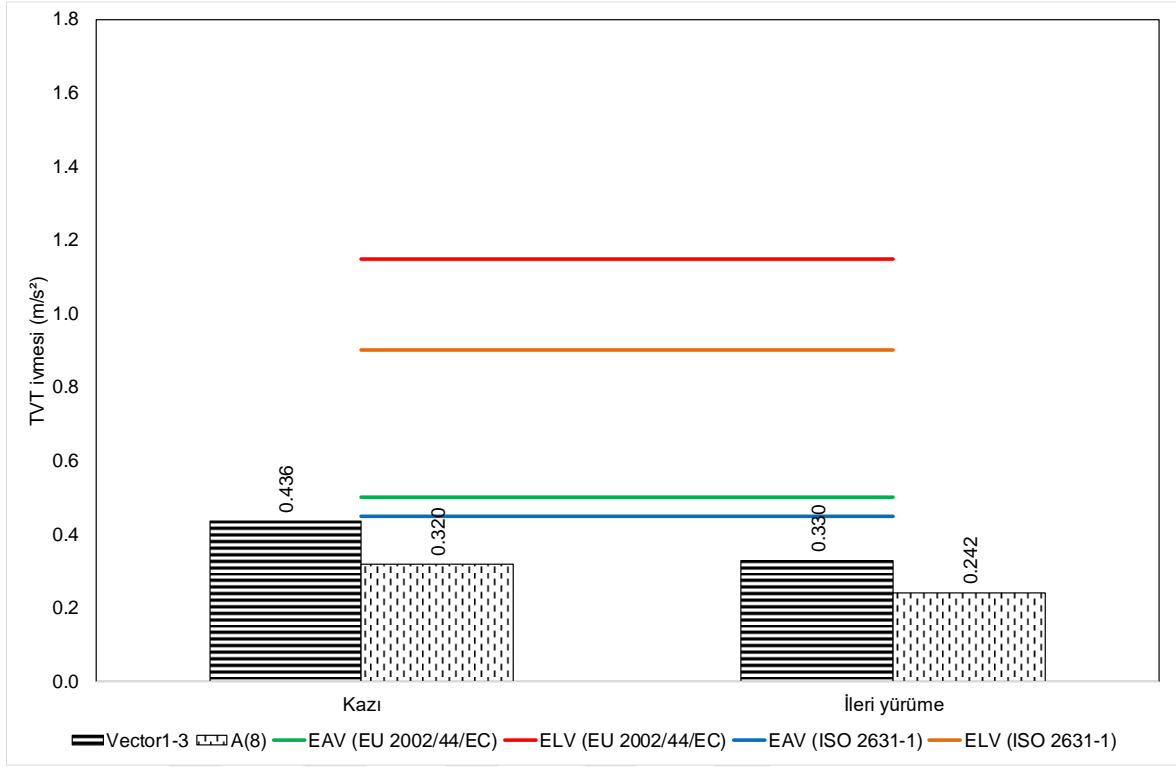
Çizelge 15.32 DKE operatörlerinin evreler bazında TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyetinin karşılaştırılması

Evreler	A(8) (m/s ²)						Vücut tepkisi			
	ISO 2631-1 (1997)		EU 2002/44/EC (2002)				ISO 2631-5 (2004)			
	EKDE ^a	VT ^a	EKDE ^b	VT ^b	S _{ed} ^c	R ^d				
Kazı	3	Düşük	2	Düşük	3	Düşük	2	Düşük	3	Düşük
	-	Orta	1	Orta	-	Orta	1	Orta	-	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
İleri yürüme	2	Düşük	2	Düşük	2	Düşük	2	Düşük	2	Düşük
	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek
Evreler	VDV (m/s ^{1,75})				EU 2002/44/EC (2002)					
	ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)		EKDE ^e		VT ^e			
	EKDE ^a	VT ^a	EKDE ^b	VT ^b	EKDE ^e	VT ^e				
Kazı	2	Düşük	2	Düşük	3	Düşük	2	Düşük	2	Düşük
	1	Orta	1	Orta	-	Orta	-	Orta	1	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	1	Yüksek	-	Yüksek
İleri yürüme	2	Düşük	2	Düşük	2	Düşük	2	Düşük	2	Düşük
	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta	-	Orta
	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek	-	Yüksek

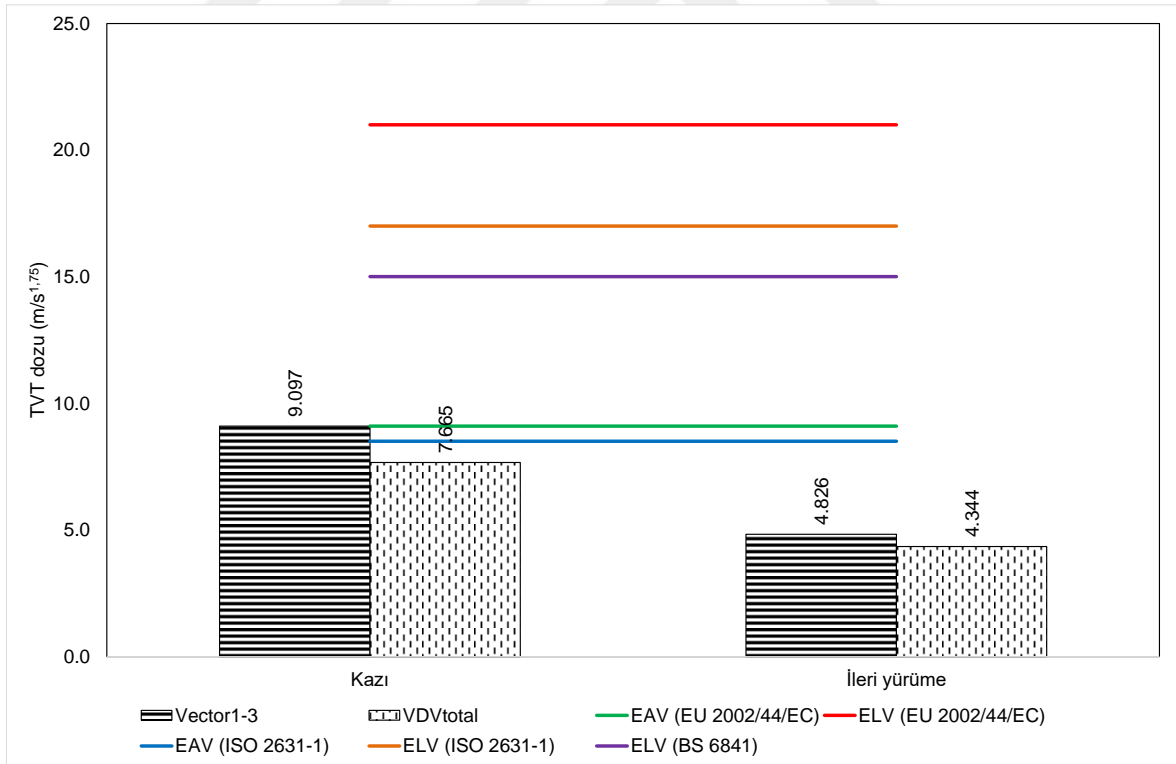
Kısaltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

ISO 2631-5 (2004) standardı uyarınca S_{ed} parametresi için en kötü değer eksenini ile vektör toplamı ölçütlerine göre tüm evreler düşük düzeyli sağlık riskine işaret etmektedir. R faktörü için en kötü değer eksenini ile vektör toplamı ölçütlerine göre incelendiğinde operatörler, tüm evrelerde düşük düzeyde sağlık riski bölgesinde yer almaktadır (Şekil 15.33).

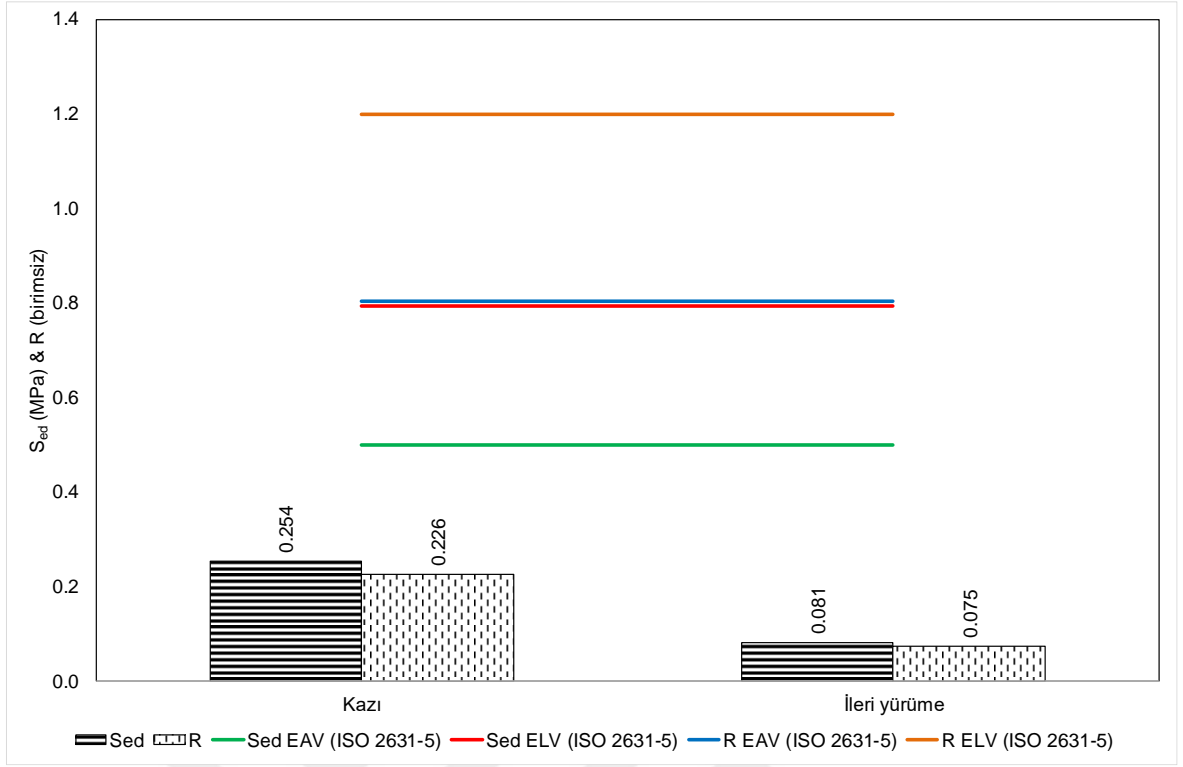
DKE operatörlerinin TVT ivmesi, dozu ve vücut tepkisi maruziyetlerini inceleyen standart ve direktifler doğrultusunda sağlık riskleri toplu olarak Çizelge 15.33'de verilmiştir.



Şekil 15.31 DKE operatörlerinin evrelere göre Vector₁₋₃ ve A(8) değerlerine göre sağlık riski



Şekil 15.32 DKE operatörlerinin evrelere göre Vector₁₋₃ ve VDV_{Total} değerlerine göre sağlık riski



Şekil 15.33 DKE operatörlerinin evrelere göre S_{ed} ve R faktörü değerlerine göre sağlık riski

Çizelge 15.33 DKE operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyeti

Evreler	A(8) (m/s ²)						Vücut tepkisi					
	ISO 2631-1 (1997)		EU 2002/44/EC (2002)				ISO 2631-5 (2004)					
	EKDE ^a	VT ^a	EKDE ^b	VT ^b	S _{ed} ^c	R ^d						
Kazı	0,320	Düşük	0,436	Düşük	0,320	Düşük	0,436	Düşük	0,254	Düşük	0,226	Düşük
İleri yürüme	0,242	Düşük	0,330	Düşük	0,242	Düşük	0,330	Düşük	0,081	Düşük	0,075	Düşük
Evreler	VDV (m/s ^{1,75})						EU 2002/44/EC (2002)					
	ISO 2631-1 (1997)		BS 6841 (1987)				EKDE ^e		VT ^e			
	EKDE ^a	VT ^a	EKDE ^b	VT ^b	EKDE ^e	VT ^e						
Kazı	7,665	Düşük	9,097	Orta	7,665	Düşük	9,097	Düşük	7,665	Düşük	9,097	Düşük
İleri yürüme	4,344	Düşük	4,826	Düşük	4,344	Düşük	4,826	Düşük	4,344	Düşük	4,826	Düşük

Kısaltmalar ve limit değerler Çizelge 15.1'de verilmiştir.

16 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

16.1 Genel Sonuçlar

Bu doktora tez çalışması kapsamında maden işletmelerinde kullanılan farklı tip, model ve kapasitede toplam 262 adet iş makinesi operatöründen tüm-vücut titreşimi maruziyeti ölçümleri alınmıştır. Çalışma, insanlar üzerinden veri almaya dayalı olduğundan öncelikle Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Etik Kurulu'ndan izin alınmıştır. Saha çalışmaları sırasında tüm operatörlere "bilgilendirilmiş olur formu" okunarak, çalışmanın içeriği hakkında bilgi verilmiş ve çalışmaya katılma onayları alınmıştır.

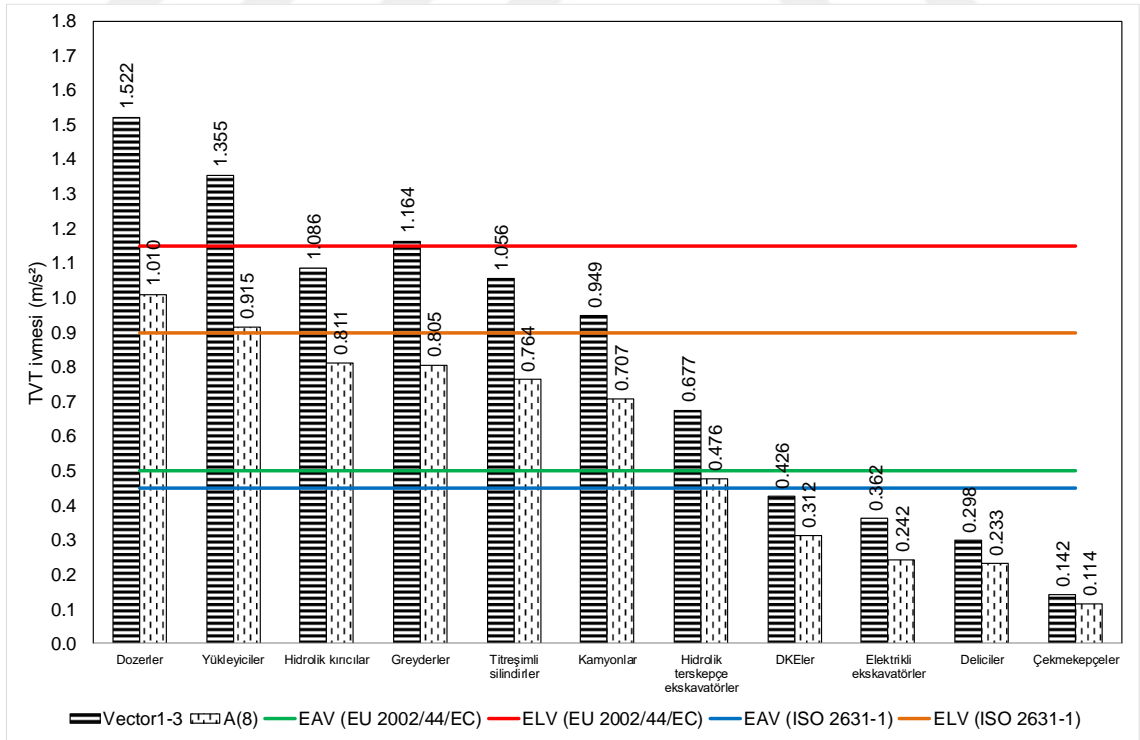
İş makineleri arasında; kamyon, hidrolik terskepçe ekskavatör, dozer, yükleyici, greyder, elektrikli ekskavatör, titreşimli silindir, delici, hidrolik kırıcı, çekmekepçe ve DKE bulunmaktadır. TVT maruziyeti ölçümleri Sivas ve komşu iller ile batı Anadolu bölgesinde yer alan kamu ve özel sektör tarafından işletilen; kömür, agrega, mermer, alçı, demir, altın, kalsit, kil, kireçtaşı işletmeleri, yol inşaat şantiyeleri, cevher hazırlama tesisi, beton santrali ve hurda demir tesisi gibi 13 farklı işletmeden alınmıştır.

Ölçümler, bir titreşim analizi paket programı kullanılarak iş makinelerinin bölümlendirilen çalışma evreleri üzerinden değerlendirilmiştir. Böylece tüm iş makinesi operatörlerinin genel ve evre bazında titreşim maruziyeti ayrı ayrı tespit edilebilmiştir. Aşağıdaki titreşim parametreleri ölçülmüş ya da ölçülen parametreler kullanılarak hesaplanmıştır: KOK(RMS), CRF, SEAT_{RMS-X}, SEAT_{RMS-Y}, SEAT_{RMS-Z}, RMS_{WB-Seat}, VECTOR₁₋₃, A(8), eVDV, EAV_{TT(RMS)}, ELV_{TT(RMS)}, VDV, VDV_{WB-Seat}, VDV_{Daily}, SEAT_{VDV-X}, SEAT_{VDV-Y}, SEAT_{VDV-Z}, EAV_{TT(VDV)}, ELV_{TT(VDV)}, S_{ed} ve R.

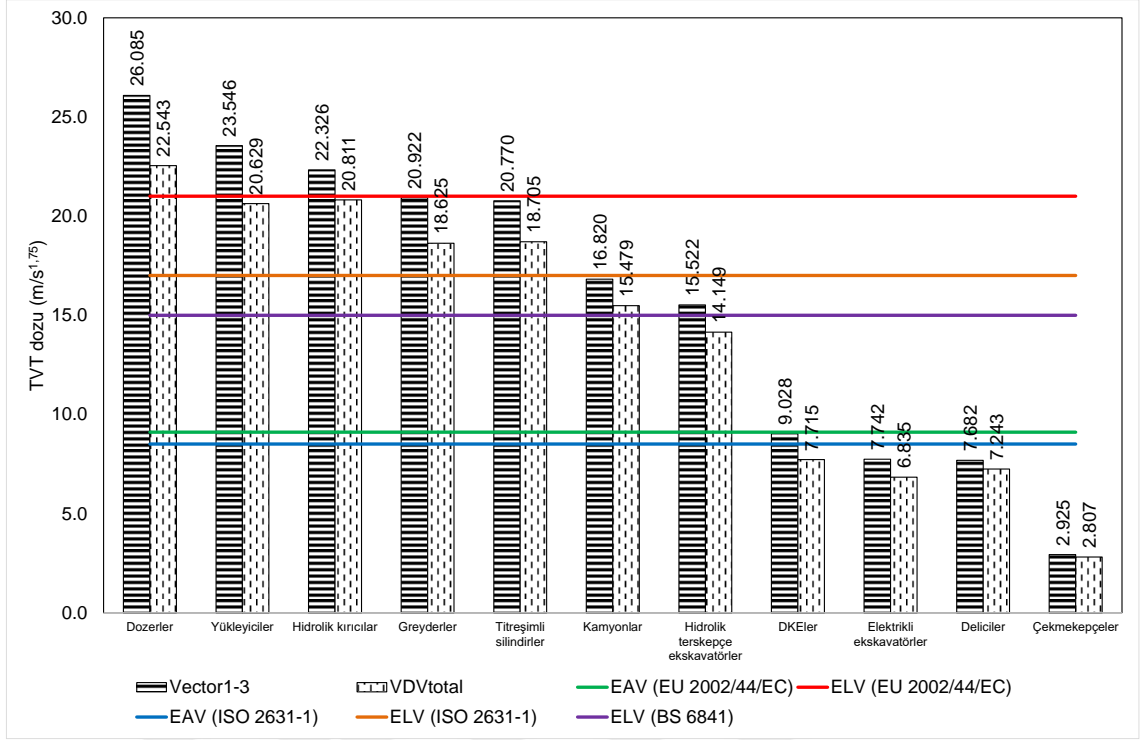
Operatör maruziyetleri titreşim ivmesi parametresi (A(8)) göz önüne alınarak en kötü değer eksenini üzerinden değerlendirildiğinde EU 2002/44/EC direktifi uyarınca hiçbir iş makinesi maruziyet sınır değerini (ELV) aşmış, operatörleri yüksek düzeyde olumsuz sağlık riskine maruz bırakmamaktadır. Ancak dozerler, yükleyiciler, hidrolik kırıcılar, greyderler, titreşimli silindirler ve kamyonlar maruziyet eylem değerini (EAV) aşmış, operatörlerini orta düzeyde olumsuz sağlık riskine maruz bırakmaktadır. Hidrolik terskepçe ekskavatörler, DKEler, elektrikli ekskavatörler, deliciler ve çekmekepçeler ise operatörlerini EAV sınırı altında TVT ivmesine maruz bırakmaktadır. Operatör maruziyeti vektör toplamı üzerinden değerlendirildiğinde ise dozerler, yükleyiciler ve greyderler ELV sınırı üzerinde yer almakta olup yüksek olumsuz sağlık riski potansiyeline sahiptir. Hidrolik kırıcılar, titreşimli silindirler, kamyonlar ve hidrolik terskepçe ekskavatörler orta düzeyde olumsuz sağlık riskine işaret eden EAV bölgesinde bulunmaktadır. DKEler, elektrikli ekskavatörler, deliciler ve çekmekepçeler ise EAV sınırı altında, düşük sağlık riski bölgesinde yer almaktadır (Şekil 16.1).

Operatör maruziyetleri titreşim dozu parametresi (VDV_{Total}) göz önüne alınarak en kötü değer eksenini üzerinden değerlendirildiğinde EU 2002/44/EC direktifi uyarınca yalnızca dozerler ELV sınırı üzerinde yer almakta olup yüksek olumsuz sağlık riski potansiyeline sahiptir. Yükleyiciler,

hidrolik kırıcılar, greyderler, titreşimli silindirler, kamyonlar ve hidrolik terskepçe ekskavatörler orta düzeyde olumsuz sağlık riskine işaret eden EAV bölgesinde bulunmaktadır. DKEler, elektrikli ekskavatörler, deliciler ve çekmekeççeler ise EAV sınırı altında, düşük sağlık riski bölgesinde yer almaktadır. Operatör maruziyeti vektör toplamı üzerinden değerlendirildiğinde ise dozerler, yükleyiciler ve hidrolik kırıcılar maruziyet sınır değerini (ELV) aşmış, operatörleri yüksek düzeyde olumsuz sağlık riskine maruz bırakmaktadır. Greyderler, titreşimli silindirler, kamyonlar, hidrolik terskepçe ekskavatörler ve DKEler, maruziyet eylem değerini (EAV) aşmış, operatörlerini orta düzeyde olumsuz sağlık riskine maruz bırakmaktadır. Elektrikli ekskavatörler, deliciler ve çekmekeççeler ise operatörlerini EAV sınırı altında TVT dozuna maruz bırakmaktadır. Değerlendirme ISO 2631-1 (1997) standardı uyarınca yapıldığında en kötü değer eksenine göre dozerler, yükleyiciler, hidrolik kırıcılar, greyderler ve titreşimli silindirler ELV bölgesi üzerinde, kamyonlar ve hidrolik terskepçe ekskavatörler orta düzeyde olumsuz sağlık riskine işaret eden EAV bölgesinde, DKEler, elektrikli ekskavatörler, deliciler ve çekmekeççeler ise EAV sınırı altında kalmaktadır. Vektör toplamına göre de durum aynı olup yalnızca DKE'ler orta düzeyde sağlık riski gösteren EAV bölgesine düşmektedir. Vektör toplamı üzerinden değerlendirme yapılmasını öneren ve daha koruyucu sınırlara sahip olan BS 6841 (1987) standardına göre ise dozerler, yükleyiciler, hidrolik kırıcılar, greyderler, titreşimli silindirler, kamyonlar ve hidrolik terskepçe ekskavatörler yüksek risk bölgesinde yer alırken DKEler, elektrikli ekskavatörler, deliciler ve çekmekeççeler düşük risk bölgesindedir (Şekil 16.2).



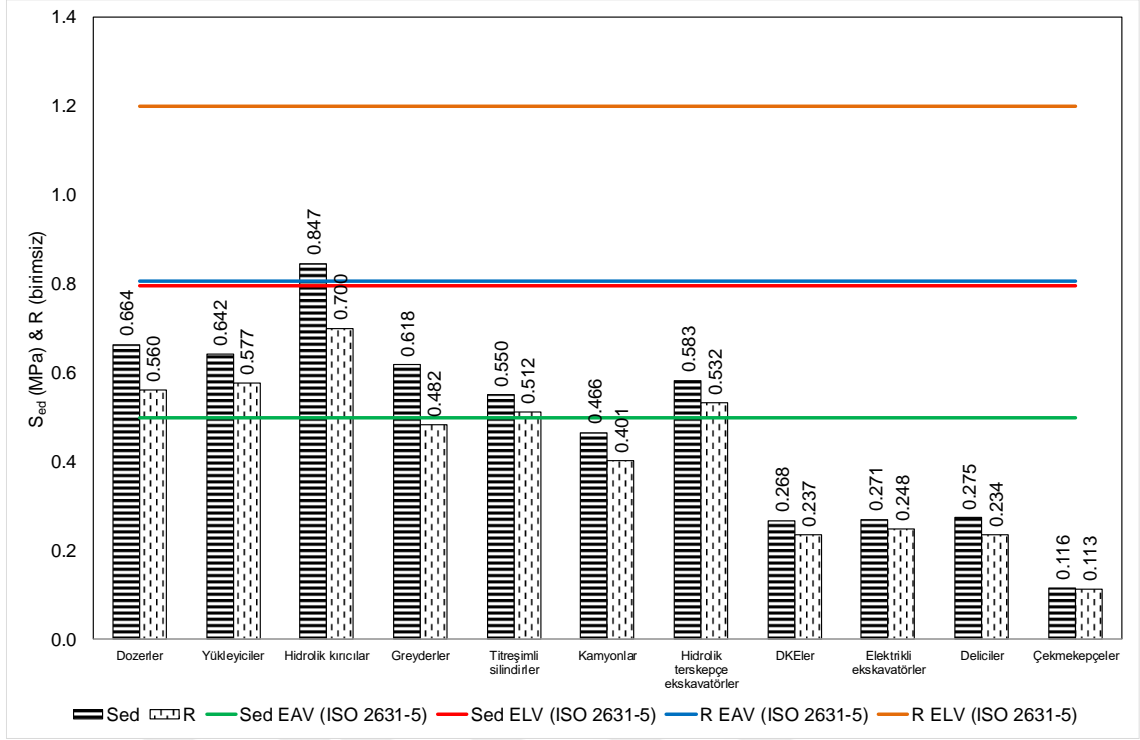
Şekil 16.1 Tüm iş makinesi operatörlerinin Vector₁₋₃ ve A(8) değerlerine göre sağlık riski



Şekil 16.2 Tüm iş makinesi operatörlerinin Vector₁₋₃ ve VDV_{total} değerlerine göre sağlık riski

Tüm vücut titreşimine insan vücudu tepkisini değerlendiren ISO 2631-5 (2004) standardı uyarınca günlük eşdeğer basınç dozu (S_{ed}) parametresi en kötü değer eksen ölçütüne göre incelendiğinde dozerler, yükleyiciler, hidrolik kırıcılar, titreşimli silindirler ve hidrolik terskepçe ekskavatörler orta düzeyde, diğer araçlar düşük düzeyde sağlık riski bölgesinde yer almaktadır. Bu ölçüte göre hiçbir iş makinesi grubu yüksek sağlık riski bölgesinde değildir. Vektör toplamı ölçütüne göre değerlendirme yapıldığında ise hidrolik kırıcılar yüksek; dozerler, yükleyiciler, greyderler, titreşimli silindirler ve hidrolik terskepçe ekskavatörler orta; kamyonlar, DKEler, elektrikli ekskavatörler, deliciler ve çekmekeçpeler düşük sağlık riski bölgesinde yer almaktadır. S_{ed} ile operatörün yaşı ile tecrübesine bağlı azalan güç durumunu dikkate alan R faktörü en kötü değer eksen ölçütüne göre incelendiğinde tüm iş makinesi grupları düşük risk bölgesinde yer almaktadır. Vektör toplamı ölçütüne göre değerlendirme yapıldığında ise yalnızca hidrolik kırıcılar orta risk bölgesine düşerken, diğer tüm iş makinesi grupları düşük risk bölgesinde yer almaktadır (Şekil 16.3).

Tüm iş makinesi operatörlerinin TVT ivmesi, dozu ve vücut tepkisi maruziyetlerini inceleyen standart ve direktifler doğrultusunda sağlık riskleri toplu olarak Çizelge 16.1'de verilmiştir.



Şekil 16.3 Tüm iş makinesi operatörlerinin S_{ed} ve R faktörü değerlerine göre sağlık riski

Tüm iş makinelerinin operatör koltuğunda net kayıt evresinde kaydedilen titreşim değerlerinin ortalamaları $A(8)$ ve VDV_{Total} bazında, azalan sıralama ile aşağıda verilmiştir. Dozerler en yüksek titreşim maruziyetine neden olurken çekmekepeçler en düşük titreşim maruziyetine yol açmaktadır.

İş makinesi grupları	$A(8)_{Seat}$ (ortalama)	$A(8)_{Seat}$ (min)	$A(8)_{Seat}$ (mak)	VDV_{Total} (ortalama)	VDV_{Total} (min)	VDV_{Total} (mak)
Dozerler	1,010	0,641	1,720	22,543	14,781	44,275
Yükleyciler	0,915	0,451	1,393	20,629	10,489	29,355
Hidrolik kırıcılar	0,811	0,505	0,976	20,811	16,272	29,398
Greyderler	0,805	0,494	1,462	18,625	11,641	29,848
Titreşimli silindirler	0,764	0,332	2,118	18,705	8,416	43,083
Kamyonlar	0,707	0,319	1,172	15,479	7,684	32,914
Hidrolik terskepe ekskavatörler	0,476	0,172	0,852	14,149	5,669	25,824
Döner kepeçli ekskavatörler	0,312	0,241	0,382	7,715	4,623	12,551
Elektrikli ekskavatörler	0,242	0,111	0,413	6,835	2,162	19,720
Deliciler	0,233	0,083	0,451	7,243	1,636	11,663
Çekmekepeçler	0,114	0,078	0,149	2,807	1,850	3,451

Çizelge 16.1 Tüm iş makinesi operatörlerinin TVT ivmesi, TVT dozu ve ivmeye vücut tepkisi ölçütlerine göre sağlık riski ciddiyeti

İş makinesi	A(8) (m/s ²)						Vücut tepkisi					
	ISO 2631-1 (1997)			EU 2002/44/EC (2002)			ISO 2631-5 (2004)					
	EKDE ^a	VT ^a		EKDE ^b	VT ^b		S _{ed} ^c	R ^d				
Kamyonlar	0,707	Orta	0,949	Yüksek	0,707	Orta	0,949	Orta	0,466	Düşük	0,401	Düşük
Hidrolik terskepçe ekskavatörler	0,476	Orta	0,677	Orta	0,476	Düşük	0,677	Orta	0,583	Orta	0,532	Düşük
Dozerler	1,010	Yüksek	1,522	Yüksek	1,010	Orta	1,522	Yüksek	0,664	Orta	0,560	Düşük
Yükleyiciler	0,915	Yüksek	1,355	Yüksek	0,915	Orta	1,355	Yüksek	0,642	Orta	0,577	Düşük
Greyderler	0,805	Orta	1,164	Yüksek	0,805	Orta	1,164	Yüksek	0,618	Orta	0,482	Düşük
Elektrikli ekskavatörler	0,242	Düşük	0,362	Düşük	0,242	Düşük	0,362	Orta	0,271	Düşük	0,248	Düşük
Titreşimli silindirler	0,764	Orta	1,056	Yüksek	0,764	Orta	1,056	Orta	0,550	Orta	0,512	Düşük
Deliciler	0,233	Düşük	0,298	Düşük	0,233	Düşük	0,298	Orta	0,275	Düşük	0,234	Düşük
Hidrolik kırıcılar	0,811	Orta	1,086	Yüksek	0,811	Orta	1,086	Orta	0,847	Yüksek	0,700	Düşük
Çekmekeççeler	0,114	Düşük	0,142	Düşük	0,114	Düşük	0,142	Düşük	0,116	Düşük	0,113	Düşük
Döner kepçeli ekskavatörler	0,312	Düşük	0,426	Düşük	0,312	Düşük	0,426	Düşük	0,268	Düşük	0,237	Düşük

İş makinesi	VDV (m/s ^{1,75})											
	ISO 2631-1 (1997)				BS 6841 (1987)		EU 2002/44/EC (2002)					
	EKDE ^a	VT ^a		EKDE ^b	VT ^b		EKDE ^e	VT ^e				
Kamyonlar	15,479	Orta	16,820	Orta	15,479	Yüksek	16,820	Yüksek	15,479	Orta	16,820	Orta
Hidrolik terskepçe ekskavatörler	14,149	Orta	15,522	Orta	14,149	Düşük	15,522	Yüksek	14,149	Orta	15,522	Orta
Dozerler	22,543	Yüksek	26,085	Yüksek	22,543	Yüksek	26,085	Yüksek	22,543	Yüksek	26,085	Yüksek
Yükleyiciler	20,629	Yüksek	23,546	Yüksek	20,629	Yüksek	23,546	Yüksek	20,629	Orta	23,546	Yüksek
Greyderler	18,625	Yüksek	20,922	Yüksek	18,625	Yüksek	20,922	Yüksek	18,625	Orta	20,922	Orta
Elektrikli ekskavatörler	6,835	Düşük	7,742	Düşük	6,835	Düşük	7,742	Düşük	6,835	Düşük	7,742	Düşük
Titreşimli silindirler	18,705	Yüksek	20,770	Yüksek	18,705	Yüksek	20,770	Yüksek	18,705	Orta	20,770	Orta
Deliciler	7,243	Düşük	7,682	Düşük	7,243	Düşük	7,682	Düşük	7,243	Düşük	7,682	Düşük
Hidrolik kırıcılar	20,811	Yüksek	22,326	Yüksek	20,811	Yüksek	22,326	Yüksek	20,811	Orta	22,326	Yüksek
Çekmekeççeler	2,807	Düşük	2,925	Düşük	2,807	Düşük	2,925	Düşük	2,807	Düşük	2,925	Düşük
Döner kepçeli ekskavatörler	7,715	Düşük	9,028	Orta	7,715	Düşük	9,028	Düşük	7,715	Düşük	9,028	Düşük

EKDE : En kötü durum eksen

VT : Vektör toplamı

^a 8 sa'lik maruziyet için EAV ve ELV bölgesi sınırlarına karşılık gelen frekans ağırlıklı ivme değerleri 0,45 m/s² ve 0,90 m/s² dir.

^b 8 sa'lik maruziyet için EAV ve ELV bölgesi sınırlarına karşılık gelen frekans ağırlıklı ivme değerleri 0,50 m/s² ve 1,15 m/s² dir.

^c 0,5 MPa altındaki S_{ed} değerinin olumsuz sağlık etkisi düşük iken 0,8 MPa üstündeki S_{ed} değerinin olumsuz sağlık etkisi yüksektir.

^d 0,8 altındaki R faktörünün olumsuz sağlık etkisi düşük iken 1,2 üstündeki R faktörünün olumsuz sağlık etkisi yüksektir.

^e 8 sa'lik maruziyet için EAV ve ELV bölgesi sınırlarına karşılık gelen titreşim dozu değerleri 8,5 m/s^{1,75} ve 17,0 m/s^{1,75} dir.

^f 8 sa'lik maruziyet için HGCZ bölgesi sınırlarına karşılık gelen titreşim dozu değeri 15,0 m/s^{1,75} dir.

^g 8 sa'lik maruziyet için EAV ve ELV bölgesi sınırlarına karşılık gelen titreşim dozu değerleri 9,1 m/s^{1,75} ve 21,0 m/s^{1,75} dir.

İş makinesi operatörlerinin maruz kaldığı günlük eşdeğer titreşim ivmesi, A(8), ortalamalarının en yüksek ve en düşük değerlerine ait evreler aşağıda verilmiştir. En düşük titreşim maruziyeti genellikle bekleme evresinde oluşmuştur. Bu evrede araçlar hareketsiz ve motorları askıda çalışmaktadır. Diğer yandan, en yüksek titreşim ivmesi maruziyeti ise genellikle araçların yürüme ya da manevra yapmaları sırasında oluşmaktadır.

İş makinesi grupları	En yüksek A(8)	En düşük A(8)
Kamyonlar	BOŞ DÖNÜŞ	BEKLEME
Hidrolik terskepçe ekskavatörler	İLERİ YÜRÜME	BEKLEME
Dozerler	GERİ YÜRÜME	BEKLEME
Lastik tekerlekli yükleyiciler	MANEVRA	BEKLEME
Greyderler	MANEVRA	BEKLEME
Titreşimli silindirler	İLERİ YÜRÜME	BEKLEME
Deliciler	İLERİ YÜRÜME	DELMEYE HAZIRLIK
Hidrolik kırıcılar	GERİ YÜRÜME	BEKLEME
Çekmekepçeler	DÖNME	BOŞALTMA
Elektrikli ekskavatörler	YÜKLEME	BEKLEME
Döner kepçeli ekskavatörler	KAZI	İLERİ YÜRÜME

İş makinesi operatörlerinin maruz kaldığı günlük eşdeğer titreşim dozu, VDV_{Total} , ortalamalarının en yüksek ve en düşük değerlerine ait evreler aşağıda verilmiştir. En düşük titreşim maruziyeti genellikle bekleme evresinde, en yüksek titreşim dozu maruziyeti ise genellikle araçların yürüme ya da manevra yapmaları sırasında oluşmaktadır.

İş makinesi grupları	En yüksek VDV_{Total}	En düşük VDV_{Total}
Kamyonlar	BOŞ DÖNÜŞ	BEKLEME
Hidrolik terskepçe ekskavatörler	İLERİ YÜRÜME	BEKLEME
Dozerler	GERİ YÜRÜME	BEKLEME
Yükleyiciler	MANEVRA	BEKLEME
Greyderler	İLERİ YÜRÜME	BEKLEME
Titreşimli silindirler	İLERİ YÜRÜME	BEKLEME
Deliciler	İLERİ YÜRÜME	TİJ DEĞİŞTİRME
Hidrolik kırıcılar	GERİ YÜRÜME	BEKLEME
Çekmekepçeler	DÖNME	BOŞALTMA
Elektrikli ekskavatörler	YÜKLEME	BEKLEME
Döner kepçeli ekskavatörler	KAZI	İLERİ YÜRÜME

Operatör maruziyetleri ile ilgili olarak aşağıdaki çıkarımlar da yapılmıştır.

- Hafif iş makinelerinin operatörleri ağır iş makinelerine göre daha yüksek düzeyli titreşime maruz kalmaktadır.
- İşletme koşulları, üzerinde hareket edilen zemin ya da işlenen malzeme özellikleri TVT maruziyetini etkilemektedir.
- Yeni ya da düşük hizmet süreli iş makinelerinde TVT maruziyeti, uzun süredir hizmette olan makinelere göre düşüktür.
- En yüksek titreşim ivmesi $a_w(t)$, dikey Z ekseninden gelmektedir.
- Operatör kabin zemininde kaydedilen TVT ivme değerleri, koltuğa göre yüksektir.

- f) Yukarıdaki maddeye bağılı olarak, koltuk süspansiyon sistemleri operatöre iletilen titreşimi sönümleyecek biçimde tasarımlanmış olup özellikle birçok iş makinesinde en kötü eksen olan Z ekseninde etkin biçimde çalışmaktadır.
- g) Özellikle paletli dozer, greyder ve lastik tekerlekli yükleyicilerin operatörlerinde yorgunluk hissi ve yoğunlaşma bozukluklarına yakalanma olasılığı diğer iş makinelerine göre daha yüksektir.

Elektrikli ekskavatör evreleri arasında operatör TVT maruziyeti bakımından farklılık olup olmadığı çoklu karşılaştırma analizi ile kontrol edilmiştir. Titreşim ivmesi için bekleme evresi ile diğer tüm evreler arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. Titreşim dozu için ise evreler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır.

Elektrikli ekskavatörler kova kapasitesi gruplarına ayrılıp, grupların TVT maruziyeti sonuçları karşılaştırıldığında, titreşim ivmesi ve dozu için tüm gruplar arasında anlamlı bir farklılık yoktur. Dolayısıyla operatörlerin TVT ivmesi ve dozu maruziyeti ekskavatör kova kapasitesinden bağımsızdır. Operatör yaşı ve deneyimi grupları arasındaki TVT maruziyeti farklılığı karşılaştırıldığında da operatör TVT maruziyetinin bu değişkenlerden bağımsız olduğu görülmüştür.

Deliciler evreleri üzerinde yapılan çoklu karşılaştırma testi sonucunda evreler arasında titreşim ivmesi ve dozu bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur.

TVT ivmesi ve dozu delici hizmet süresi ve operatör deneyiminden etkilenmemekte olup bunlardan bağımsızdır. Operatör yaş gruplarının TVT maruziyeti üzerindeki etkisi incelendiğinde titreşim ivmesi için anlamlı bir farklılık varken, titreşim dozu için tüm gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur. Dolayısıyla 41 ve üzeri yaşlı operatörler diğer yaş gruplarına göre daha fazla titreşim ivmesine maruz kalmaktadırlar.

16.13 Öneriler

Madenlerin çıkarılması ve cevher hazırlama tesisine nakledilmesi sırasında kullanılan kazıcı, yükleyici ve taşıma taşıtlarında meydana gelen titreşim; kullanılan araçların farklı ocak koşullarında aynı modelde olsa bile farklı zemin ve farklı malzeme üretiminde farklılıklar göstermektedir.

Açık ocaklarda kullanılan iş makinelerindeki taşıt içi titreşimleri, araştırılması gereken önemli bir konudur. Bu araçların mümkün olan en yüksek verim/performans ve en düşük maliyet ile kullanılabilmesi için pek çok çalışma yapılmaktadır. Sürücü/operatörün titreşim maruziyetini en aza indirmek ve çalışma verimini artırmak amacıyla operatörlere araç kullanma eğitimi verilmeli, uygun taşıma yolu tasarımı ile yol kaynaklı titreşim azaltılmalı, periyodik bakımlar ile iş makinelerinden kaynaklanan titreşim azaltılmalı, ocak içi yollarda yapılacak bakım ile zemin düzenlenmeli ve lastikli araçlarda hava basıncı düzenli olarak kontrol edilmelidir.

Çalışma kapsamında ele alınan konular ve varılması hedeflenen sonuçlar, güncel bir konunun incelenmesi ve var olan bir soruna çözüm getirilmesi amacını içermektedir. Diğer taraftan Türkiye’de madencilik alanında konu ile ilgili ölçüme dayanan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle bu çalışma, bu belirsizliklerin ortadan kaldırılması hususunda gerekli verilerin elde edilmesini sağlayacak ve özgün değeri olan ürünler ortaya çıkaracaktır.



KAYNAKLAR

- Akduman, N., Pekey, B.** (2010). Metal işleme tesisinde titreşim ve gürültü ölçümlerinin değerlendirilmesi, İ.T.Ü. 12. *Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu 16-18 Haziran*.
- Anonim** (1998), Introduction to Shock & Vibration. Brüel & Kjøer Sound and Vibration Measurement A/S, 36 p, Denmark.
- Aye, S.A., Heyns, P.S.** (2011). The evaluation of whole-body vibration in a South African opencast mine, *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, Vol 111, 751-757.
- Beck, L., Blosswick, D.S., Sesek, R.F.** (2004). Health effects of vibrating equipment – a comparative analysis of a caterpillar CS-433B vibratory compactor, *2nd Annual Regional National Occupational Research Agenda (NORA) Young / New Investigators Symposium*, Salt Lake City.
- Bernard, P.** (1997). Musculoskeletal disorders and workplace factors: a critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity and low back. Cincinnati, Ohio, NIOSH 1997, p590.
- Boileau, P.E., Boutin, J., Eger, T., Smets, M.** (2006). Vibration spectral class characterization of long haul dump mining vehicles and seat performance evaluation, *Proceedings of the First American Conference on Human Vibration*, June5-6, 14-15.
- Bongers, P. M., Boshuizen, H. C., Hulshof, T. J., Koemeester, A. P.** (1988). Back disorders in crane operators exposed to whole-body vibration, *International Archives on Occupational Environmental Health*, 60, 129-137.
- Bovenzi, M.** (2006). Health risks from occupational exposures to mechanical vibration, *Med Lav*. May-Jun;97(3):535-41.
- Bovenzi, M.** (2005). Health effects of mechanical vibration, *G Ital Med Lav Erg* 2005; 27:1, 58-64
- Bovenzi, M., Betta, A.** (1994). Low-back disorders in agricultural tractor drivers exposed to whole-body vibration and postural stress, *Applied Ergonomics* 25(4), 231–241.
- Bovenzi, M, Hulshof C.** (1998). An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain. *J Sound and Vib.* 1998;215: 595-613.
- Blood, R.P., Ploger, J.D., Yost, M.G., Ching, R.P., Johnson, P.W.** (2010a). Whole body vibration exposures in metropolitan bus drivers: A comparison of three seats, *Journal of Sound and Vibration* 329, 109–120.
- Blood, R.P., Ploger, J.D., Johnson, P.W.,** (2010b). Whole body vibration exposures in forklift operators: comparison of a mechanical and air suspension seat, *Ergonomics* Vol. 53, No. 11, November, 1385–1394.
- Blood, R.P., Rynell, P.W., Johnson, P.W.** (2012). Whole-body vibration in heavy equipment operators of a front-end loader: Role of task exposure and tire configuration with and without traction chains, *Journal of Safety Research*, JSR-01036; No of Pages 8, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsr.2012.10.006>.

- Blüthner, R., Seidel, H., Hinz, B.** (2008). Laboratory study as basis of the development for a seat testing procedure in horizontal directions, *International Journal of Industrial Ergonomics* 38, 447-456.
- British Standards Institution, BS 6841.** (1987). Measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock.
- Brüel&Kjaer,** (2002). Human vibration, *Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S*, Nærum, Denmark.
- Burgess-Limerick, R.** (2012). How on earth moving equipment can ISO 2631.1 be used to evaluate whole body vibration?, *EMESRT Design Evaluation Case Study* 12-01.
- Burgess-Limerick, R., Lynas, D.** (2015). Whole-body vibration associated with surface coal mining equipment, *Proceedings 19th Triennial Congress of the IEA*, Melbourne.
- Burström, L., Hyvarinen, V., Johnsen, M., Pettersson, H.** (2015). Exposure to whole-body vibration in open-cast mines in the Barents region, *International Journal of Circumpolar Health*, 75: 29373 - <http://dx.doi.org/10.3402/ijch.v75.29373>.
- Cann, A., Salmoni, A., Vi, P., & Eger, T.** (2003). An exploratory study of whole-body vibration exposure and dose while operating heavy equipment in the construction industry, *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 18 (12), 999-1005.
- Cann, A.P., Salmoni, A.W., Eger, T.R.** (2004). Predictors of whole-body vibration exposure experienced by highway transport truck operators, *Ergonomics*, Vol. 47, No. 13, 1432-1453.
- Cann, A.P., Gillin, E.K., Salmoni, A.W., Vi, P., Eger, T.R.** (2005) Transmissibility of whole-body vibration exposure from floor to seat experienced by scraper operators in the construction industry, *Association of Canadian Ergonomics Conference Proceedings*, Halifax, NS.
- Cation, S., Jack, R., Oliver, M., Dickey, J.P., Lee-Shee, N.K.** (2008). Six degree of freedom whole-body vibration during forestry skidder operations, *International Journal of Industrial Ergonomics* 38, 739–757.
- Chaudhary, D.K., Bhattacharjee, A., Patra, A.** (2015). Analysis of whole-body vibration exposure of drill machine operators in open pit iron ore mines, *Procedia Earth and Planetary Science* 11, 524-530.
- Chen, H.C., Chen, W.-C., Liu, Y.P., Chen, C.Y., Pan, Y.T.** (2009). Whole-body vibration exposure experienced by motorcycle riders – An evaluation according to ISO 2631-1 and ISO 2631-5 standards, *International Journal of Industrial Ergonomics* 39, 708–718.
- Cooperrider, N.K., Gordon, J.J.** (2008). Shock and impact levels on North American locomotives. *Journal of Sound and Vibration*, vol. 318, pp. 809–819.
- Costa, N., Arezes, P.M.** (2009). The influence of operator driving characteristics in whole-body vibration exposure from electrical fork-lift trucks, *International Journal of Industrial Ergonomics* 39, 34–38.
- Cvetanovic, B., Zlatkovic, D.** (2013). Evaluation of whole-body vibration risk in agricultural tractor drivers, *Bulgarian Journal of Agricultural Science Agricultural Academy*, 19 (No 5) 2013, 1155-1160.

- Çay, İ.C.** (2006). Tarım traktörleri sürücü koltukları titreşim sönümlenme elemanları üzerine bir araştırma, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Ens., Tarım Makineleri ABD.*, (Doktora Tezi), 214 s, Ankara.
- Darby, M. A., Pitts, P., Heaton, R., Mole, M.** (2010). Whole-body vibration and ergonomics of driving occupations Road haulage industry, *Health and Safety Executive research report 777 MAIB 2011*, Report on the investigation of injury to a passenger on board a Delta 8.5m RIB River Thames, London, Marine Accident Investigation Branch, Department Transport, UK (available from www.maib.gov.uk/cms_resources.cfm?file=/Delta_RIB_Report.pdf)
- Directive 2002/24/EC** of The European Parliament and of the Council, (2002). Official Journal of the European Communities
- Doğan T., Duran Z., Erdem B.** (2015). Tüm vücut titreşiminin operatör ve sürücüler üzerindeki Etkileri ölçümü ve değerlendirilmesi. Madencilik, *TMMOB Maden Mühendisleri Odası Dergisi*, Cilt 54, Sayı 3-4, Sayfa 25-39, Eylül-Aralık.
- Eger, T., Salmoni, A., Cann, A., Jack, R.** (2006). Whole-body vibration exposure experienced by mining equipment operators, *Occupational Ergonomics* Volume 6, Number 3-4, 121-127.
- Eger, T., Dickey, J., and Grenier, S.** (2008a). ISO 2631-1 and ISO 2631-5: A comparison of predicted health risks for operators of LHD vehicles, *2nd American Conference on Human Vibration*, Chicago, IL, 4 – 6 June.
- Eger, T., Stevenson, J., Boileauc, P.-E'., Salmoni, A., VibRG.** (2008b). Predictions of health risks associated with the operation of load-haul-dump mining vehicles: Part 1—Analysis of whole-body vibration exposure using ISO 2631-1 and ISO-2631-5 standards, *International Journal of Industrial Ergonomics* 38 pp. 726–738.
- Eger, T., Stevenson, J., Boileauc, P.-E'., Salmoni, A. VibRG.** (2008c). Predictions of health risks associated with the operation of load-haul-dump mining vehicles: Part 2—Evaluation of operator driving postures and associated postural loading, *International Journal of Industrial Ergonomics* 38 pp. 801–815.
- Eger, T., Stevenson, J., Grenier, S., Boileau, P.E., Smets, M.** (2011) Influence of vehicle size, haulage capacity and ride control on vibration exposure and predicted health risks for LHD vehicle operators, *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, Vol.30 (1); 45-62.
- Eger, T., Kociolek, M., Dickey, J.** (2013) Comparing health risks to load-haul-dump vehicle operators exposed to whole-body vibration using EU directive 2002/44EC, ISO 2631-1 and ISO 2631-5. *Minerals*, 3(1), 16-35.
- Eger, T., Godwin, A.** (2014). Whole-body vibration exposure: what you need to know to prevent vibration induced injuries, *WSN Health of a Miner Symposium*, November.
- Fleury, G., Mistrot, P.** (2006). Numerical assessment of fore-and-aft suspension performance to reduce whole-body vibration of wheel loader drivers, *Journal of Sound and Vibration* 298, 672–687.
- Foster, G., Burgess, M.** (2012). Assessment of Vibration Exposure in the Mining Industry, http://www.qldminingsafety.org.au/_dbase_upl/Assessment%20of%20vibration%20exposure%20in%20the%20mining%20industry.pdf

- Foster, G, van Leeuwen, M.J.** (2007). Managing Vibration Exposures, *Proceedings of the Queensland Mining Industry Health and Safety Conference*, Townsville.
- French, A.P.** (2009). Çeviren Uçar, N., Titreşim ve Dalgalar, ISBN: 978-975-6655-16-7.
- Frimpong, S., Galecki, G., Chang, Z.** (2011). Dump truck operator vibration control in high-impact shovel loading operations, *International Journal of Mining, Reclamation and Environment Vol. 25*, No. 3, September 2011, 213-225
- George, D. ve Mallery, M.** (2010). SPSS for Windows Step by Step: A Simple Guide and Reference, 17.0 update (10a ed.) Boston: Pearson.
- Gillin, E.K., Cann, A., Vi, P., Salmoni, A., Eger, T., Hunt, M.** (2005). Evaluation of scraper operator exposure to whole-body vibration in the construction industry, *Association of Canadian Ergonomics Conference Proceedings*, Halifax, NS.
- Godwin, A., Eger, T. R.,** 2014. Human factors for the design and operation of mobile equipment. WSN Health of a Miner Symposium, November 12.
- Gonçalves, J.P.C., Ambrósio, J.A.C.** (2003). Optimization of vehicle suspension systems for improved comfort of road vehicles using flexible multibody dynamics. *Nonlinear Dynamics* 34, 113-131.
- Gunaselvam, J., van Niekerk, J.L.** (2005). Seat selection guidelines to reduce whole body vibration exposure levels in the SA mining industry, *The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, November 2005, Vol. 105, No. 10, pp. 675-686.
- Griffin, M. J.** (1998). General hazards: vibration, *Encyclopedia of Occupational Health and Safety* (International Labour Organization Geneva), 50.2 – 50.15.
- Griffin, M. J.** (1990). Handbook of Human Vibration, *Academic Press*, ISBN: 0-12-303040-4, 988.
- Gryllias, K., Yiakopoulos, C., Karamolegkou, S., Antoniadis, I.** (2016). Human-body vibration exposure experienced by tram drivers – an evaluation according to ISO standards & European Directives, *23rd International Congress on Sound & Vibration*, Athens, Greece 10-14 July, 1-8.
- Gunston, T., Rebelle, J. and Griffin, M.** (2001). A comparison of two methods of simulating the dynamic response of suspension seating, *Vibration Injury Network, Appendix W4C to Final Report* May 2001, EC Biomed II Concerted Action BMH4-CT98-3291, 19 s, EU.
- Herington, T. N., Morse, L. H.** (1995). Occupational Injuries: Evaluation, Management and Prevention.
- Hopcroft, R., Skinner, M.** (2005). C-130J Human vibration, *Air Operations Division DSTO Defence Science and Technology Organisation*, Australia.
- Hoy, J., Mubarak, N., Nelson, S., Sweerts de Landas, M., Magnusson, M., Okunribido, O., Pope, M.** (2005). Whole body vibration and posture as risk factors for low back pain among forklift truck drivers, *Journal of Sound and Vibration* 284, 933–946.
- Hulshof, C. T. J., Verbeek, J. H. A. M., Braam, I. T. J., Bovenzi, M., van Dijk F. J. H.** (2006). Evaluation of an occupational health intervention programme on whole-body vibration in forklift truck drivers: a controlled trial, *Occup Environ Med* 2006; 63: 461–468. doi: 10.1136/oem.2005.020032

- International Organization for Standardization, ISO 2631-1.** (1982). Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration. Geneva, Switzerland.
- International Organization for Standardization, ISO 2631-1.** (1989). Evaluation of human exposure to whole-body vibration -- Part 1: General requirements. Geneva, Switzerland. This standard has been revised by ISO 2631-1:1997.
- International Organization for Standardization, ISO.** (1995). Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement.
- International Organization for Standardization, ISO 2631-1.** (1997). Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration – part 1: general requirements. Geneva, Switzerland. Reference Number ISO 2631-1: 1997(E).
- International Organization for Standardization, ISO 2631-5.** (2004). Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 5: Method for evaluation of vibration containing multiple shocks. Geneva, Switzerland. Reference Number ISO 2631-5: 2004(E).
- International Organization for Standardization, ISO 5982.** (2001). Mechanical vibration and shock – Range of idealized values to characterize seated-body biodynamic response under vertical vibration. Geneva, Switzerland. Reference Number ISO 5982: 2002-04.
- International Organization for Standardization, ISO 10326-1.** (2016). Mechanical vibration – Laboratory method for evaluating vehicle seat vibration -- Part 1: Basic requirements. Geneva, Switzerland. Reference Number ISO 10326-1: 2016.
- İşsever H.** (1999). Vibrasyon ve insan sağlığı üzerindeki etkileri, *İş Sağlığı ve Güvenliği Konferansı TMMOB Makine Mühendisleri Odası Bildiriler Kitabı*, MMOYayın No:239, ISBN:975-395-357-7, 85-98.
- İşsever, H., Aksoy, C., Sabuncu, H., Karan, A.** (2003). Vibration and its effects on the body, *Med Princ Pract*, 12:34–38.
- Johanning, E.** (1998). Back disorder intervention strategies for mass transit operators exposed to whole-body vibration—comparison of two transit system approaches and practices, *Journal of Sound and Vibration* 215(4), 629–634, Article No. sv981651
- Johanning, E., Fischer, S., Christ, E., Göres, B., Landsbergis, P.** (2002). Whole-body vibration exposure study in U.S. railroad locomotives an ergonomic risk assessment, *AIHA J* Jul-Aug; 63(4), 439-46.
- Johanning, E., Landsbergis, P., Fischer, S., Christ, E., Göres, B., Luhrman, R.** (2006). Whole-body vibration and ergonomic study of US railroad locomotives, *Journal of Sound and Vibration* 298, 594–600.
- Langer, T. H., Iversen T. K., Andersen, N. K., Mouritsen, O.Ø., Hansen, M. R.** (2012). Reducing whole-body vibration exposure in backhoe loaders by education of operators, *International Journal of Industrial Ergonomics* 42 (2012) 304-311.
- Lings, S., Leboeuf-Yde, C.** (2000). Whole-body vibration and low back pain: a systematic, critical review of the epidemiological literature 1992-1999, *Int Arch Occup Environ Health*, 73: 290-297.

- Lundström, R., Holmlund, P.** (1998). Absorption of energy during whole-body vibration exposure, *Journal of Sound and Vibration* 215(4), 789-799.
- Lynas D., Burgess-Limerick, R.** (2016). Whole-body vibration exposures in underground coal mining operations, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, First Published September 8, 2016.
- Karagöz, Y.** (2017). SPSS ve AMOS Uygulamalı Nitel-Nicel-Karma Bilimsel Araştırma Yöntemleri ve Yayın Etiği, Nobel Akademik Yayıncılık, ISBN: 978-605-320-811-2.
- Kjellberg, A.** (1990). Psychological aspects of occupational vibration, *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, Vol. 16, supp. 1, 39-43.
- Kitazaki, S., Griffin, M.** (1998). Resonance behaviour of the seated human body and effects of posture. *Journal of Biomechanics* 31, 143-149.
- Kittusamy, Kumar N., Buchholz, B.** (2004). Whole-body vibration and postural stress among operators of construction equipment: A literature review, *Journal of Safety Research* 35, 255–261.
- Kumar, S.** (2001). Theories of musculoskeletal injury causation, *Ergonomics* 44, 17–47.
- Kumar, S.** (2004). Vibration in operating heavy haul trucks in overburden mining, *Applied Ergonomics* 35 (2004) 509–520.
- Maeda, S., Morioka, M.** (1998). Measurement of whole-body vibration exposure from garbage trucks, *Journal of Sound and Vibration* 215(4), 959-964.
- Makhsous, M., Hendrix, R., Crowther, Z., Nam, E., Lin, F.** (2005). Reducing whole-body vibration and musculoskeletal injury with a new car seat design. *Ergonomics* 48 (9), 1183-1199.
- Marul, M., Karabulut, A.** (2012). Vibration effects examination of cushions used on tractor driving seat, *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, Sofia, 2012, vol. 42, No. 4, 31–40.
- Mandal, B.B., Chatterjee, D., Kulkarni, N.P., Zade, P. D., Vanerkar, A.P., Narwadiya, S., Thote, N.R.** (2006). Whole-body vibration exposure of heavy earth moving machinery operators in Indian mines. *Indian Mining & Engineering Journal*, vol. 45, no. 9, pp. 29-31.
- Mandal, B.B., Srivastava, A.K.** (2010). Musculoskeletal disorders in dumper operators exposed to whole body vibration at Indian mines, *International Journal of Mining, Reclamation and Environment Vol. 24*, No. 3, September 2010, 233-243.
- Mani, R., Milosavljevic, S., Sullivan, J.** (2011). The influence of body mass on whole-body vibration: A quad-bike field study, *The Ergonomics Open Journal*, 2011, 4, 1-9.
- Mansfield, N. J., Marshall, J. M.** (2001). Symptoms of musculoskeletal disorders in stage rally drivers and co-drivers; *British Journal of Sports Medicine*, 35, 314-320.
- Mansfield, N. J.** (2005). Human Response to Vibration. *CRC Press*, New York.
- Mansfield, N.J., Newell, G.S., Notini, L.** (2009). Earth moving machine whole-body vibration and the contribution of sub-1hz components to ISO 2631-1 metrics, *Industrial Health*, 47, 402-410.
- Mayton, A.G., Jobes, C.C., Miller, R.E.** (2008). Comparison of whole-body vibration exposures on older and newer haulage trucks at an aggregate stone quarry operation, *Proceedings of the ASME 2008 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference*, New York City, DETC2008-50120, pp. 685-691.

- Mayton, A.G., Ambrose, D.H., Jobes, C.C., Kittusamy N.K.** (2003). Ergonomic and existing seat designs compared on underground mine haulage vehicles. in: *Proceedings of the 47th Annual Human Factors and Ergonomics Conference*, Denver CO, 13-17 October 2003.
- Melemez, K., Tunay, M.** (2010). Ormancılıkta traktör titreşiminin ergonomik değerlendirilmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri: A, Sayı:1 ISSN: 1302-7085, 96-108.
- McPhee, B., Foster, G., Long, A.** (2009). Bad Vibrations - A Handbook on Whole-Body Vibration Exposure in Mining, *Coal Services Health & Safety Trust*, NSW, Australia.
- Miller, L., Gariepy, C., EWI Works.** (2008). Heavy mobile equipment - ergonomics and the prevention of musculoskeletal injuries, *BC Mines Conference*, Vancouver, June, 1-28.
- Milosavljevic, S., McBride, D.I., Bagheri, N., Vasiljev, R.M., Mani, R., Carman, A.B., Rehn, B.** (2011). Exposure to Whole-Body Vibration and Mechanical Shock: A Field Study of quad bike use in agriculture, *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 55, No. 3, pp. 286–295.
- Milosavljevic, S., Mani, R., Ribeiro, D. C., Vasiljev, R., Rehn, B.** (2012). Exploring how anthropometric, vehicle and workplace factors influence whole-body vibration exposures during on-farm use of a quad bike, *International Journal of Industrial Ergonomics* 42, 392-396.
- Miyashita, K., Morioka, I., Tanabe, T., Iwata, H., Takeda, S.** (1992). Symptoms of construction workers exposed to whole body vibration and local vibration, *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, 64-374-351.
- Mirzaei, R., Mohammadi, M.** (2008). Survey of vibration exposure and musculoskeletal disorder of Zahedan City tractor drivers by Nordics Questionnaire, *International Journal Of Occupational Hygiene*, 5435/10/22-46-50.
- Morrison, J., Robinson, D., Roddan, G., Nicol, J. and Springer, M.** (1998). Development of a Standard for the Health Hazard Assessment of Mechanical Shock and Repeated Impact in Army Vehicles. *Final Report: Summary of Phases 1–5 (Fort Rucker, AL: Army Aeromedical Research Lab)*.
- Nelson, C.M., Brereton, P.F.** (2005). The european vibration directive, *Industrial Health* 2005, **43**, 472-479.
- Newell, G. S., Mansfield, N. J., Notini, L.** (2005). Daily and inter-cycle variation in whole-body vibration exposures of drivers operating wheel loaders, *Presented at the 40th United Kingdom Conference on Human Response to Vibration*, held in Liverpool, England.
- Newell, G.S., Mansfield, N. J., Notini, L.** (2006). Inter-cycle variation in whole-body vibration exposures of operators driving track-type loader machines, *Journal of Sound and Vibration* 298, 563–579.
- van Niekerk, J.L., Heyns, P.S., Heyns, M.** (2000). Human vibration levels in the South African Mining Industry, *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, 235-242.
- Nishiyama, K., Taoda, K., Kitahara, T.** (1998). A decade of improvement in whole-body vibration and low back pain for freight container tractor drivers, *Journal of Sound and Vibration*, 215, 635-642.

- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH).** (1998). <http://www.niosh.com.my/component/k2/item/46-50pc-drop-in-workplace-accidents-in-10-years?highlight=WzE5OThd>.
- Noorloos, D., Tersteeg, L., Tiemessen, I.J.H., Hulshof, C.T.J., Frings-Dresen, M.H.W.** (2008). Does Body Mass Index Increase the Risk of Low Back Pain in a Population Exposed to Whole Body Vibration, *Applied Ergonomics* 39: 779-785.
- Okunribido, O.O., Magnusson, M., Popea, M.H.** (2006). Low back pain in drivers: The relative role of whole-body vibration, posture and manual materials handling, *Journal of Sound and Vibration* 298, 540-555.
- Okunribido, O.O., Magnusson, M., Pope, M.H.** (2008). The role of whole body vibration, posture and manual materials handling as risk factors for low back pain in occupational drivers, *Ergonomics*, Mar; 51(3): 308-29. doi: 10.1080/00140130701637262.
- Özel, E., & Çetik, O.** (2010). Mesleki görevlerin ergonomik analizinde kullanılan araçlar. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* (22), 41-55.
- Ozkaya, N., Goldsheyder, D., Willems, B.**(1997). Effect of subway car design on vibration exposure, *International Journal of Industrial Ergonomics* 19, 377-385.
- Öztürk, Z., Öztürk, T., Erol, H., Arlı, V.** (2009). Demiryolu titreşimlerinin konfora etkisinin örnek hatlarda incelenmesi, *İMO Teknik Dergi*, 4811-4815, Yazı 314, Kısa Bildiri.
- Paddan, G. S., Griffin, M. J.** (2002). Effect of seating on exposures to whole-body vibration in vehicles, *Journal of Sound and Vibration*, (2002) 253(1), 215-241.
- Palmer, K., T., Griffin M.,J., Bendall, H., Pannett, B., Coggon, D.** (2000). Prevalence and pattern of occupational exposure to whole body vibration in Great Britain: findings from a national survey, *Occup. Environ. Med.*; 57:229-236.
- Pollard, M.G., Simons, N.J.A.** (1984). Passenger comfort: the role of active suspensions, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers* 198 (11), 161-175.
- Pinto, I., Stacchini, N.** (2006). Uncertainty in the evaluation of occupational exposure to whole-body vibration, *Journal of Sound and Vibration* 298, 556–562.
- Price, B.** (2011). *Human Injury Metric Standards and High Speed Planing Craft* Navsea Conference, Panama City Division, March 15 (available from www.navalengineers.org/SiteCollectionDocuments/2011%20Proceedings%20Documents/MACC2011/43_Blankenship%20MACC_Price_NSWCPCD_05252011_V3.pdf)
- Rakheja, S., Kordestani, A., Marcotte, P.** (2011). Evaluation of whole-body vibration exposure of operators of soil compactors, *Studies and Research Projects*, Report R-709.
- Rao, S.S.** (2011). Mechanical Vibrations, Fifth Edition, *Pearson Education*, ISBN 978-0-13-212819-3 (978-0-13-212819-3 : alk. paper) 1. Vibration. I. Title.,University of Miami.
- Rehn, B., Lundstrom, R., Nilsson, L., Liljelind, I., Jarvholm, B.** (2005). Variation in exposure to whole-body vibration for operators of forwarder vehicles-aspects on measurement strategies and prevention, *International Journal of Industrial Ergonomics* 35, 831-842.

- Rehn, B.** (2004). Musculoskeletal disorders and whole-body vibration exposure, *From the Department of Public Health and Clinical Medicine, Occupational Medicine, Umea University, Umea, Sweden.* ISSN 0346-6612 ISBN 91-7305*-517-4.
- Rehn, B., Bergdahl, A., Ahlgren, C., From, C., and Jarvholm, B.** (2002). Musculoskeletal symptoms among drivers of all-terrain vehicles, *Journal of Sound and Vibration* 253, 21–29.
- Safe Work Australia.** (2010). National Hazard Exposure Worker Surveillance: Vibration exposure and the provision of vibration control measures in Australian Workplaces, Commonwealth of Australia.
- Salmoni, A., Cann, A., and Gillin, K.** (2010). Exposure to whole-body vibration and seat transmissibility in a large sample of earth scrapers, *Work* 35 (2010) 63–75 63, DOI 10.3233/WOR-2010-0958 IOS Press
- Salmoni, A.W., Cann, A.P., Gillin, E. K., Eger, T.R.** (2008). Case studies in whole-body vibration assessment in the transportation industry—Challenges in the field, *International Journal of Industrial Ergonomics* 38, 783–791.
- Sağlam, H.** (2011). Çalışma hayatında maruz kalınan titreşimin ölçülmesi ve bu maruziyetten kaynaklanan titreşimin insan sağlığına etkisi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek lisans tezi), 91.
- Saral, A.** (1976). Yerli yapı traktörlerde oturma yerlerinin sürücüye olan etkileri, *A. Ü. Ziraat Fakültesi Ziraî Kuvvet Makinaları Kürsüsü* (Doktora Tezi,) 99 s, Ankara.
- Scarlett, A.J., Price, J.S., Stayner, R.M.** (2007). Whole-body vibration: Evaluation of emission and exposure levels arising from agricultural tractors, *Journal of Terramechanics* 44, 65–73
- Sanders, M.S., McCormick, E.J.** (1993). Human Factors in Engineering and Design (7th ed.), New York: McGraw-Hill.
- Scutter, S., Turker, K., Hall. R.** (1997). Headaches and neck pain in farmers, *Australian J. of Rural Health*, 5(1): 2-5.
- Schwarze, S., Notbohm, G., Dupuis, H., Hartung, E.** (1998). Dose–response relationships between whole-body vibration and lumbar disk disease—a field study on 388 drivers of different vehicles, *Journal of Sound and Vibration*, Volume 215, Issue 4, 27 August, Pages 613-628.
- Seidel, H., Heide, R.** (1986). Long-term effects of whole-body vibration: a critical survey of the literature, *Int Arch Occup Environ Health*; 58:1-26.
- Seidel, H.** (1993). Selected health risks caused by long-term, whole-body vibration, *American Journal of Industrial Medicine* 23, 589-604.
- Seigler, T. M.** (2002). A Comparative Analysis of Air-inflated and Foam Seat Cushions for Truck Seats, *Mechanical Engineering. Virginia Polytechnic Institute and State University* (Master's Thesis).
- Sezgin, O., Birlik, G.** (2001). Musculoskeletal complaints of helicopter pilots still continue, *The 8th International Congress on Sound and Vibration*, 2-6 July 2001, Hong Kong, China, 3073-3080.
- Sezgin, C.Ö., Birlik, G.** (2004). Helikopterlerde alçak frekans Titreşimlerinin etkisi, *Havacılıkta İleri Teknolojiler ve Uygulamalar Sempozyumu HİTEK'2004*, İstanbul, 665-667.

- Sherwin, L.M., Owende, P.M.O., Kanali, C.L., Lyons, J., Ward, S.M.** (2004). Influence of tyre inflation pressure on whole-body vibrations transmitted to the operator in a cut-to-length timber harvester, *Applied Ergonomics* 35, 253–261.
- Smets, M.P.H., Eger, T.R., Grenier G.S.** (2010). Whole-body vibration experienced by haulage truck operators in surface mining operations: A comparison of various analysis methods utilized in the prediction of health risks, *Applied Ergonomics* 41 (2010) 763–770.
- Stayner, R.M.** (2001). Whole-body vibration and shock: a literature review, extension of a study of overtravel of seat suspensions. Contract research report 333/2001: 1998. *R.M.S. Vibration Test Laboratory for the Health and Safety Executive*, Norwich, UK.
- Stein, G.J., Mücka, P.** (2011). Study of simultaneous shock and vibration control by a fore-and-aft suspension system of a driver's seat, *International Journal of Industrial Ergonomics* 41, 520-529.
- Svantek.** (2017). <https://www.svantek.com/>
- Şahin, M.N., Işık G.** (2007). Titreşim, iş sağlığı ve güvenliği açısından etkileri risklerin kontrolü ve uygulamaları, *İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu*, 241-261.
- Tabachnick, B.G., Fidell. L.S.** (2013). Using Multivariate Statistics (sixth ed.) Pearson, Boston.
- Thalheimer, E.** (1996). Practical approach to measurement and evaluation of exposure to whole-body vibration in the workplace. *Seminars in Perinatology* 20 (1), 77-89.
- Thompson, A. M. S., House, R., Krajnak, K., Eger, T.** (2010). Vibration-white foot: a case report, *Occupational Medicine* 2010; 60: 572–574.
- Thamsuwan, O., Blood, R.P., Ching,R.P., Boyle, L., Johnson, P.W.** (2013). Whole body vibration exposures in bus drivers: A comparison between a high-floor coach and a low-floor city bus, *International Journal of Industrial Ergonomics* 43, 9-17.
- Tiemessen, I.J., Hulshof, C.T., Frings-Dresen, M.H.** (2008) Low back pain in drivers exposed to whole body vibration: analysis of a dose-response pattern. *Occup Environ Med*; 65: 667–75.
- TMMOB Maden Mühendisleri Odası,** (2010). Madencilikte yaşanan iş kazaları raporu, *TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları*, s152.
- TS EN 1032 Mekanik Titreşim.** (2005). Titreşim emisyon değerinin belirlenmesi amacıyla hareketli makinaların deneye tabi tutulması
- TS EN 1032+A1** (2011). Mekanik titreşim-Titreşim emisyon değerinin belirlenmesi amacıyla hareketli makinelerin deneye tabi tutulması
- TS ISO 2631-1** (1997). Mekanik titreşim ve şok-Tüm vücut titreşime maruz kalma değerlendirilmesi - Bölüm 1: Genel kurallar
- TS ISO 2631-2** (2001). İnsanın tüm vücut titreşimine maruz kalmasının değerlendirilmesi- Bölüm 2: Binalarda sürekli ve darbe ile meydana gelen titreşim (1 ila 80 Hz)
- TS ISO 2631-5** (1997). Mekanik titreşim ve şok - Tüm vücut titreşime maruz kalma değerlendirilmesi - Bölüm 5: Birden fazla şok içeren titreşim değerlendirilmesi için yöntem
- TS EN ISO 5349-1** (2005). Mekanik titreşim-Kişilerin maruz kaldığı elle iletilen titreşimin ölçülmesi ve değerlendirilmesi - Bölüm 1: Genel kurallar
- TS EN ISO 5349-2** (2004). Mekanik titreşim-Kişilerin maruz kaldığı, elden vücuda iletilen titreşimin ölçülmesi ve değerlendirilmesi-Bölüm 2: İş yerlerinde ölçme yapmak için pratik kılavuz

- TS ISO 5805** (1999). Mekanik titreşim ve şok-İnsanın maruz kaldığı-Terimler ve tarifler
- Vanerkar, A. P., Kulkarni, N. P., Zade, P. D., Kamavisdar, A. S.** (2008). Whole body vibration exposure in heavy earth moving machinery operators of metalliferous mines, *Environ Monit Assess*, 143:239–245
- Village, J., Morrison, J.** (1989). Whole body vibration in underground load-haul-dump vehicles. *Ergonomics* 32 (10), 1167-1183.
- Viswanathan, M., Jorgensen, M.J., Kittusamy, N.K.** (2006). Field evaluation of a continuous passive lumbar motion system among operators of earthmoving equipment, *International Journal of Industrial Ergonomics* 36, 651–659.
- Wasserman, D. E., Wilder, D. G., Pope, M. H., Magnusson, M., Aleksiev, A. R., Wasserman, J. F.** (1997). Whole-body vibration exposure and occupational work-hardening, *Journal of Occupational & Environmental Medicine*. 39(5) 403-407.
- Waters, T., Rauche, C., Genaidy, A., Rashed, T.** (2007). A new framework for evaluating potential risk of back disorders due to whole body vibration and repeated mechanical shock, *Ergonomics* Vol. 50, No. 3, March, 379–395.
- Wolfgang, R., Di Corleto, L., Burgess-Limerick, R.** (2014). Can an ipod touch be used to assess whole-body vibration associated with mining equipment? *Ann. Occup. Hyg.*, 1–5. doi:10.1093/annhyg/meu054
- Url-1** <<http://yunus.hacettepe.edu.tr/~hucelik/fiz217/BOLUM-1-Y.pdf>> (Son erişim tarihi: 17.07.2017)
- Url-2** <http://www.yildiz.edu.tr/~cdemir/Titresim%20Bilgileri_1.pdf> (Son erişim tarihi: 11.02.2013)



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Tuğba Doğan
Doğum Yeri ve Tarihi	Ankara, 1979
Medeni Hali	Evli
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	SCÜ Mühendislik Fak. Maden Müh. Böl.
E-posta Adresi	tcamuzcu@cumhuriyet.edu.tr
Telefon	(505) 4911081

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	Kongre Lisesi, 1997
Lisans	Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, 2002
Yüksek Lisans	Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, 2009

İş Tecrübesi

SCÜ Mühendislik Fakültesi	Araştırma Görevlisi, 2005-
---------------------------	----------------------------

Yayınlar

Uluslararası hakemli dergilerde

Erdem, B., Doğan, T. (2009) An approach for spoil room utilization in dragline stripping, Journal of Scientific and Industrial Research, 68(3), 217-228.

Güler, T., Çetinkaya, S., Akdemir, Ü., Doğan, T., Kocabağ, D. (2009). Effect of Fe ions on pyrite xanthate interaction in chemically manipulated electrochemical conditions, International Journal of Natural and Engineering Sciences, 3(3), 1-7.

Ulusal Hakemli dergilerde

Erdem, B., Duran, Z., Doğan, T., Yüksel, H. (2017) Maden işletmelerindeki iş makinesi operatörlerinin gürültü maruziyeti, Bilimsel Madencilik Dergisi, 56(4), 148-165.

Erdem, B., Doğan, T., Duran, Z., Özgen, Z. (2016) Maden İşyerlerinde Kullanılan Bazı İş araçlarından Kaynaklanan El Kol Titreşim Maruziyetinin Ölçümü ve Değerlendirilmesi, Bilimsel Madencilik, 55(3), 23-44.

Doğan, T., Duran, Z., Erdem, B. (2015) Tüm Vücut Titreşiminin Operatör ve Sürücüler Üzerindeki Etkileri Ölçümü ve Değerlendirilmesi Madencilik

Kongreler ve Bildiriler

Uluslararası

Erdem, B., Duran, Z., Doğan, T., Yüksel, H., Yüksek, S. (2016) Maden işyerlerinde gürültü kirliliği, 3rd International Symposium on Environment and Morality, 4-6 November, Alanya.

Doğan, T., Erdem, B., Duran, Z. (2015). Tüm Vücut Titreşiminin Operatör ve Sürücüler Üzerindeki Etkileri Ölçümü ve Değerlendirilmesi. Türkiye 24. Madencilik Kongresi ve Sergisi

Ödüller, Teşvikler ve Üyelikler