



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

**TÜRKİYE'DEKİ BAZI AÇIK İŞLETMELERDE PATLATMA  
KAYNAKLI YER SARSINTILARININ  
KAYA KÜTLE VE MALZEME ÖZELLİKLERİ İLE İLİŞKİLERİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**DOKTORA TEZİ**

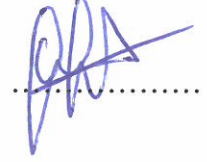
**Mehmet Kürşat DİLMAÇ  
(200992112008)**

**Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı  
Tez Danışmanı: Prof.Dr. Kazım GÖRGÜLÜ**

**SİVAS  
HAZİRAN 2018**

**Mehmet Kürşat DİLMAÇ**'ın hazırladığı ve “**TÜRKİYE’DEKİ BAZI AÇIK İŞLETMELERDE PATLATMA KAYNAKLI YER SARSINTILARININ KAYA KÜTLE VE MALZEME ÖZELLİKLERİ İLE İLİŞKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

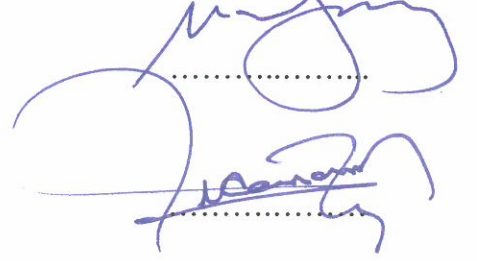
**Tez Danışmanı Prof. Dr. Kazım GÖRGÜLÜ**  
Cumhuriyet Üniversitesi



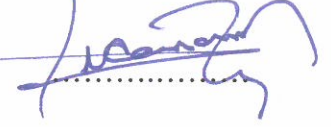
**Jüri Üyesi Prof. Dr. Atilla CEYLANOĞLU**  
Cumhuriyet Üniversitesi



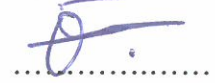
**Jüri Üyesi Prof. Dr. Mahmut YAVUZ**  
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi



**Jüri Üyesi Doç. Dr. Ercan ARPAZ**  
Kocaeli Üniversitesi



**Jüri Üyesi Doç. Dr. Özcan BEKTAŞ**  
Cumhuriyet Üniversitesi



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

**Prof. Dr. İsmail ÇELİK**  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

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 (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.

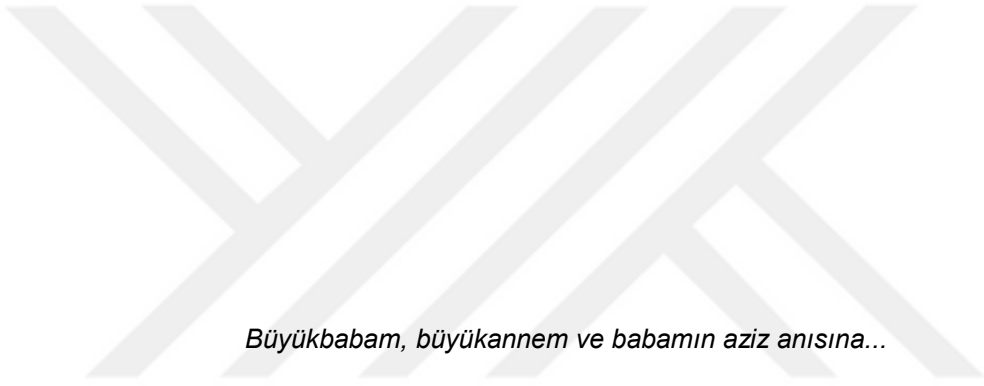


*Bu tez, TÜBİTAK 110M294 ve Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından M-560 No'lu projeler kapsamında desteklenmiştir.*



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

© Mehmet Kürşat Dilmaç, 2018



## ETİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda 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 yararlanması 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, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

29.06.2018

İmza

Mehmet Kürşat DİLMAÇ

## KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım, tezin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Kazım GÖRGÜLÜ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması süresince bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren Prof.Dr. Ahmet DEMİRCİ, Prof.Dr. Önder UYSAL, Prof.Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ, Doç.Dr. Ercan ARPAZ, Dr.Öğr. Üyesi Yavuz Selim DURUTÜRK, Dr.Öğr. Üyesi Ömer Lütfi SÜL, Dr.Öğr. Üyesi Arzu VURUR, Dr.Öğr. Üyesi A. Gürkan YÜKSEK, Dr.Öğr. Üyesi Yavuz GÜL, Doç.Dr. Gülşen TOZSİN, Dr. Çağrı ÇAYLAK, Arş.Gör. Bahadır ŞENGÜN, Arş.Gör. Ercüment KOÇ, Arş.Gör. Banu YAYLALI, Arş.Gör. Şerife BOĞAZKESEN, Maden Mühendisi Emre SANGA, Maden Mühendisi Burcu Hatice HASİPEK, Maden Mühendisi Nizamettin İNSEL, Jeofizik Mühendisi Rüstem KÖROĞLU, Jeofizik Mühendisi Volkan URASLI, Jeofizik Mühendisi Kemal OĞUZ, Jeofizik Mühendisi Emre SARIYILDIZ, Jeofizik Mühendisi Semih GÖNCÜ, Jeofizik Yüksek Mühendisi Abdullah SİPAHİ, Jeofizik Mühendisi Burak YILMAZER'e teşekkür ederim.

Bu tezin arazi çalışmalarıyla ilgili her türlü desteği sağlayan EÜAŞ Kangal Kömür İşletmesi, Eti Maden Bigadiç Bor İşletmesi, Eti Maden Kırka Bor İşletmesi, TKİ Çan Linyitleri İşletmesi ve TKİ Tunçbilek Linyitleri İşletmesi personeline teşekkür ederim.

Manevi desteklerini esirgemeyen eşim Emel DİLMAÇ, annem Aydan DİLMAÇ, oğlum Mete Aras DİLMAÇ, Melikşah AKSOY, Kâni İrfan AKSOY, Ahmet AKSOY, Mehmet Y. AKSOY, Nurettin DİLMAÇ, Aynur OK, Nevzat ÇAKICIER ve Seval ÇAKICIER'e teşekkür ederim.

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 110M294 ve Sivas Cumhuriyet Üniversitesi CÜBAP M560 numaralı projelerle desteklenmiştir.

## ÖZET

# TÜRKİYE'DEKİ BAZI AÇIK İŞLETMELERDE PATLATMA KAYNAKLI YER SARSINTILARININ KAYA KÜTLE VE MALZEME ÖZELLİKLERİ İLE İLİŞKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

**Mehmet Kürşat DİLMAÇ**

**Doktora Tezi**

**Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Kazım GÖRGÜLÜ**

**2018, 233+ xvii sayfa**

Patlatma işlemi sonucunda oluşan enerjinin bir kısmı kayacın parçalanmasında sönmümlenirken, sönmümlenmeyen kısmı da patlatma kaynağından dışarıya doğru sismik dalgalar halinde yayılmaktadır. Yer sarsıntısı ve ilişkili hasarların değerlendirilmesi için en yaygın kullanılan parametreler frekans ve tepe parçacık hızıdır. Genellikle patlatma kaynaklı yer sarsıntıları patlatma şok büyüklüğü ve sönmümlenme büyüklüğü gibi iki önemli parametre ile modellenmektedir. Geliştirilen ölçüme dayalı denklemler incelendiğinde, patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının oluşum ve gelişiminde etkili olan/olabilecek diğer unsurlar saha sabitlerinin üzerine yüklenmekte ve bazen bu durum belirsizlik miktarını arttırabilmektedir. Farklı formüller aynı kazı yeri için, gecikme başına şarja karşı emniyetli tepe parçacık hızının farklı değerlerini vermektedir. Diğer yandan, patlatma sahasındaki kaya kütle ve madde özelliklerinin sürekli değişken yapıda olması nedeniyle patlatma kaynaklı yer sarsıntıları yönlere bağlı olarak değişim göstermektedir. Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının oluşum modellemesinde saha sabitlerinin kaya kütle ve madde özelliklerine dayandırılarak tespit edilmesi bu etkilerin kontrolünü de kolaylaştıracaktır.

Bu çalışmada; patlatma işleminin ortaya çıkardığı en önemli çevresel etkilerden birisi olan patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının oluşum ve gelişiminde kaya kütle ve malzeme özelliklerinin etkileri belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının oluşum ve gelişimi üzerinde etkisi olabilecek kaya kütle özellikleri, her bir atımdaki patlatma geometrisi, uygulama büyüklükleri gibi unsurlar belirlenerek ölçülen yer sarsıntısı değerleri ile ilişkilendirilmiş ve bu parametreleri de içine alan modeller oluşturulmuştur. Saha ölçümleri EÜAŞ Kangal Kömür, Eti Maden Bigadiç Bor ve Eti Maden Kırka Bor, TKİ Çan Kömür ve TKİ Tunçbilek Kömür Açık işletmeleri'nde gerçekleştirilmiştir. Tüm sahalarda elde edilen veriler birlikte değerlendirildiğinde yer sarsıntısı davranışlarında bölgeler bazında ve yönsel olarak belirgin değişimlerin olduğu, RMR (%) değeri azaldıkça saha sabitlerinin de azaldığı belirlenmiştir. Bu kapsamda yapılan saha ölçümleri genel bir değerlendirmeye tabi tutulmuş ve saha sabitleri ile RMR (%) arasında anlamlı ve kabul edilebilir ilişkiler ( $R^2=0,66-0,69$ ) elde edilmiştir. Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının tepe parçacık hızı ve frekans değerlerini tahmin etmek için ANFIS, genetik algoritma ve çoklu regresyon analizleri ile modelleme çalışmaları yapılmış, oluşturulan modellere verilen giriş parametreleri tamamen patlatma tasarım parametreleri ve arazide doğrudan ölçülebilen verilere dayandırılmıştır. ANFIS ile seçilen modellerde oldukça yüksek korelasyonlu ilişkiler ( $R^2=0,9987-0,9996$ ), genetik algoritma ile seçilen modellerde yüksek korelasyonlu ilişkiler ( $R^2=0,82-0,95$ ) elde edilirken çoklu regresyon analizlerinde düşük seviyede ( $R^2=0,19-0,53$ ) ilişkiler elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Patlatma, yer sarsıntısı, saha sabitleri, yönsel değişim, kaya kütle ve malzeme özellikleri, ANFIS, Genetik Algoritma, çoklu regresyon analizi.



## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF THE RELATIONS BETWEEN ROCK MASS AND MATERIAL PROPERTIES AND BLAST INDUCED GROUND VIBRATIONS IN SOME SURFACE MINES IN TURKEY

Mehmet Kürşat DİLMAÇ

PhD Thesis

Department of Mining Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Kazım GÖRGÜLÜ

2018, 233+xvii pages

While some portion of the energy produced in the end of blasting activity is used for rock fragmentation, the remaining part propagates away from the blasting center in form of seismic waves. The most common parameters for the evaluation of ground vibration and relating hazards are frequency and peak particle velocity. In general the blast-induced ground vibrations are modeled using two important parameters called blasting shock magnitude and attenuation magnitude. As the equations developed on the basis of measurements are looked into, the other basic components affecting the blasting-induced ground vibrations are being charged on the site constants. This situation increases the uncertainty from time to time. For the same excavation site different equations indicate different values of safe pick particle velocities on the basis of equal charge per blasting delay time. On the other side, blasting-induced ground vibrations undergo a change dependent on the directions due to changing of rock mass properties in the blasting site. The determination of site constants on the basis of rock mass properties will facilitate to check in cases of blasting-induced ground vibration modeling.

This research work deals with the determination of rock mass properties effects in the occurrence and development of blast-induced ground vibrations which is one of most important environmental result. In this regard, several models which comprise the effects of the rock mass properties on blasting-induced ground vibrations, blasting geometry of every shot, and operational parameter magnitudes have been developed and evaluated. The site measurements have been carried out in EÜAŞ (Electricity Generation Company) Kangal Coal Mine, Eti Mine Bigadiç Boron Open Pit, Eti Mine Kırka Boron Open Pit, TKİ Çan Coal Mine and TKİ Tunçbilek Coal Mine. There is to be seen definite directional changes in the behavior of the ground vibrations are obtained from all sites are evaluated together. In this regard it is seen that site constants diminishes as the RMR-percent value decreases. The site measurements in this context have been undergone to a general evaluation and some definite relations have been determined between site constants and RMR-percent ( $R^2=0,66-0,69$ ). In order to estimate pick particle velocities and frequency values of the blast-induced ground vibrations, the modeling works have been carried out using adaptive neuro fuzzy inference system, genetic algorithm and multivariate regression analysis. The input data are based upon solely blasting design parameters and the measurements on the site. As the models based on ANFIS show highest correlations ( $R^2=0,9987-0,9996$ ), genetic algorithm show higher correlations ( $R^2=0,82-0,95$ ) the correlations on the basis of regression analysis lower relating values ( $R^2=0,19-0,53$ ).

**Key Words:** Blasting, ground vibrations, field constants, directional change, rock mass and material properties, adaptive neuro fuzzy inference system, genetic algorithm, multivariate regression analysis.

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ETİK .....	vi
KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR .....	vii
ÖZET .....	viii
ABSTRACT .....	ix
İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xvi
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>4</b>
2.1 Patlayıcı Maddeler .....	4
2.1.1 Yüksek hassasiyetli patlayıcılar .....	5
2.1.2 Patlayabilir karışımlar .....	5
2.2 Ateşleme Sistemleri .....	6
2.2.1 Elektrikli ateşleme sistemleri .....	6
2.2.2 Elektriksiz ateşleme sistemleri .....	6
2.2.3 Elektronik ateşleme sistemleri .....	7
2.3 Patlatmada Parçalanma Mekanizması .....	8
2.4 Patlatma Tasarım Parametreleri .....	13
2.5 Patlatmadan Kaynaklanan Çevresel Etkiler .....	15
2.5.1 Yer sarsıntısı .....	15
2.5.1.1 Dalga parametreleri .....	18
2.5.1.2 Sönümlenme .....	20
2.5.1.3 Tipik patlatma yer sarsıntısı kayıtları .....	21
2.5.1.4 Yer sarsıntısını etkileyen parametreler .....	27
2.5.1.5 Ölçekli mesafe kavramı .....	28
2.5.2 Hava şoku ve gürültü .....	29
2.5.3 Kaya fırlaması ve toz .....	32
2.6. Literatür Değerlendirmesi .....	32
<b>3. ÇALIŞMADA KULLANILAN CİHAZLAR VE YÖNTEMLER .....</b>	<b>43</b>
3.1 Yer Sarsıntısı-Hava Şoku İzleme Sistemleri ve Ölçüm Teknikleri .....	43
3.1.1 Patlatma kaynaklı yer sarsıntısı ve hava şoku ölçümü .....	43
3.1.2 İvme ölçümü .....	47
3.2 Jeofizik Yöntemler .....	48
3.2.1 Elektrik özdirenç yöntemi .....	48
3.2.2 Sismik yöntemler .....	50
3.3 Kaya Mekaniği Arazi ve Laboratuvar Çalışmaları .....	51
3.4 Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesinde Kullanılan Yaklaşımlar .....	52
3.4.1 Kaya madde ve kütle özelliklerini belirlemeye yönelik çalışmalar .....	52
3.4.2 Parçacık hızı bileşenleri tahmininde kullanılan yaklaşımlar .....	57
3.4.3 Patlatma hasar kriterleri .....	58
3.4.4 Patlatma kaynaklı yer sarsıntısı ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi .....	64
3.4.4.1 Genetik algoritma .....	64
3.4.4.2 Uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) .....	68
3.4.4.3 SPSS istatistik programı .....	71
<b>4. ARAZİ ÇALIŞMALARI VE ÖLÇÜM SONUÇLARI .....</b>	<b>72</b>
4.1 Kangal Kömür Açık İşletmesi .....	72
4.1.1 Jeoloji .....	73
4.1.2 Arazi çalışmaları .....	75
4.1.2.1 Jeofizik ölçüm sonuçları .....	75
4.1.2.2 Kaya mekaniği arazi ve laboratuvar deney sonuçları .....	77
4.1.2.3 Parçacık hızı ve hava şoku ölçüm sonuçları ve değerlendirilmesi .....	79
4.1.2.4 Yer sarsıntılarının bazı hasar kriterlerine göre değerlendirilmesi .....	90
4.2 Bigadiç Bor Açık İşletmesi .....	92
4.2.1 Jeoloji .....	92
4.2.2 Arazi çalışmaları .....	94

4.2.2.1 Jeofizik ölçüm sonuçları .....	94
4.2.2.2 Kaya mekaniği arazi ve laboratuvar deney sonuçları .....	97
4.2.2.3 Parçacık hızı ve hava şoku ölçüm sonuçları ve değerlendirilmesi .....	99
4.2.2.4 Yer sarsıntılarının bazı hasar kriterlerine göre değerlendirilmesi .....	117
4.3 Kırka Bor Açık İşletmesi .....	119
4.3.1 Jeoloji .....	119
4.3.2 Arazi çalışmaları .....	121
4.3.2.1 Jeofizik ölçüm sonuçları .....	121
4.3.2.2 Kaya mekaniği arazi ve laboratuvar deney sonuçları .....	124
4.3.2.3 Parçacık hızı ve hava şoku ölçüm sonuçları ve değerlendirilmesi .....	126
4.3.2.4 Yer sarsıntılarının bazı hasar kriterlerine göre değerlendirilmesi .....	142
4.4 TKİ Çan Kömür Açık İşletmesi .....	144
4.4.1 Jeoloji .....	145
4.4.2 Arazi çalışmaları .....	147
4.4.2.1 Jeofizik ölçüm sonuçları .....	147
4.4.2.2 Kaya mekaniği arazi ve laboratuvar deney sonuçları .....	149
4.4.2.3 Parçacık hızı ve hava şoku ölçüm sonuçları ve değerlendirilmesi .....	151
4.4.2.4 Yer sarsıntılarının bazı hasar kriterine göre değerlendirilmesi .....	160
4.5 TKİ Tunçbilek Kömür Açık İşletmesi .....	162
4.5.1 Jeoloji .....	163
4.5.2 Arazi çalışmaları .....	164
4.5.2.1 Jeofizik ölçüm sonuçları .....	164
4.5.2.2 Kaya mekaniği arazi ve laboratuvar deney sonuçları .....	166
4.5.2.3 Parçacık hızı ve hava şoku ölçüm sonuçları ve değerlendirilmesi .....	169
4.5.2.4 Yer sarsıntılarının bazı hasar kriterine göre değerlendirilmesi .....	178
4.6 Yer Sarsıntısı Ölçüm Sonuçlarının Genel Değerlendirilmesi .....	180
4.6.1 Saha sabitlerinin RMR (%) ile ilişkilerinin incelenmesi .....	180
4.6.2 ANFIS, genetik algoritma ve çoklu regresyon analizleri ile değerlendirmeler .....	182
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>191</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>195</b>
<b>EK 1 ANFIS VE REGRESYON ANALİZİ TAHMİN MODELİ GİRİŞ-ÇIKIŞ PARAMETRELERİ ve TAHMİN SONUÇLARI (TÜM ARAZİ ÇALIŞMALARI) .....</b>	<b>203</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>233</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1 Bakır yüksüklü elektrikli kapsül (Anonim1, 2018).	6
Şekil 2.2 Adi kapsül (Anonim2, 2018).	7
Şekil 2.3 Elektriksiz (nonel) kapsül (Anonim3, 2018).	7
Şekil 2.4 Elektronik kapsül (Anonim4, 2012).	8
Şekil 2.5 Detonasyon boyunca gerilme dalgalarının kaya kütlesi içerisinde yayılımı (Anonim5, 1986).	9
Şekil 2.6 Teğetsel gerilme sonucu ortaya çıkan basınç ve çekme gerilmeleri (Jimeno ve ark., 1995).	10
Şekil 2.7 Ara yüzeyde gerilme dalgalarının etkileşimi (Anonim5, 1986).	11
Şekil 2.8 Değişik koşullarda kütle taşınmaları (Anonim5, 1986).	12
Şekil 2.9 Parçalanma mekanizması (Anonim5, 1986).	13
Şekil 2.10 Sismik dalga türleri (Gates ve Ritchie, 2007).	16
Şekil 2.11 Dalga tiplerine bağlı olarak parçacık hareketlerinin değişimi (Dowding, 1985).	18
Şekil 2.12 Basit uyumlu dalga hareketi (Jimeno ve ark., 1995).	19
Şekil 2.13 Bir patlatmada parçacık hızlarının zamana bağlı değişimi (Stagg ve Engler, 1980).	21
Şekil 2.14 Çeşitli patlatmalarda baskın frekans histogramları (Siskind ve ark., 1980).	23
Şekil 2.15 Farklı frekanslı dalgaların binalar üzerindeki etkileri (Alpaydın ve ark., 2004).	23
Şekil 2.16 Patlatma sarsıntılarının nükleer patlama ve deprem sarsıntıları ile karşılaştırılması (Dowding, 1996).	24
Şekil 2.17 Farklı dalga boyunda yer hareketlerinin yapıya etkisi (Özmen, 2006).	26
Şekil 2.18 Yakın ve uzak mesafelerdeki patlatma sarsıntılarının izlenmesi (Dowding, 1985).	26
Şekil 2.19 Uzaklığa ve zamana bağlı olarak patlatma sarsıntılarının genel formu (Dowding, 1985).	27
Şekil 2.20 Günlük olaylardaki ses düzeyleri ve ses basınç değerleri (Anonim6, 2018).	30
Şekil 2.21 Hava şoku basıncının ölçekli mesafeye göre değişimi (Hoek ve Bray, 1991).	31
Şekil 2.22 Patlatma sırasında oluşan taş savrulması (Jimeno ve ark., 1995).	32
Şekil 2.23 Parçacık hızı-gecikme aralığı ilişkisi (Jimeno ve ark., 1995).	34
Şekil 2.24 Parçacık hızı-ölgül şarj ilişkisi (Jimeno ve ark., 1995).	34
Şekil 3.1 Yer sarsıntısı ve hava şoku ölçüm sistemi ve jeofon yerleşimi (Anonim7, 2010).	43
Şekil 3.2 Jeofon çalışma prensibi (Anonim7, 2010).	44
Şekil 3.3 Bir jeofon içerisinde bulunan algılayıcılar (Anonim8, 2018).	45
Şekil 3.4 Çalışmada kullanılan yer sarsıntısı ve hava şoku izleme cihazları (Anonim9, 2018).	45
Şekil 3.5 Yer sarsıntısı ve hava şoku izleme noktaları (Görgülü ve ark. 2013).	47
Şekil 3.6 İvmeölçer ölçüm ekipmanı.	47
Şekil 3.7 Elektrik özdirenç yönteminin veri toplama düzeneği (ISRM, 2004'den değiştirilmiştir).	49
Şekil 3.8 Düşey elektrik sondaj (DES) ölçüm cihazı.	50
Şekil 3.9 ARES-G4 marka çok elektrotlu elektrik özdirenç cihazı.	50
Şekil 3.10 Sismik kırılma ve yüzey dalgası analizi ölçüm cihazı.	51
Şekil 3.11 Jeolojik dayanım indeksi (Hoek, 1999'dan itibaren).	54
Şekil 3.12 USBM'nin alternatif kriter analizi (Siskind ve ark., 1980).	60
Şekil 3.13 OSM (1983)'nin alternatif kriter analizi (Anonim17, 1983).	61
Şekil 3.14 DIN 4150 Alman Normu (Anonim18, 1966).	62
Şekil 3.15 İngiliz hasar tahmin kriteri (Anonim19, 1993).	63
Şekil 3.16 Türkiye hasar tahmin kriteri (Anonim20, 2008).	64
Şekil 3.17 Örnek tek noktalı çaprazlama işlemi (Syswerda ve Palmucci, 1991).	66
Şekil 3.18 Örnek iki noktalı çaprazlama işlemi (Syswerda ve Palmucci, 1991).	66
Şekil 3.19 Örnek mutasyon işlemi (Syswerda ve Palmucci, 1991).	67
Şekil 3.20 ANFIS mimarisi (Takagi ve Sugeno, 1985).	69
Şekil 3.21 PPV ve Frekans tahmini için geliştirilen ANFIS şeması.	71
Şekil 4.1 Kangal Kömür Açık İşletmesi genel görünümü.	72
Şekil 4.2 Kangal Kömür Açık İşletmesi'nin jeolojik haritası.	73
Şekil 4.3 Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti.	74
Şekil 4.4 Kangal Kömür Açık İşletmesi çalışma noktaları.	75
Şekil 4.5 Kangal Kömür Açık İşletmesi atım ve ölçüm noktaları.	79
Şekil 4.6 Enine tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.	83

<b>Şekil 4.7</b> Düşey tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	83
<b>Şekil 4.8</b> Boyuna tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	83
<b>Şekil 4.9</b> Tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	83
<b>Şekil 4.10</b> Bileşke parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	84
<b>Şekil 4.11</b> Hava şoku-ölçekli mesafe ilişkisi.....	84
<b>Şekil 4.12</b> İlk üç atıma ait tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	87
<b>Şekil 4.13</b> Yönlü açılımlara (Atım 4-10) ait tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	87
<b>Şekil 4.14</b> Veri sınıflandırması sonucu oluşturulan yönler.....	88
<b>Şekil 4.15</b> 5 farklı yöne ait tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	89
<b>Şekil 4.16</b> Tepe parçacık hızının USBM 8507 hasar kriterine (1980) göre değerlendirilmesi.....	90
<b>Şekil 4.17</b> Tepe parçacık hızının OSM hasar kriterine (1983) göre değerlendirilmesi.....	90
<b>Şekil 4.18</b> Tepe parçacık hızının Alman DIN 4150 hasar kriterine (1996) göre değerlendirilmesi.....	91
<b>Şekil 4.19</b> Tepe parçacık hızının İngiliz BS 7385 hasar kriterine (1993) göre değerlendirilmesi.....	91
<b>Şekil 4.20</b> Tepe parçacık hızının Türkiye hasar kriterine (2008) göre değerlendirilmesi.....	91
<b>Şekil 4.21</b> Bigadiç Bor Açık İşletmesi'nin genel görünümü.....	92
<b>Şekil 4.22</b> Çalışma alanının jeoloji haritası (Helvacı, 1995).....	93
<b>Şekil 4.23</b> Bigadiç Bor Açık İşletmesi'nin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Helvacı ve Alaca, 1991).....	93
<b>Şekil 4.24</b> Bigadiç Bor Açık İşletmesi çalışma sahası bölgeleri.....	95
<b>Şekil 4.25</b> Bigadiç Bor Açık İşletmesi atım ve ölçüm noktaları.....	100
<b>Şekil 4.26</b> Enine tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	111
<b>Şekil 4.27</b> Boyuna tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	111
<b>Şekil 4.28</b> Düşey tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	111
<b>Şekil 4.29</b> Tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	111
<b>Şekil 4.30</b> Bileşke parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	112
<b>Şekil 4.31</b> Hava şoku-ölçekli mesafe ilişkisi.....	112
<b>Şekil 4.32</b> Tek sıra-farklı yön dizimli atımlara ait tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	114
<b>Şekil 4.33</b> Veri sınıflandırması sonucu oluşturulan yönler.....	115
<b>Şekil 4.34</b> 5 farklı yöne ait tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	116
<b>Şekil 4.35</b> Tepe parçacık hızının USBM 8507 hasar kriterine (1980) göre değerlendirilmesi.....	117
<b>Şekil 4.36</b> Tepe parçacık hızının OSM hasar kriterine (1983) göre değerlendirilmesi.....	117
<b>Şekil 4.37</b> Tepe parçacık hızının Alman DIN 4150 hasar kriterine (1996) göre değerlendirilmesi.....	118
<b>Şekil 4.38</b> Tepe parçacık hızının İngiliz BS 7385 hasar kriterine (1993) göre değerlendirilmesi.....	118
<b>Şekil 4.39</b> Tepe parçacık hızının Türkiye hasar kriterine (2008) göre değerlendirilmesi.....	118
<b>Şekil 4.40</b> Kırka Bor Açık İşletmesi'nin genel görünümü.....	119
<b>Şekil 4.41</b> Çalışma alanının jeoloji haritası (Helvacı ve Alaca, 1991).....	120
<b>Şekil 4.42</b> Çalışma alanının stratigrafik kesiti (Gök ve ark., 1979).....	121
<b>Şekil 4.43</b> Çalışma alanı bölgeleri.....	122
<b>Şekil 4.44</b> Kırka Bor Açık İşletmesi atım ve ölçüm noktaları.....	136
<b>Şekil 4.45</b> Enine tepe parçacık hızı- ölçekli mesafe ilişkisi.....	137
<b>Şekil 4.46</b> Düşey tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	137
<b>Şekil 4.47</b> Boyuna tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	137
<b>Şekil 4.48</b> Tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	137
<b>Şekil 4.49</b> Bileşke parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	137
<b>Şekil 4.50</b> Hava şoku-ölçekli mesafe ilişkisi.....	137
<b>Şekil 4.51</b> Veri sınıflandırması sonucu oluşturulan yönler.....	140
<b>Şekil 4.52</b> 4 farklı yöne ait tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	141
<b>Şekil 4.53</b> Bor sahası ve gölet tarafına ait verilerden elde edilen tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	142
<b>Şekil 4.54</b> Tepe parçacık hızının USBM 8507 hasar kriterine (1980) göre değerlendirilmesi.....	143
<b>Şekil 4.55</b> Tepe parçacık hızının OSM hasar kriterine (1983) göre değerlendirilmesi.....	143
<b>Şekil 4.56</b> Tepe parçacık hızının Alman DIN 4150 hasar kriterine (1996) göre değerlendirilmesi.....	143
<b>Şekil 4.57</b> Tepe parçacık hızının İngiliz BS 7385 hasar kriterine (1993) göre değerlendirilmesi.....	144
<b>Şekil 4.58</b> Tepe parçacık hızının Türkiye hasar kriterine (2008) göre değerlendirilmesi.....	144

<b>Şekil 4.59</b> TKİ Çan Kömür Açık İşletmesi'nin genel görünümü.....	145
<b>Şekil 4.60</b> Çalışma alanının jeolojik haritası (Gökmen ve ark., 1993).....	146
<b>Şekil 4.61</b> Çan Linyit Havzasına Ait Stratigrafik kesit (Gürdal ve Bozcu, 2011).....	146
<b>Şekil 4.62</b> Çalışma sahası bölgeleri.....	147
<b>Şekil 4.63</b> Çan Kömür Açık İşletmesi atım ve ölçüm noktaları.....	151
<b>Şekil 4.64</b> Veri sınıflandırması sonucu oluşturulan yönler.....	156
<b>Şekil 4.65</b> Enine tepe parçacık hızı- ölçekli mesafe ilişkisi.....	157
<b>Şekil 4.66</b> Düşey tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	157
<b>Şekil 4.67</b> Boyuna tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	157
<b>Şekil 4.68</b> Tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	157
<b>Şekil 4.69</b> Bileşke parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	157
<b>Şekil 4.70</b> Hava şoku-ölçekli mesafe ilişkisi.....	157
<b>Şekil 4.71</b> 2 farklı yöne ait tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	160
<b>Şekil 4.72</b> Tepe parçacık hızının USBM 8507 hasar kriterine (1980) göre değerlendirilmesi.....	160
<b>Şekil 4.73</b> Tepe parçacık hızının OSM hasar kriterine (1983) göre değerlendirilmesi.....	161
<b>Şekil 4.74</b> Tepe parçacık hızının Alman DIN 4150 hasar kriterine (1996) göre değerlendirilmesi.....	161
<b>Şekil 4.75</b> Tepe parçacık hızının İngiliz BS 7385 hasar kriterine (1993) göre değerlendirilmesi.....	161
<b>Şekil 4.76</b> Tepe parçacık hızının Türkiye hasar kriterine (2008) göre değerlendirilmesi.....	162
<b>Şekil 4.77</b> Tunçbilek Kömür Açık İşletmesi'nin genel görünümü.....	162
<b>Şekil 4.78</b> Çalışma alanının jeolojik haritası (Çelik, 1999).....	163
<b>Şekil 4.79</b> Tunçbilek Linyit Havzasına Ait Stratigrafik kesit (Çelik ve Karayığit, 2004).....	164
<b>Şekil 4.80</b> Çalışma alanı bölgeleri.....	165
<b>Şekil 4.81</b> Tunçbilek Kömür Açık İşletmesi atım ve ölçüm noktaları.....	174
<b>Şekil 4.82</b> Enine tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	174
<b>Şekil 4.83</b> Düşey tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	174
<b>Şekil 4.84</b> Boyuna tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	175
<b>Şekil 4.85</b> Tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	175
<b>Şekil 4.86</b> Bileşke parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	175
<b>Şekil 4.87</b> Hava şoku-ölçekli mesafe ilişkisi.....	175
<b>Şekil 4.88</b> Veri sınıflandırması sonucu oluşturulan yönler.....	177
<b>Şekil 4.89</b> 6 farklı yöne ait tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.....	178
<b>Şekil 4.90</b> Tepe parçacık hızının USBM 8507 hasar kriterine (1980) göre değerlendirilmesi.....	179
<b>Şekil 4.91</b> Tepe parçacık hızının OSM hasar kriterine (1983) göre değerlendirilmesi.....	179
<b>Şekil 4.92</b> Tepe parçacık hızının Alman DIN 4150 hasar kriterine (1996) göre değerlendirilmesi.....	179
<b>Şekil 4.93</b> Tepe parçacık hızının İngiliz BS 7385 hasar kriterine (1993) göre değerlendirilmesi.....	180
<b>Şekil 4.94</b> Tepe parçacık hızının Türkiye hasar kriterine (2008) göre değerlendirilmesi.....	180
<b>Şekil 4.95</b> RMR ile saha sabiti K arasındaki ilişkiler.....	181
<b>Şekil 4.96</b> RMR ile saha sabiti $\beta$ arasındaki ilişkiler.....	182
<b>Şekil 4.97</b> ANFIS modeli ile tahmin edilen ve ölçülen PPV değerleri arasındaki ilişkiler.....	183
<b>Şekil 4.98</b> Çoklu regresyon analizi ile tahmin edilen ve ölçülen PPV değerleri arasındaki ilişkiler.....	184
<b>Şekil 4.99</b> ANFIS ve çoklu regresyon modelleri ile tahmin edilen ve ölçülen PPV değerlerinin karşılaştırılması.....	184
<b>Şekil 4.100</b> ANFIS modeli ile tahmin edilen ve ölçülen frekans değerleri arasındaki ilişkiler.....	185
<b>Şekil 4.101</b> Çoklu regresyon modeli ile tahmin edilen ve ölçülen frekans değerleri arasındaki ilişkiler.....	185
<b>Şekil 4.102</b> ANFIS ve çoklu regresyon modeli ile tahmin edilen ve ölçülen frekans değerlerinin karşılaştırılması.....	186
<b>Şekil 4.103</b> Genetik algoritma tarafından seçilen PPV tahmini için en uygun model parametreleri.....	187
<b>Şekil 4.104</b> Genetik algoritma tarafından seçilen frekans tahmini için en uygun model parametreleri.....	187
<b>Şekil 4.105</b> Genetik algoritma modeli ile tahmin edilen ve ölçülen PPV değerleri arasındaki ilişkiler.....	188
<b>Şekil 4.106</b> Çoklu regresyon analizi ile tahmin edilen ve ölçülen PPV değerleri arasındaki ilişkiler.....	188

<b>Şekil 4.107</b>	Genetik algoritma ve çoklu regresyon modelleri ile tahmin edilen ve ölçülen PPV değerlerinin karşılaştırılması.....	189
<b>Şekil 4.108</b>	Genetik algoritma modeli ile tahmin edilen ve ölçülen frekans değerleri arasındaki ilişkiler.....	189
<b>Şekil 4.109</b>	Çoklu regresyon modeli ile tahmin edilen ve ölçülen frekans değerleri arasındaki ilişkiler.....	190
<b>Şekil 4.110</b>	Genetik algoritma ve çoklu regresyon modeli ile ölçülen ve tahmin edilen frekans değerlerinin karşılaştırılması.....	190



## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

<b>Çizelge 2.1</b> Bazı patlayıcı maddelerin yoğunlukları, detonasyon hızları ve basınçları (Anonim5, 1986) .....	9
<b>Çizelge 2.2</b> Yer sarsıntısı parametrelerinin değişim aralığı (Cording ve ark., 1975).....	21
<b>Çizelge 3.1</b> Çalışmada kullanılan yer sarsıntısı ve hava şoku ölçüm cihazlarının teknik özellikleri (Anonim7, 2010).....	46
<b>Çizelge 3.2</b> Çalışmada kullanılan ivmeölçerlerin teknik özellikleri (Anonim10, 2018).....	48
<b>Çizelge 3.3</b> Jeomekanik kaya kütle sınıflaması (Bieniawski 1989'dan itibaren) .....	53
<b>Çizelge 3.4</b> Uzaklığa bağlı müsaade edilen ölçekli mesafe faktörleri (Anonim17,1983).....	60
<b>Çizelge 3.5</b> Uzaklığa bağlı müsaade edilen maksimum parçacık hızları (Anonim17,1983).....	61
<b>Çizelge 3.6</b> DIN 4150 Alman Normu en büyük parçacık hızı–frekans sınır değerleri (Anonim18, 1966) .....	62
<b>Çizelge 3.7</b> Kozmetik hasar için geçici sarsıntı kılavuz seviyeleri (Anonim19, 1993) .....	63
<b>Çizelge 3.8</b> Türkiye Standardı sınır değerleri (Anonim20, 2008).....	63
<b>Çizelge 3.9</b> PPV tahmini için kullanılan genetik algoritma modeline ait giriş ve çıkış parametreleri .....	67
<b>Çizelge 3.10</b> Frekans tahmini için kullanılan genetik algoritma modeline ait giriş ve çıkış parametreleri .....	68
<b>Çizelge 4.1</b> 1. Bölge birimleri ve özellikleri (Görgülü ve ark, 2013).....	76
<b>Çizelge 4.2</b> 2. Bölge birimleri ve özellikleri (Görgülü ve ark, 2013).....	76
<b>Çizelge 4.3</b> 3. Bölge birimleri ve özellikleri (Görgülü ve ark, 2013).....	77
<b>Çizelge 4.4</b> Kangal Kömür Açık İşletmesi kaya kütle sınıflaması (RMR) ve jeolojik dayanım indeksine (GSI) göre sınıflama sonuçları .....	77
<b>Çizelge 4.5</b> Kangal Kömür Açık İşletmesi kaya mekaniği arazi ve laboratuvar deney sonuçları	78
<b>Çizelge 4.6</b> Kangal Kömür Açık İşletmesi'nde yapılan atımlar .....	79
<b>Çizelge 4.7</b> Kangal Kömür Açık İşletmesi'nde yapılan atımlara ait sarsıntı verileri .....	80
<b>Çizelge 4.8</b> Parçacık hızı bileşenleri ve hava şoku değerlerinin literatürdeki tahmin yöntemlerine göre değerlendirilmesi .....	84
<b>Çizelge 4.9</b> Her bir atıma ait parçacık hız bileşenleri-ölçekli mesafe ilişkisi ve saha sabitleri ....	86
<b>Çizelge 4.10</b> Yönlere bağlı veri sınıflandırması .....	87
<b>Çizelge 4.11</b> Tüm atımlardan yararlanılarak oluşturulan yönlere ait parçacık hız bileşenleri-ölçekli mesafe ilişkisi ve saha sabitleri .....	88
<b>Çizelge 4.12</b> 1. Bölge birimleri ve özellikleri (Görgülü ve ark, 2013).....	95
<b>Çizelge 4.13</b> 2. Bölge birimleri ve özellikleri (Görgülü ve ark, 2013).....	96
<b>Çizelge 4.14</b> 3. Bölge birimleri ve özellikleri (Görgülü ve ark, 2013).....	96
<b>Çizelge 4.15</b> Eti Maden Bigadiç Bor Açık İşletmesi kaya kütle sınıflaması (RMR) ve jeolojik dayanım indeksine (GSI) göre sınıflama sonuçları .....	97
<b>Çizelge 4.16</b> Eti Maden Bigadiç Bor Açık İşletmesi kaya mekaniği laboratuvar ve arazi deney sonuçları .....	98
<b>Çizelge 4.17</b> Bigadiç Açık İşletmesi'nde yapılan atımlar .....	99
<b>Çizelge 4.18</b> Bigadiç Bor Açık İşletmesi'nde yapılan atımlara ait sarsıntı verileri.....	101
<b>Çizelge 4.19</b> Parçacık hızı bileşenleri ve hava şoku değerlerinin literatürdeki tahmin yöntemlerine göre değerlendirilmesi .....	112
<b>Çizelge 4.20</b> Tek sıra dizilimli atımlara ait parçacık hız bileşenleri-ölçekli mesafe ilişkisi .....	113
<b>Çizelge 4.21</b> Tüm atımlardan yararlanılarak oluşturulan yönlere ait parçacık hız bileşenleri ölçekli mesafe ilişkisi ve saha sabitleri .....	115
<b>Çizelge 4.22</b> 1. Bölge birimleri ve özellikleri (Görgülü ve ark, 2013).....	122
<b>Çizelge 4.23</b> 2. Bölge birimleri ve özellikleri (Görgülü ve ark, 2013).....	123
<b>Çizelge 4.24</b> 3. Bölge birimleri ve özellikleri (Görgülü ve ark, 2013).....	123
<b>Çizelge 4.25</b> 4. Bölge birimleri ve özellikleri (Görgülü ve ark, 2013).....	124
<b>Çizelge 4.26</b> Eti Maden Kırka Bor Açık İşletmesi kaya kütle sınıflaması (RMR) ve jeolojik dayanım indeksine (GSI) göre sınıflama sonuçları .....	124
<b>Çizelge 4.27</b> Eti Maden Kırka Bor Açık İşletmesi kaya mekaniği arazi ve laboratuvar deney sonuçları .....	125
<b>Çizelge 4.28</b> Kırka Bor Açık İşletmesi'nde yapılan atımlar .....	126
<b>Çizelge 4.29</b> Kırka Bor Açık İşletmesi'nde yapılan atımlara ait sarsıntı verileri .....	127
<b>Çizelge 4.30</b> Parçacık hızı bileşenleri ve hava şoku değerlerinin literatürdeki tahmin yöntemlerine göre değerlendirilmesi .....	138



<b>Çizelge 4.31</b>	Tüm atımlardan yararlanılarak oluşturulan yönlere ait parçacık hız bileşenleri-ölçekli mesafe ilişkisi ve saha sabitleri.....	141
<b>Çizelge 4.32</b>	1. Bölge birimleri ve özellikleri (Koçaslan, 2013) .....	148
<b>Çizelge 4.33</b>	2. Bölge birimleri ve özellikleri (Koçaslan, 2013) .....	148
<b>Çizelge 4.34</b>	3. Bölge birimleri ve özellikleri (Koçaslan, 2013) .....	149
<b>Çizelge 4.35</b>	TKİ Çan Kömür Açık İşletmesi kaya kütle sınıflaması (RMR) ve jeolojik dayanım indeksine (GSI) göre sınıflama sonuçları .....	149
<b>Çizelge 4.36</b>	TKİ Çan Kömür Açık İşletmesi kaya mekaniği laboratuvar ve arazi deney sonuçları .....	150
<b>Çizelge 4.37</b>	Çan Kömür Açık İşletmesi'nde yapılan atımlar .....	151
<b>Çizelge 4.38</b>	Çan Kömür Açık İşletmesi'nde yapılan atımlara ait sarsıntı verileri.....	152
<b>Çizelge 4.39</b>	Parçacık hızı bileşenleri ve hava şoku değerlerinin literatürdeki tahmin yöntemlerine göre değerlendirilmesi.....	158
<b>Çizelge 4.40</b>	Tüm atımlardan yararlanılarak oluşturulan yönlere ait parçacık hız bileşenleri-ölçekli mesafe ilişkisi ve saha sabitleri.....	160
<b>Çizelge 4.41</b>	1. Bölge birimleri ve özellikleri .....	165
<b>Çizelge 4.42</b>	2. Bölge birimleri ve özellikleri .....	166
<b>Çizelge 4.43</b>	3. Bölge birimleri ve özellikleri .....	166
<b>Çizelge 4.44</b>	TKİ Tunçbilek Kömür Açık İşletmesi kaya kütle sınıflaması (RMR) ve jeolojik dayanım indeksine (GSI) göre sınıflama sonuçları.....	167
<b>Çizelge 4.45</b>	TKİ Tunçbilek Kömür Açık İşletmesi kaya mekaniği arazi ve laboratuvar deney sonuçları .....	168
<b>Çizelge 4.46</b>	Tunçbilek Kömür Açık İşletmesi'nde yapılan atımlar .....	169
<b>Çizelge 4.47</b>	Tunçbilek Kömür Açık İşletmesi'nde yapılan atımlara ait sarsıntı verileri .....	170
<b>Çizelge 4.48</b>	Parçacık hızı bileşenleri ve hava şoku değerlerinin literatürdeki tahmin yöntemlerine göre değerlendirilmesi.....	175
<b>Çizelge 4.49</b>	Tüm atımlardan yararlanılarak oluşturulan yönlere ait parçacık hız bileşenleri-ölçekli mesafe ilişkisi ve saha sabitleri.....	178
<b>Çizelge 4.50</b>	Çalışma bölgelerindeki RMR (%) ve saha sabitleri.....	181
<b>Çizelge 4.51</b>	ANFIS modeline ait değişkenler.....	183

## 1. GİRİŞ

Maden mühendisliğinin temel amaçlarından biri; insanoğlunun gereksinim duyduğu maden hammaddesini içinde bulunduğu ana kütteden faydalanılabilir bir büyüklükte, minimum bir zaman diliminde ve emniyetli ve ekonomik bir biçimde ayırabilmektir. Bu amaca ulaşmak için; insan gücü, mekanik makineler, gazlaştırma kimyası, çözültü kimyası, hidrolik teknolojisi ve delme-patlatma teknolojilerinden yararlanılmaktadır. Delme-patlatma teknolojisi, özellikle diğerlerinin uygulanamaması veya uygulandığında ekonomik sonuç vermemesi durumlarında yaygın bir kullanım bulmaktadır. Bu teknolojinin kullanıldığı faaliyetlerde, gerek planlama gerekse uygulama işlemleri, diğer kazı sistemlerine göre farklı bir boyut almaktadır. Bu haliyle söz konusu teknolojinin kullanıldığı planlara yönelik uygulama faaliyetleri; delik yerlerinin belirlenmesi, deliklerin delinmesi, şarj ve patlatma, yükleme-taşıma ve kırma-öğütme işlemlerini içermektedir. Bu faaliyetlere paralel olarak yürütülen diğer tüm işlemler ise yardımcı işlemler olarak genel planlama kapsamında yer almaktadır (Ceylanoğlu ve ark., 1993).

Madencilik faaliyetlerinde temel ve en önemli süreci oluşturan kazı işlemlerinin makine ve yukarıda değinilen diğer yöntemlerle gerçekleştirilmesinin, kayaçların madde/kütle özellikleriyle ve kullanılmakta olan teknoloji ile sınırlı olduğu bilinmektedir. Bu nedenle; bu sınırı aşan durumlarda delme-patlatma teknolojisi, doğrudan kazı veya gevşetme kazısı olarak büyük bir önem arz etmekte ve ekonomiklik ölçüleri içinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Ceylanoğlu ve ark., 1993). Bu kullanımın önemini, bir yandan işletme faaliyetlerinin göstergesini oluşturan maliyet analizlerinde, diğer yandan söz konusu faaliyetlerin hızlı bir şekilde yapılabilmesinde görmek mümkündür.

Patlatma sonrası işlemlerin maliyeti, genel olarak parçalanma derecesinin bir fonksiyonudur (Olofsson, 1988). Delme-patlatma faaliyetleri uygun koşullarda gerçekleştirildiğinde; yükleme, taşıma, kırma-öğütme ve hatta sahanın yeniden düzenlenmesi işlemlerinde maliyetlerin azalmasına, dolayısıyla işletmelerin toplam sonucunun pozitif bir gelişme göstermesine neden olmaktadır. Bu hususlar ışığında, delme-patlatmanın önemi ekonomik sonuçların sağlanması, teknik verimliliğin artırılması, zaman kullanımında etkinlik, iş makineleri performanslarında iyileştirme, kapasite artışı, ardışık faaliyetlerin organizasyonunda kolaylık, uygun niteliklerde malzeme temini, güç kullanımında konsantrasyon, ekipman seçiminde optimizasyon gibi detaylarda ortaya çıkmaktadır. Toplam maliyetin değerlendirilmesi, söz konusu unsurlara yönelik sonuçların göz önüne alınmasıyla mümkün olabilecektir. Bu nedenle, en uygun sonucun ne olacağının belirlenmesi, hem patlatma ve hem de ardışık işlemlerin birlikte ele alınmasıyla mümkündür.

Madencilik, inşaat ve taş ocak işletmeciliğinin vazgeçilmez unsurlarından birisi olan patlatma işlemi çeşitli çevresel etkileri de beraberinde getirmektedir. Patlayıcı madde infilak ettiği zaman basınç (50 GPa'a kadar) ve sıcaklık (5000 K'e kadar) açısından çok büyük miktarda enerji açığa çıkmaktadır (Hino, 1956; Mckenzie, 1990; Cheng ve Huang, 2001). Patlayıcı enerjisinin sadece %20-30'luk kısmı kaya küttelinin kırılması ve ötelenmesinde kullanılmakta, enerjinin geri kalanı

yer sarsıntısı, fırlayan kayalar, gürültü, geri kırılmalar ve aşırı kırılmalar gibi istenmeyen etkilere harcanmaktadır (Hagan, 1973). Diğer bir ifadeyle; patlatma işlemi sonucunda oluşan enerjinin bir kısmı kayacın parçalanmasında sönümlenirken, sönümlenmeyen kısmı da dairesel olarak patlatma kaynağından dışarıya doğru sismik dalgalar halinde yayılmaktadır. Bu sismik dalgaların yayılması sırasında oluşan sarsıntılar, maden ocağının çevresinde bulunan yerleşkelerin hasar görme riski ile karşı karşıya kalmasına neden olmakta, yerleşkelerde yaşayan halkta maddi veya psikolojik rahatsızlıklar yaratmaktadır. Bazen yüksek yer sarsıntı seviyesi nedeniyle yapılar zarar görebilmekte ve saha çevresinde ikamet eden yerel halk ile işyeri yöneticileri sıklıkla karşı karşıya gelebilmektedirler (Khandelwal ve Singh, 2009). Bu sarsıntılar maden sahası yakınındaki bitki ve ağaçlara, mevcut yeraltı su kaynaklarına ve yakın alandaki ekolojiye de zarar verebilmektedir. Ayrıca, yer sarsıntısı çalışma sahasındaki serbest yüzeylere zarar verebilmekte ve patlatma alanlarında geri çatlaklar oluşturabilmektedir. Bu geri çatlaklar sonraki aşamada patlatma için delikler delinirken problem yaratmakta, patlatma sonrası büyük boyutlu parçaların çıkmasına sebep olabilmektedir. Bu sorunların engellenebilmesi ve mevcut bilimsel standartlara uygun çalışma koşullarının oluşturulabilmesi için, patlatma ile gevşetilecek kaya kütlelerinin özelliklerinin belirlenmesi, ortam özelliklerine (kaya/zemin) ve yönlere göre sarsıntının etrafındaki yapılara hangi düzeyde zarar verebileceğinin önceden kestirilmesi ve buna uygun olarak emniyetli bir patlatma tasarımının yapılması zorunlu olmaktadır.

Yer sarsıntısı ve ilişkili hasarların değerlendirilmesi için en yaygın kullanılan parametreler frekans ve tepe parçacık hızıdır (Siskind ve ark., 1989; Arpaz, 2000; Ak, 2006; Khandelwal ve Singh, 2009). Herhangi bir yapının tepkisi yer sarsıntısının frekansına bağlıdır (Dowding, 1985). Yer sarsıntısının şiddeti kaya kütlelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri, patlayıcı karakteristikleri ve patlatma tasarımı gibi parametreler tarafından etkilenmektedir (Wiss ve Linehan, 1978). Herhangi bir kaya kütlelerinde patlatma enerjisini verimli kullanmak ve patlatma kaynaklı istenmeyen etkileri en aza indirmek için bu parametrelerin patlatma üzerindeki etkisini kestirmek önemlidir (Arpaz, 2000; Ak, 2006; Khandelwal ve Singh, 2009). Gecikme başına maksimum şarj, gecikme zamanı, dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, şarj uzunluğu, ateşleme sırası, yemleme tipi ve yeri gibi tasarım parametreleri sismik enerjinin dağılımını önemli ölçüde etkilemektedir (Pal, 2005). Kaya karakteristikleri sahadan sahaya ya da bir basamağın bir yanından diğer yanına geniş ölçüde değişebildiği gibi süreksizliklere ve jeolojik yapıya bağlı olarak yönsel farklılıklarda gösterebilmektedir. Bundan dolayı aynı maden işletmesinde, aynı patlayıcı ile yapılan patlatma sonucu oluşan yer sarsıntılarının şiddeti yönsel olarak değişik değerler verebilmektedir (ISRM, 1992; Jimeno ve ark., 1995; Arpaz, 2000; Aldaş, 2002; Ak, 2006). Bu nedenle, patlatma tasarım parametreleri ve patlayıcı karakteristikleri; dayanım, yoğunluk, gözeneklilik, boyuna dalga hızı, empedans, gerilme-deformasyon davranışı, yapısal süreksizliklerin varlığı gibi kaya kütle özelliklerini temel alan optimizasyon yaklaşımlarına ihtiyaç duyulmaktadır (Singh ve Sastry, 1986; Bilgin, 2005).

Bu konu ile ilgili daha önceki çalışmaların büyük çoğunluğu patlatma şok büyüklüğü (patlayıcı madde miktarı) ve sönümlenme büyüklüğü (mesafe) gibi iki önemli parametre üzerinde

yoğunlaşmakta ve patlatma kaynaklı yer sarsıntıları bu iki parametre ile modellenmektedir (Davies ve ark., 1964; Attewell ve ark., 1965; Ambraseys ve Hendron, 1968; Nicholls ve ark., 1971; Langefors ve Kihlström, 1978; Shoop ve Daemen, 1983; Birch ve Chaffer, 1983; Ghosh ve Daemen, 1983; Gupta ve ark., 1988; Pal, 1993; Arpaz, 2000; Bilgin, 2005; Ak, 2006; Khandelwal ve Singh, 2009).

Farklı araştırmacılar tepe parçacık hızını tahmin etmek için her gecikme başına kullanılan maksimum şarj ve patlatma noktası ile ölçüm noktası arasındaki uzaklığı temel alan çeşitli yaklaşımlar önermişlerdir (Duvall ve Petkof, 1959; Davies ve ark., 1964; Ambraseys ve Hendron, 1968; Langefors ve Kihlstrom, 1973; Ghosh ve Daemen, 1983; Pal, 1993). Geliştirilen ölçüme dayalı denklemler incelendiğinde, patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının oluşum ve gelişiminde etkili olan/olabilecek diğer unsurlar saha sabitlerinin üzerine yüklenmekte ve bazen bu durum belirsizlik miktarını arttırabilmektedir. Farklı formüller aynı kazı yeri için, gecikme başına şarja karşı emniyetli tepe parçacık hızının farklı değerlerini vermektedir. Yani farklı araştırmacılar tarafından üretilen formüller ile bulunan sonuçlar arasında istikrar yoktur. Bilindiği gibi, tepe parçacık hızı (yaklaşımların hiç birinde birleştirilemeyen) çeşitli jeolojik, jeoteknik, patlatma geometrisi ve patlayıcı parametreleri tarafından etkilenmektedir. Bu yaklaşımlar frekans, hava şok basıncı, fırlayan kayalar gibi diğer önemli parametrelerin hiçbirini tahmin etmekte yeterli değildir. Diğer yandan, patlatma sahasındaki kaya kütle ve madde özelliklerinin sürekli değişken yapıda olması nedeniyle patlatma kaynaklı yer sarsıntıları yönlere bağlı olarak değişim göstermektedir (Jimeno ve ark., 1995; Arpaz, 2000; Aldaş, 2002; Ak, 2006). Mevcut yaklaşımlar bu konuda da yetersiz kalmaktadır. Yukarıda açıklanan hususlar kontrollü patlatma tekniklerinin uygulanmasında olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının oluşum modellemesinde saha sabitlerinin kaya kütle ve madde özelliklerine dayandırılarak tespit edilmesi bu etkilerin kontrolünü de kolaylaştıracaktır.

Bu çalışmada; patlatma işleminin ortaya çıkardığı en önemli çevresel etkilerden birisi olan patlatma kaynaklı yersarsıntılarının oluşum ve gelişiminde kaya kütle ve madde özelliklerinin etkileri belirlenerek, kontrollü patlatma tekniklerine baz olacak yaklaşımların geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının oluşum ve gelişimi üzerinde etkisi olabilecek tüm etkiler (kaya kütle ve malzeme özellikleri, her bir atımdaki patlatma geometrisi, uygulama büyüklükleri gibi) belirlenerek ölçülen yersarsıntısı değerleri ile ilişkilendirilmiş ve bu parametreleri de içine alan modeller oluşturulmuştur. Sahalardaki patlatma parametreleri ile kaya kütle özelliklerinin sürekli değişken yapıda olması nedeniyle, modelleme çalışmalarında bu değişimleri ortaya koyabilen ve doğrudan ölçülebilen veriler baz alınmıştır. Bu amaçla değerlendirmelerde mesafe, gecikme başına patlayıcı madde miktarı, öz direnç, S-dalga hızı, P-dalga hızı, delik sayısı, delik boyu, sıkılama boyu, delikler arası mesafe ve dilim kalınlığı giriş parametresi olarak seçilmiştir. Arazi çalışmaları EÜAŞ Kangal Kömür, Eti Maden Bigadiç Bor, Eti Maden Kırka Bor, TKİ Çan Kömür ve TKİ Tunçbilek Kömür Açık İşletmeleri'nde gerçekleştirilmiştir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Günümüzde; delme-patlatma teknolojisi genel haliyle madencilik sektörü başta olmak üzere, inşaat sektöründe, petrol arama ve üretim faaliyetlerinde, tarım ve ormancılık sektöründe, altyapı hizmetlerinde, diğer endüstriyel ve askeri alanlarda yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Patlatma teknolojisinin yaygın kullanımı sonucunda; patlatılan malzemenin yerinden sökülmesinde önemli kazanımlar elde edilirken, patlatma sahası çevresinde bulunan yapılar, makineler, canlılar ve yeraltı su yatakları gibi unsurlar üzerinde yer sarsıntısı, hava şoku, toz ve fırlayan kaya gibi olumsuz çevresel etkilerle de karşılaşabilmektedir. Bu bölümde söz konusu konuların ayrıntılı olarak incelenmesine yer verilecektir.

### 2.1 Patlayıcı Maddeler

Isı, darbe, sürtünme veya şok tesiri ile kimyasal değişikliğe uğrayan, çok büyük miktarlarda ısı, gaz ve basınç açığa çıkaran kimyasal bileşikler veya karışımlara patlayıcı madde denir. Patlayıcı maddeler, kararsız haldeki kimyasal madde veya madde karışımları olup, darbe veya kıvılcım gibi bir etkiye maruz kalması sonucu kendi kendine ilerleyen son derece hızlı kimyasal reaksiyonlarla kararlı bileşiklere dönüşürken yüksek ısı, ses, darbe etkisi ve gazlar ortaya çıkarılırlar. Yanma süresi çok hızlı olduğundan yanma için gerekli oksijen havadan sağlanamaz. Bu nedenle patlayıcı madde yapısında oksijen içeren madde bulunması gerekir.

Patlayıcı maddelerin yoğunlukları genel olarak 0,7-1,7 gr/cm<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Patlayıcı maddelerin yoğunlukları arttıkça detonasyon hızları ve basınçları artmakta, tane boyutları arttıkça detonasyon hızları düşmektedir. Bazı patlayıcılar kapsül ile doğrudan patlatılabilirken (örneğin dinamit), bazıları kapsül ile doğrudan patlatılamazlar (örneğin ANFO).

Fiziksel bir müdahale ile yanma olayı sonucu gaz haline geçen etkinliği düşük patlayıcılara zayıf patlayıcılar (kara barut, dumansız barut, havai fişek, itici gazlar, roket yakıtları vb.) adı verilmektedir. Parçalama özelliğinden daha çok itme özellikleri etkindir.

Ateşleme için güçlü bir tetikleyiciye (zayıf patlayıcı-kapsül) ihtiyaç duyan, patlama etkisi yüksek olan patlayıcılara kuvvetli patlayıcılar (TNT, plastik patlayıcılar vb) adı verilmektedir. Kuvvetli patlayıcılar kapalı bir sistemde tetiklenirse patlarlar ancak bir şok tesirine maruz kalmazlarsa tutuşturulduklarında yanarlar. Kuvvetli patlayıcılar patlatılmaları için çok az enerjiye ihtiyaç duyan birincil patlayıcılar ve parçalama özelliğine sahip ikincil patlayıcılar olarak iki gruba ayrılmaktadır. Birincil patlayıcılar (kurşun azit, kurşun stefenat, civa fulminat, tetrazen, dinitrophenol) çok hassas patlayıcılar olup, ikincil patlayıcıların ateşlenmesini sağlayan başlatıcılar olarak kullanılırlar. İkincil patlayıcılar ise kısmen hassas olup, genellikle yıkım ve parçalama gibi işlemlerde kullanılırlar.

Patlayıcı maddeler içerdikleri malzeme türüne göre yüksek hassasiyetli patlayıcılar ve patlayabilir karışımlar olarak iki gruba ayrılırlar.

### 2.1.1 Yüksek hassasiyetli patlayıcılar

Detonasyon hızı ve yoğunluğu yüksek, madencilikte yaygın kullanımı olan (grizu tehlikesi olan yeraltı işletmelerinde, taş ocaklarında, çevresel etkilerin sorun olduğu yerlerde) patlayıcı maddelerdir. Bu patlayıcıların bileşiminde nitrogliserin (%10-92), sodyum-nitrat ve ağaç hamuru gibi yanabilen ve emici maddeler bulunmaktadır. Nitrogliserin esaslı patlayıcılar antigrizu dinamit, elbar-1 dinamit, jelatinit dinamit, gom tipi dinamit olarak sınıflandırılmaktadır.

- i. Antigrizu dinamit: Grizu tehlikesi olan yeraltı maden işletmelerinde kullanılan, diatomit toprağı (kizelgur) ve kolay buharlaşan amonyum oksalat tuzu içeren bir patlayıcı maddedir.
- ii. Elbar-1 dinamit: Taş ocaklarında, yumuşak-orta sertlikteki kaya ve tünel patlatmalarında, yer sarsıntısı, hava şoku ve kaya fırlamasının sorun olduğu yerlerde, kontrollü patlatma ve yıkım çalışmaları için kullanılan bir patlayıcı maddedir.
- iii. Jelatinit dinamit: Sert ve sulu formasyonlarda kullanılan, detonasyon hızları yüksek (6200 m/sn), nitrogliserin, amonyum nitrat, kalsiyum karbonat ve DNT (dinitro tolüen) içeren bir patlayıcı maddedir.
- iv. Gom tipi dinamit: Çok sert formasyonlarda ve Anfo'nun yemlenmesinde kullanılan, nitrogliserin, kalsiyum karbonat ve sodyum nitrat içeren bir patlayıcı maddedir.

### 2.1.2 Patlayabilir karışımlar

Tek başına patlayıcı özellik taşımayan, değişik katkı maddeleri ile emülsiyon haline getirildikten sonra patlayıcı özelliği kazandırılan patlayıcılardır. Bu patlayıcılardan katkı maddelerinin emülsiyon içindeki oranları artırılarak yüksek hassasiyetli patlayıcı elde etmek mümkündür. Kullanım amacı, suya dayanım, detonasyon hızı vb parametrelere göre üç gruba ayrılırlar.

- i. Kuru patlayabilir karışımlar: En yaygın kullanılan patlayıcı karışım olan Anfo (% 94,5 amonyum-nitrat ve % 5,5 mazot); patlama hızı yüksek (4200-4800 m/s), suya karşı direnci olmayan ve yoğunluğu 0,80-0,85 gr/cm<sup>3</sup> arasında değişen bir patlayıcı karışımdır.
- ii. Watergel (Slurry): Suyu dayanıklı, yoğunluğu (1,1-1,3 g/cm<sup>3</sup>) ve detonasyon hızı yüksek (4115-6096 m/s) patlayıcı maddelerdir. Kapsüle duyarlı ve duyarsız olarak farklı çeşitleri olan bu patlayıcılar amonyum-nitrat, su (%10-30) ve trinitrotoluen, alüminyum, methylamin nitrat (MAN) gibi organik malzemelerin karışımından oluşmaktadır.
- iii. Emülsiyon patlayıcılar; Yüksek konsantrasyondaki amonyum nitrat-su çözeltisi ve mazot (veya yağ) karışımından oluşan, patlama hızı yüksek (4500-6200 m/s), yoğunluğu 1,10-1,35 g/cm<sup>3</sup> arasında değişen, kapsüle duyarlı veya yemleme ile patlayabilen patlayıcılardır.

## 2.2 Ateşleme Sistemleri

Ateşleme sistemi patlayıcı maddenin patlatılması için gerekli olan enerjiyi sağlamaktadır. Amacına uygun olarak seçilen ateşleme sistemi; verimli patlatma, emniyet, çevresel etkilerin azaltılması ve istenilen parça boyutu gibi taleplerin karşılanmasını sağlar. Ateşleme sistemleri elektrikli, elektriksiz ve elektronik ateşleme sistemleri olmak üzere üç çeşittir.

### 2.2.1 Elektrikli ateşleme sistemleri

Akım kaynağına bağlı iki iletken kablo ile bağlı bir elektrikli kibritbaşı yerleştirilmiş özel bir tahrip kapsülünden oluşur. Olumsuz hava şartlarında ve sinyal alıp verebilen cihazların yakınında kullanımı emniyet açısından tehlikeli olan bu ateşleme sistemleri gecikmeli ve gecikmesiz olarak iki gruba ayrılmaktadır.

- i. Gecikmesiz kapsüller: Adi kapsülün geliştirilmiş bir türü olan bu kapsüller; deliklerin aynı anda patlatılması, çevresel etkilerin önemsiz olduğu patlatmalarda ve grizu tehlikesi olan yeraltı kömür işletmelerinde (bakır yüksüklü) kullanılmaktadırlar (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Bakır yüksüklü elektrikli kapsül (Anonim1, 2018).

- ii. Gecikmeli kapsüller: Deliklerin belirli süreyle (milisaniye, yarım saniye) patlatılması için kullanılırlar. Bu kapsüller, yer sarsıntısı gibi çevresel etkilerin azaltılması amacıyla yerüstü ve grizu sorunu olmayan yeraltı metal maden işletmelerinde kullanılmaktadır.

### 2.2.2 Elektriksiz ateşleme sistemleri

Elektriksiz ateşleme sistemleri emniyetli fitil-adi kapsül, infilaklı fitil ve elektriksiz (nonel) kapsül olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır.

- i. Emniyetli Fitil-Adi Kapsül: Fitil (yanma hızı  $115 \pm 15$  m/sn) ile birlikte kullanılan adi kapsül, yüksek hassasiyetli patlayıcı madde doldurularak preslenmiş metalik bir tüpten oluşmaktadır. Yerüstü ve yeraltı maden işletmelerinde başta olmak üzere susuz ortamlarda kullanılan bu kapsüller, elektriksiz olarak adlandırılacak ilk ateşleme sistemidir. Birlikte kullanıldığı emniyetli fitilin uzunluğuna bağlı olarak gecikme süresi ayarlanabilmektedir (Şekil 2.2).



**Şekil 2.2** Adi kapsül (Anonim2, 2018).

- ii. İnfilaklı Fital: Dış kısmı tekstil, plastik ve rutubete dayanıklı malzemelerle takviye edilmiş koruyucu bir tabaka içerisine yerleştirilmiş, PETN (pentaerythrol tetranitrate) dolgu maddeli yüksek hassasiyetli patlayıcılardan oluşmaktadır. Delik sayısının fazla olduğu patlatmalarda, geniş çaplı uzun deliklerde, Anfo'nun kapsül kullanılmadan patlatılmasında, elektrikli kapsül kullanımının uygun olmadığı hava koşullarında kullanılmaktadır. Gecikme rölesi ile istenilen gecikme aralıkları verilebilir.
- iii. Elektriksiz (nonel) kapsül: Düşük enerji iletim hattı olan ve reaktif bir toz ile kaplı bir tüpten oluşan elektriksiz bir ateşleme sistemidir. Yüzey gecikme kapsülleri ya da infilaklı fitil kullanılarak ateşlenebilir. Şok dalgasının tüp içinde ilerlemesi, yemlemeye duyarlı, patlayıcıda ayrışmaya ve yanıl (kısmen) ateşlemeye neden olmaması ve patlayıcı malzeme üzerinde bozucu bir etkisinin olmaması gibi avantajları vardır (Nitromak, 2001) (Şekil 2.3).



**Şekil 2.3** Elektriksiz (nonel) kapsül (Anonim3, 2018).

### 2.2.3 Elektronik ateşleme sistemleri

İçinde kullanıcı tarafından istenilen gecikme süresinin verilebilmesini sağlayan bir çip bulunan gecikmeli kapsüllerden (0-40000 ms) oluşan, çevresel faktörlerin önemli olduğu yerlerde kolay kullanımı ve emniyetli olması gibi avantajlara sahip bir ateşleme sistemidir (Şekil 2.4).





Şekil 2.4 Elektronik kapsül (Anonim4, 2012).

### 2.3 Patlatmada Parçalanma Mekanizması

Kayaları gevşetmek veya parçalamak amacıyla kullanılan patlayıcı maddelerin istenen sonucu yaratması, onların kayanın belirli bir bölümüne aniden ve çok büyük miktarda enerji verebilme kabiliyetlerinde yatmaktadır. Patlatma işlemi sırasında kaya kütlelerinin parçalanma ve ötelenmesine kadar geçen olaylar dört temel aşamada incelenebilmektedir. Bunlar;

- i. Detonasyon
- ii. Şok ya da birim deformasyon dalgalarının yayılımı
- iii. Gaz basıncının yayılımı
- iv. Kütle taşınmasıdır.

#### i. Detonasyon:

Detonasyon, egzotermik bir kimyasal reaksiyon bölgesinden enerji boşalımı nedeniyle malzeme içinde ses hızından daha yüksek bir hızla yayılan şok dalgalarıyla yanma sürecidir. Detonasyon bir basınç şoku oluşturan kimyasal reaksiyon olarak da ifade edilmektedir (Heinze, 1975). Malzeme içinde ses hızından daha düşük bir hızla yayılan ve basınç şoku oluşturmayan yanma süreci ise ivmelenmiş yanma (deflagrasyon) olarak adlandırılmaktadır (Heinze, 1975). Detonasyon dalgaları patlayıcı kolonunun içerisindeki ateşleme noktasından başlamakta ve yüksek bir hızla ilerlemektedir.

Detonasyon basıncı, genellikle patlayıcının yoğunluğu ve detonasyon hızının bir fonksiyonu olarak verilmektedir (Eşitlik 2.1). Bazı patlayıcıların yoğunlukları, detonasyon hızları ve basınçları Çizelge 2.1'de verilmiştir.

$$P_d = 2,5 \rho V_d^2 \times 10^{-4} \quad [2.1]$$

Burada,

- $P_d$  : Detonasyon basıncı (MPa)  
 $\rho$  : Patlayıcı madde yoğunluğu (ton/m<sup>3</sup>)  
 $V_d$  : Detonasyon hızı (m/sn)

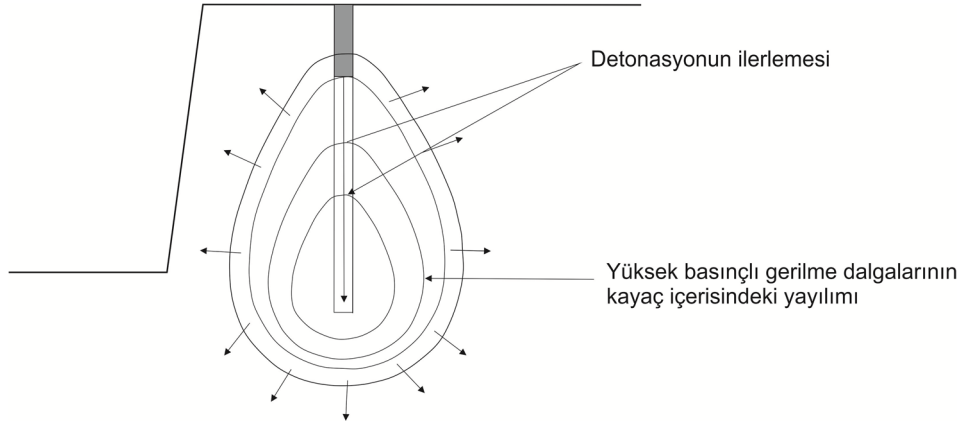
**Çizelge 2.1** Bazı patlayıcı maddelerin yoğunlukları, detonasyon hızları ve basınçları (Anonim5, 1986)

Patlayıcı Madde	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Detonasyon hızı (m/sn)	Detonasyon basıncı	
			(Kbar)	(psi)
ANFO	0,81	3657,6	27	396900
Powermax 420	1,19	5791,2	100	1470000
Hi-Prime	1,40	6096,0	130	1911000
G Booster	1,60	7924,8	251	3689700

Detonasyondaki sıcaklık aralığı yaklaşık olarak 3000- 7000 °F (1650- 3875°C) iken basınçlar 9-275 Kbar (900-27500 MPa) arasındadır (Anonim5, 1986). Ticari patlayıcıların detonasyon hızları 8000-26000 ft/sn (2438-7925 m/sn) arasında değişmektedir.

## ii. Şok ya da birim deformasyon dalgalarının yayılımı:

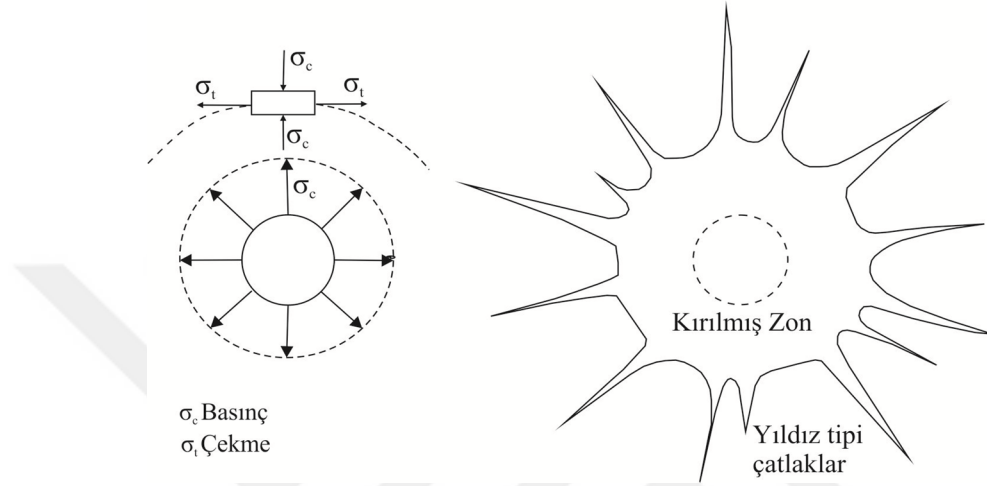
Detonasyonun hemen sonrasında oluşan şok ya da birim deformasyon dalgaları kaya kütlesi içerisinde yayılır. Detonasyon sonrasında ortaya çıkan yüksek basınçlı gazlar delik cidarına çarparak basınç dalgalarının oluşmasına neden olur. Yayılımın geometrisi öncelikle şarjın biçimine bağlıdır. Şayet, şarj kısa ise oluşan yayılım küresel, şarj uzun ise yayılım silindirik şekilli olacaktır (Anonim5, 1986). Bununla birlikte basamak patlatmasında deliğe doldurulan patlayıcı madde delik tabanından ateşlendiğinde bu yayılım küresel ya da silindirik şekilli olmayacaktır (Şekil 2.5).



**Şekil 2.5** Detonasyon boyunca gerilme dalgalarının kaya kütlesi içerisinde yayılımı (Anonim5, 1986).

Delik cidarındaki basınç anlık olarak tepe değerine ulaşacak ve daha sonra eksponansiyel olarak bozulacaktır. Bu hızlı bozulma nedeniyle delik genişleyecek ve gaz soğuyacaktır. Boşluk genişlemesi çatlamalara, ufalanmalara ve/veya malzemenin yer değiştirmesine neden olmaktadır. Genellikle delik cidarında dalga enerjisi maksimum olduğundan basınç, makaslama ve çekme yenilmeleri sonucunda ufalanma bölgesi meydana gelmektedir (Anonim5, 1986).

Birim deformasyon dalgası ilerlerken hacim değişikliği nedeniyle dalga yönündeki malzeme sıkıştırılma eğiliminde olacaktır. Bu sıkıştırma yönünde teğetsel veya çember gerilmeleri olarak ifade edilen başka bileşenler ortaya çıkacaktır. Teğetsel gerilme yeterince büyükse yayılım yönüne doğru çekme yenilmelerine sebep olacaktır (Şekil 2.6) (Jimeno ve ark., 1995). En büyük çekme yenilmelerinin, yenilmenin meydana gelmesi için yeterince yüksek teğetsel gerilmelerin olduğu delik cidarında olması beklenmektedir. Dalganın çekme ve basınç bileşenlerinin her ikisi de delikten uzaklaştıkça bozulacaktır (Anonim5, 1986).



**Şekil 2.6** Teğetsel gerilme sonucu ortaya çıkan basınç ve çekme gerilmeleri (Jimeno ve ark., 1995).

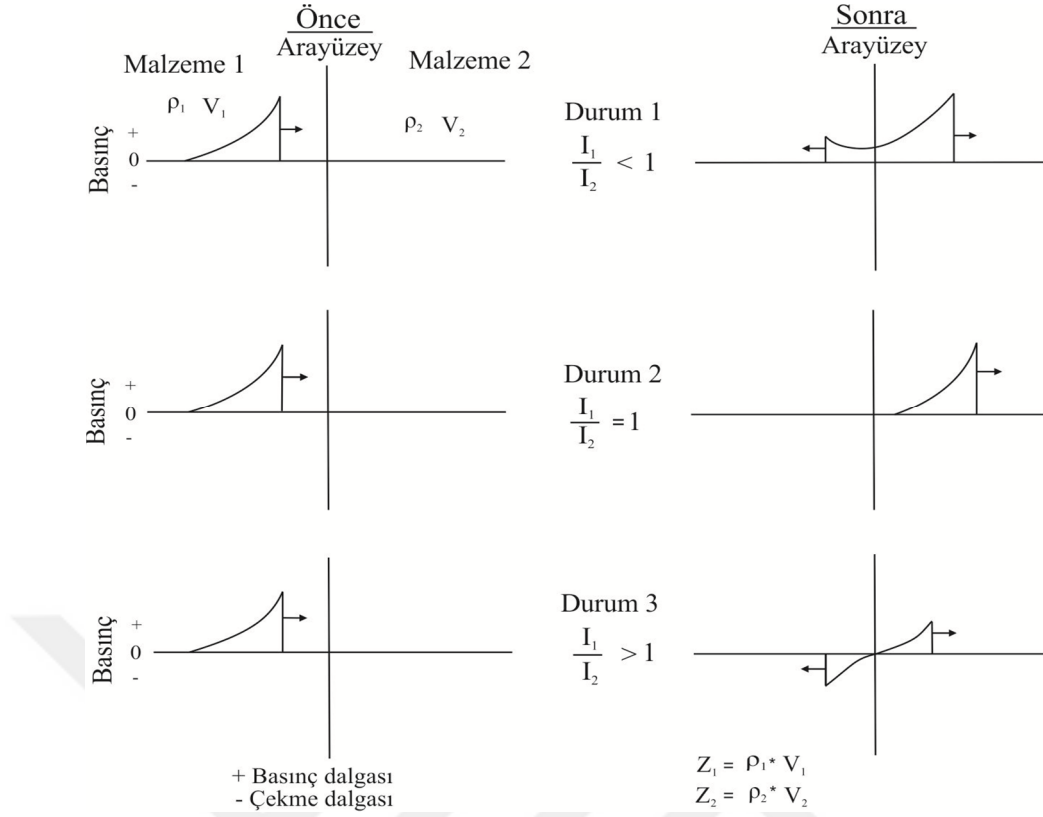
Sıkıştırma dalgası bir süreksizlik ya da ara yüzeyle karşılaştığında; enerjinin bir kısmı süreksizlik içerisinde taşınacak bir kısmı ise yansıyacaktır. Enerjinin bölünmesi ara yüzeyin her iki kenarındaki malzemelerin akustik empedans oranlarına bağlı olmaktadır (Şekil 2.7). Akustik empedans ( $I$ ) herhangi bir malzeme için Eşitlik 2.2'deki gibi ifade edilmektedir.

$$I = \rho V_p \quad [2.2]$$

Burada;

- $I$  : Akustik empedans (Ns/m<sup>3</sup>)
- $\rho$  : Malzemenin yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)
- $V_p$  : Malzemenin sonik hızı (m/s)

Şekil 2.7'de de görüldüğü üzere 1. malzemenin akustik empedansı 2. malzemenin akustik empedansından küçük olduğu durumda dalga enerjisinin bir kısmı 2. malzeme içerisinde ilerleyecek, bir kısmı yansıyacak, fakat her ikisi de basınç dalgası olacaktır. Şayet 1. malzemenin akustik empedansı 2. malzemenin akustik empedansından büyük olursa dalga enerjisinin bir kısmı 2. malzemenin içerisinde basınç dalgası olarak ilerleyecek, diğer kısmı 1. malzemenin içerisinde çekme dalgası olarak yansıyacaktır (Anonim5, 1986).



Şekil 2.7 Ara yüzeyde gerilme dalgalarının etkileşimi (Anonim5, 1986).

### iii. Gaz basıncının yayılımı:

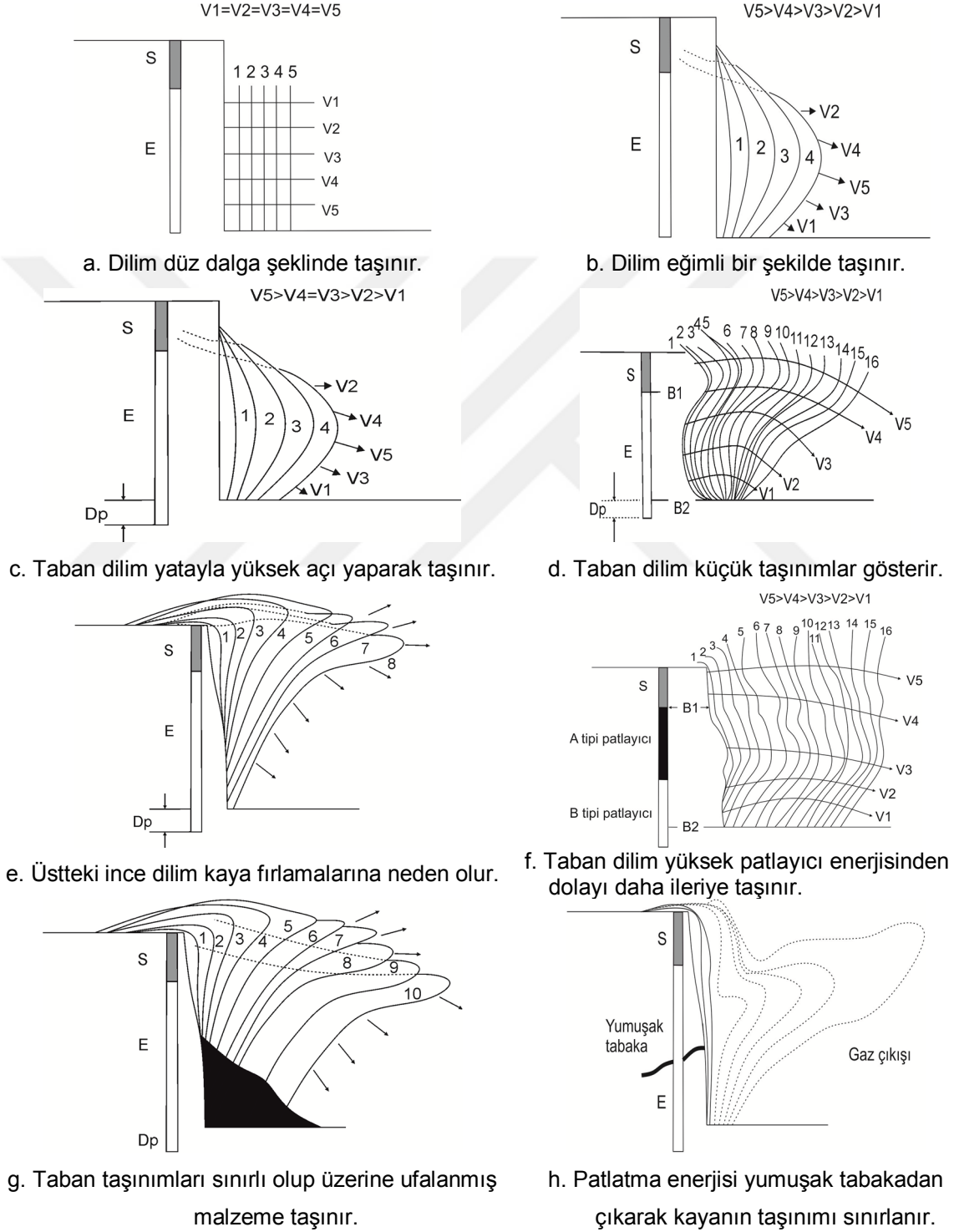
Birim deformasyon dalgasının yayılımı esnasında ve/veya sonrasında, delik etrafında arazi gerilmelerine dönüşen yüksek sıcaklıktaki gazların basıncı süreksizlikler içerisine girerek radyal çatlakların ilerlemesine ve orijinal deliğin bozulmasına neden olmaktadır. Bu durumun parçalanmanın temel mekanizmasını oluşturduğu hususunda çeşitli tartışmalar vardır. Bazı araştırmacılar baştan başa kaya kütlelerinin çatlak ağlarının tamamlandığına inanırken, diğerleri büyük çatlakların henüz başladığına inanmaktadır. Her ne olursa olsun, parçalanmış malzemenin yer değiştirmesini bu yüksek gaz basınçları sağlamaktadır.

Kaya kütlesi içerisinde bu gazların hareket yönleri tam olarak bilinmese de direnci en düşük olan yolu izleyecekleri açıktır. Bu anlamda, gazlar öncelikle var olan çatlakların, eklemlerin, fayların, süreksizliklerin ve buna ek olarak düşük kohezyonlu ya da temassız malzeme tabakalarının içerisinde hareket edecektir. Şayet, bu süreksizlikler yüzeye kadar devam ediyor ise gazlar bu süreksizliklerden atmosfere çıkarak basınç düşecek, malzemenin parçalanması ve kırılmış malzemenin yer değiştirmesi azalacaktır.

Kaya kütlesi içerisinde gaz basıncının hapsedilme süresi; patlayıcının cinsine ve miktarına, malzemenin cinsine ve yapısına, çatlak ağlarına, sıkılama malzemesi cinsine ve miktarına ve dilim kalınlığına bağlı olmaktadır. Hapsedilme süresi değişik malzeme, patlayıcı madde ve dilim kalınlıklarında 5-110 ms aralığında değişmektedir. Genellikle dilim kalınlığının artırılması ve yüksek enerjili patlayıcı madde kullanımı ile gazın hapsedilme süresi artırılabilir.

#### iv. Kütle taşınması:

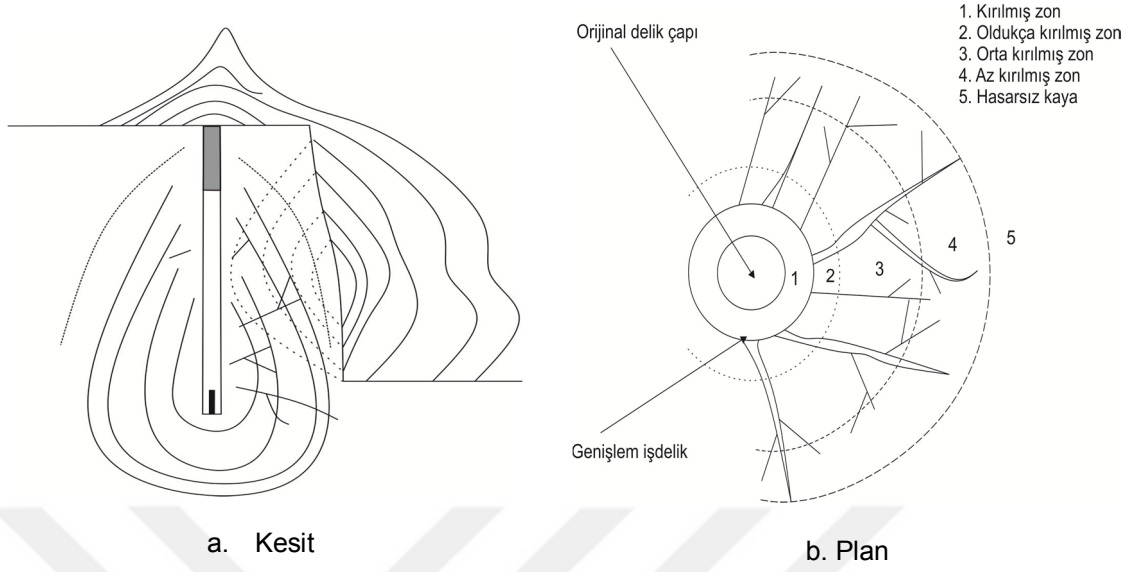
Parçalanma işleminde son aşama malzemenin hareketidir. Gaz basıncı ya da basınç ve çekme dalgaları sonucu temel parçalanma meydana gelmektedir. Parçalanmış malzeme etki hızına bağlı olarak basamak tabanına düşmektedir. Kütle taşınmasında en önemli parametre delik önündeki malzeme miktarı olmaktadır. Değişik durumlara göre malzeme taşınmaları Şekil 2.8'de verilmiştir.



Şekil 2.8 Değişik koşullarda kütle taşınmaları (Anonim5, 1986).

\*(S: Sıkılama, E: Patlayıcı, Dp: Delik taban payı)

Delik doldurulup ateşlendikten sonra dört aşamada basamak ve sonsuz kaya ortamında oluşan parçalanma olayları kesit ve plan görünüş olarak Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9 Parçalanma mekanizması (Anonim5, 1986).

#### 2.4 Patlatma Tasarım Parametreleri

Maden işletme sürecinde patlatmanın önemi bilindiğinden, konuyla ilgili değişik çalışmalar çeşitli araştırmacılar tarafından uzun süreden beri yoğun bir biçimde sürdürülmektedir. Ancak konunun karmaşıklığı ve koşulların zorluğu nedeniyle hala yanıtlanması gereken pek çok soru mevcuttur. Teknik, ekonomik ve emniyet açısından iyi ve güvenilir bir patlatma tasarımı üzerinde etkili olan pek çok parametre söz konusudur. Bu parametreleri aşağıdaki şekilde özetlemek mümkündür (Duvall ve Pugliese, 1965; Atchison, 1968; Siskind ve Fumanti, 1974; Dick ve ark., 1983; Tamrock, 1984; Anonim5, 1986; Bilgin, 1986; Olofsson, 1988; Konya ve Walter, 1990; Hoek ve Bray, 1991; Dowding, 1992; Bilgin ve Paşamehmetoğlu, 1993; Singh, 1993; Jimeno ve ark., 1995; Bhandari, 1997; Capehart ve Lilly, 2002; Ak, 2006).

##### i. Kaya birimlerinin malzeme ve kütle özellikleri

- Yoğunluk
- Basınç, çekme, darbe dayanımları
- Sismik dalga hızı
- Empedans
- Süreksizlik durumu ve kütleli olarak sağlamlık derecesi
- Su durumu
- Elastik modülü
- Poisson oranı
- Değişkenlik durumu (homojenite, anizotropi ve izotropi)
- Sertlik

## ii. Patlayıcı maddenin cinsi, özellikleri ve dağılımı

- Yoğunluk
- Patlama hızı
- Güç
- Hassasiyet
- Suya dayanım
- Dona dayanım
- Gaz özellikleri
- Patlama ısı ve özgül gaz hacmi
- Depolama şekli ve süresi

## iii. Patlatma geometrisi

- Delik çapı, yeri, eğimi ve boyu
- Delik düzeni
- Dilim kalınlığı, delikler arası mesafe
- Basamak aynasının şekli, durumu, yüksekliği, eğimi
- Sıkılama payı
- Delik taban payı
- Şarj şekli, delik içi dağılımı
- Atım grubu boyutları
- Yemleme, ateşleme şekli ve düzeni
- Gecikme tipi ve süresi

Yukarıda ifade edilen parametreler aynı zamanda kaya parçalanma derecesi üzerinde de etkilidirler. Patlatma verimliliğinin en önemli göstergesi ise parçalanma derecesi (ortalama blok boyutu ve yüzdesi) ve kazı-yüklemedeki makine performansdır. Maksimum ve ortalama blok boyutları kazı-yükleme verimliliğini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, yükleyici makinenin ve/veya kırıcının performansı; patlatma verimliliğinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer yandan, günümüzde patlatma sonuçları çevresel etkiler yönünden de çeşitli yönetmelikler ve yasal hükümler gereği değerlendirilmektedir. Bu değerlendirme; yalnızca patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntısı ve hava şoku düzeylerinin hasar oluşturmayacak değerlere çekilmesi için değil, aynı zamanda patlatma sonucu ortaya çıkan enerjinin maksimum miktarının parçalamaya ve ötelenme işlemlerinde kullanılmasını sağlamak amacıyla da yapılmalıdır.

## 2.5 Patlatmadan Kaynaklanan Çevresel Etkiler

Madencilik, inşaat, taş ocakçılığı gibi patlatma teknolojisi kullanan çeşitli sektörlerin karşılaştığı en önemli sorun patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntıları, fırlayan kayalar ve hava şoklarıdır. Patlatma işlemi sonucunda oluşan enerjinin bir kısmı kayacın parçalanmasında sönmümlenirken, sönmümlenmeyen kısmı patlatma kaynağından dışarıya doğru sismik dalgalar halinde yayılmaktadır. Yer sarsıntısı, gürültü ve fırlayan kaya gibi problemler, madenin yakınlarındaki yöre halkı kadar maden personeli ve ekipmanı için de büyük sorunlar yaratabilmektedir. Diğer yandan; patlatmadan kaynaklanan çevresel etkilerle ilgili şikâyetler daha büyük atımlara duyulan ihtiyaçla birlikte giderek artmaktadır. Söz konusu problemlerin aşılması için patlatmadan kaynaklanan çevresel etkilerin tanımlanması, oluşabilecek hasarların önceden tahmini ve çözümüne yönelik standart ve kriterlerin oluşturulması çalışmaları yoğun olarak sürdürülmektedir.

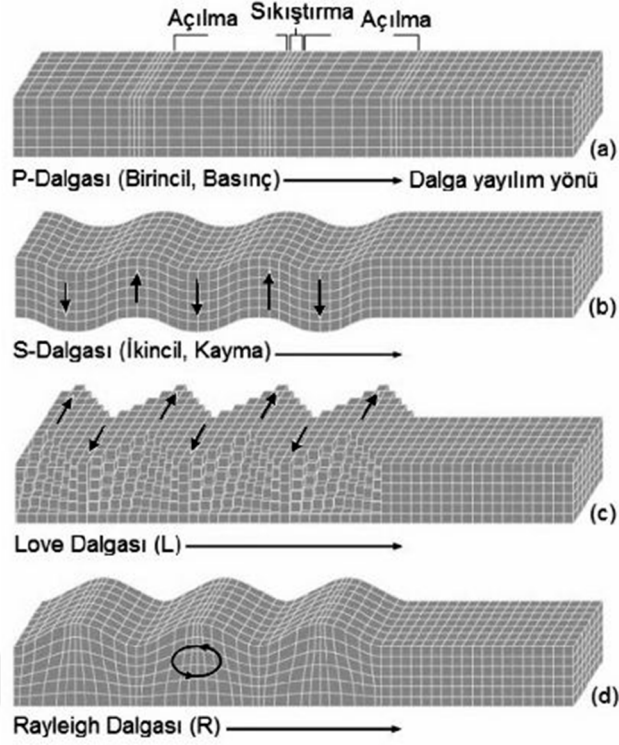
### 2.5.1 Yer sarsıntısı

Kayacın içinde patlatılan patlayıcı maddenin yarattığı yer sarsıntısı; kaya ortamında bir noktadan bir noktaya ulaşan enerji transferini temsil etmektedir. Başlangıçta ortama yeni giren enerji, ortamdaki denge konumunu bozarak yer değiştirmeye neden olmaktadır. Eğer, ortam yeni gelen enerjiye elastik özellik göstermezse, enerji sönmümlenmekte ve sadece sarsıntısı azalmış dalgalar yansımaktadır. Elastik özellik gösterdiğinde ise bozulan ortamın sonucu olarak komşu ortamlar denge konumundan ayrılarak yay-ağırlık mekanizmasına benzer bir şekilde salınım meydana getirmektedir. Böylece bozulan ortamın her elementi, salınımın özelliklerini diğer elementlere de geçirerek ortamda dalga hareketi oluşturmaktadır. Dalga hareketi sırasında toplu bir hareket olmamaktadır. Ortamı oluşturan parçacıklar denge pozisyonlarında salınım ve dönme hareketi yapmakta ve ortam boyunca herhangi bir yer değiştirme olmamaktadır. Bu özellikleri taşıyan olayda iki hız bulunmaktadır. Birincisi bozulan ortamın yoğunluğuna bağlı olarak dalga veya faz hızı, ikincisi ise dalga enerjisini etkileyerek denge durumunun bozulması ile parçacığın küçük salınımları olarak tanımlanan parçacık hızıdır. Parçacık hızı her zaman dalga hızından daha küçük olmakta ve patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntılarının analizinde, dalga hızına göre daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Arpaz, 2000).

Patlatma sonucu yayılan sismik dalgalar farklı hızlarda hareket ettikleri için karmaşık hareketler meydana getirebilmekte ve birbirlerini etkileyebilmektedir. Bu sebeplerden ötürü değişik ölçüm noktalarında üç yöndeki bileşenlerine (enine (T), boyuna (L) ve düşey (V)) göre ayrı ayrı tanımlanmaları gerekmektedir (Dowding, 1985).

Sismik dalgalar, dalga yayılım karakteristiğine göre cisim (gövde) dalgaları (P dalgası ve S dalgası) ve yüzey dalgaları (Rayleigh dalgası ve Love dalgası) olarak sınıflandırılmaktadır (Şekil 2.10). Cisim dalgaları, kaya ya da toprağın içerisinde hareket ederken, yüzey dalgaları yüzey boyunca hareket etmektedir.





**Şekil 2.10** Sismik dalgaları türleri (Gates ve Ritchie, 2007).

Cisim dalgaları basınç ve makaslama dalgaları olarak iki çeşittir. Basınç dalgaları veya birincil dalgaların (P dalgası) parçacık hareketi itip çekme şeklinde dalganın yayılma yönüne paraleldir (Şekil 2.10a). Meydana getirdikleri bir çeşit itme-çekme hareketinden dolayı, geçtikleri ortamın hacimsel değişimine neden olurlar. P dalgaları yer içerisinde en hızlı yayılan ve deprem kayıt aletleri tarafından ilk algılanan dalgalardır. Bu dalgalar hem katılar, hem sıvılar hem de gazlar içerisinde kolayca yayılabilirler. Yayılım hızları, S dalgası hızının yaklaşık 1,7-1,8 katı kadardır. İkincil, makaslama veya kesme dalgalarının (S dalgası) parçacık hareketi dalganın hareket yönüne dik olan bir düzlem içerisinde (Şekil 2.10b). S dalgaları, parçacık hareketinin düzlemine uygun olarak, düşey yönde kutuplaşan makaslama (SV) ve yatay yönde kutuplaşan makaslama (SH) dalgaları olarak ikiye ayrılmaktadır.

Yüzey dalgaları, cisim dalgalarından farklı olarak yerin serbest yüzeyi boyunca ve ara yüzeylerde P ve S dalgaları arasındaki etkileşim ile meydana gelir. Bir yüzey dalgasındaki parçacık hareketinin genliği derinlikle üstel olarak azalmakta ve dalganın sahip olduğu enerjinin büyük kısmı bir dalga boyu içerisinde yer almaktadır. Yüzey dalgalarının enerjileri oldukça yüksek (kaynak enerjisinin %60-70'i kadar) olup sismik ölçümlerdeki bozucu etkileri veya deprem esnasında yıkıcı potansiyelleri ile bilinmektedirler. Yüzey dalgaları Love (L) ve Rayleigh (R) dalgaları olmak üzere iki çeşittir. Love dalgaları, yatay yönde polarize olmuş SH-türü dalgaların kabuk içerisindeki tekrarlı yansımalarının yapıcı girişiminden oluşur. Bu nedenle homojen ortamda oluşmazlar ve dağıtıcı özellik gösterirler. Love dalgaları, P ve SH dalgalarının etkileşiminden meydana gelirler. Parçacık hareketi dalga yayılma yönüne dik, yüzeye paraleldir (Şekil 2.10c). Love dalgaları, Rayleigh dalgalarından daha hızlıdır ve bu yüzden kayıt

cihazlarında daha önce görünürler. P ve SV düzlem dalgalarının serbest yüzey üzerinde etkileşmesi ile oluşan Rayleigh dalgalarının hızı homojen ortamda S dalgası hızından daha küçüktür. Rayleigh dalgaları, hem düşey hem de yatay yönde yeryüzüne paralel olarak ilerlerken aksi yönde hareket eden elips şeklinde parçacık hareketi yapmaktadırlar (Şekil 2.10d). Miller ve Pursey (1955) ve Vorobev ve ark. (1973) gibi bazı araştırmacılar Rayleigh dalgalarının, farklı dalga türleri ile iletilen enerjinin dağılımında toplam enerjinin %70-80'inin oluşturduğu sonucuna varmışlardır.

P ve S dalgalarının yayılım hızı zeminin elastik özelliklerine bağlıdır ve aşağıdaki eşitliklerden (2.3, 2.4) tahmin edilebilir (Duvall ve Atchison, 1957).

$$VC_p = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho_r(1-2\nu)(1+\nu)}} \quad [2.3]$$

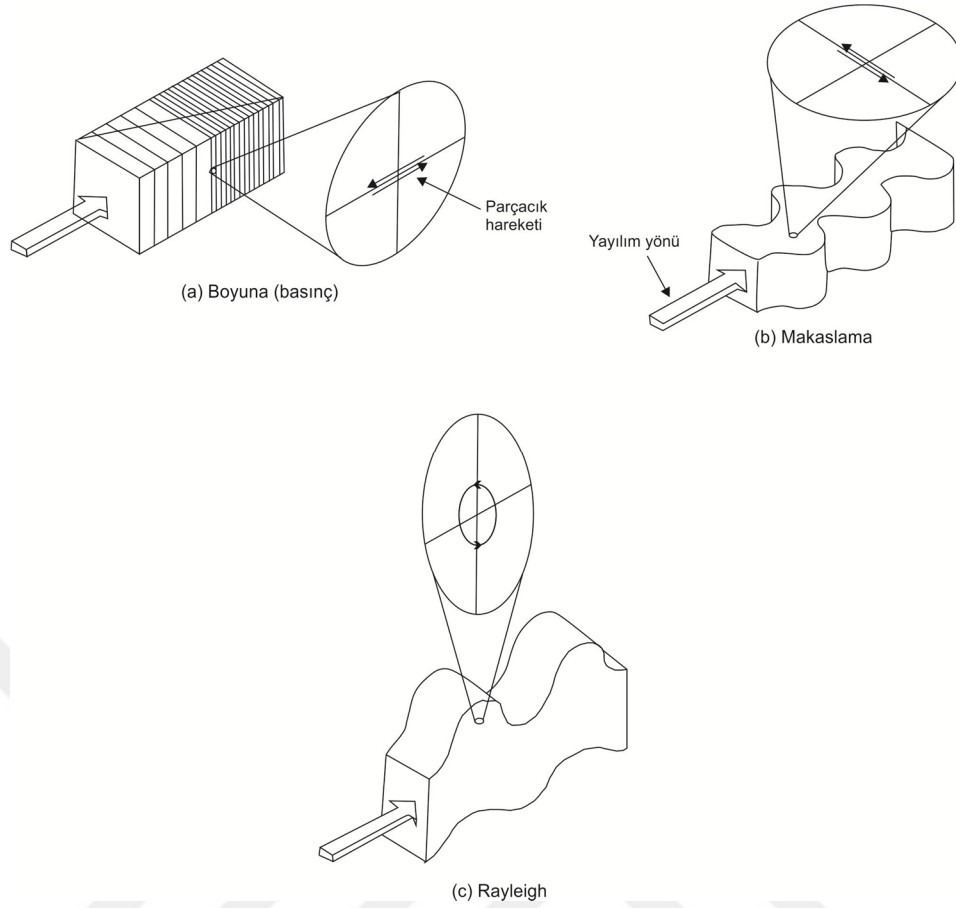
$$VC_s = \sqrt{\frac{E}{2\rho_r(1+\nu)}} \quad [2.4]$$

Burada;

- $\rho_r$  : Kayacın yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ ),
- $\nu$  : Poisson oranı,
- $E$  : Young modülü ( $\text{N/m}^2$ ),
- $VC_p$  ve  $VC_s$  : P ve S dalgalarının yayılım hızları (m/sn)

Düşük mesafelere cisim ve yüzey dalgaları aynı anda gelmekte ve dalga tanımlaması zorlaşmaktadır. Uzun mesafelerde ise daha yavaş olan makaslama ve yüzey dalgaları, basınç dalgalarından rahatlıkla ayırt edilebilmektedir. Fakat birçok patlatma farklı ilerleme yönlerinde ve milisaniyelerle geciktirilmiş küçük patlatmaların bir serisi şeklinde olması nedeniyle dalgalar üst üste binmekte ve bu ayrım zorlaşmaktadır.

Cisim ve yüzey dalgaları içinden geçtikleri kaya parçacıkları ya da toprağa göre değişik özellikler gösterebilmektedir. Bunun sonucunda, yüzeydeki yapılar ya da kaya her dalga tipine göre farklı bir şekilde deforme olmaktadır. Her asal dalga tipi için değişik parçacık hareketlerinin yapılar üzerinde yarattığı deformasyon Şekil 2.11'de verilmiştir. Boyuna dalgalar, yayıldıkları doğrultuyla aynı yönde parçacık hareketi meydana getirmektedir. Diğer taraftan makaslama dalgaları yayılım yönüne dik yönde hareket oluşturmaktadır. En karmaşık yapıyı gösteren Rayleigh dalgaları ise yayılma yönüne paralel ve düşey yönde hareketler oluşturmaktadır (Şekil 2.11).

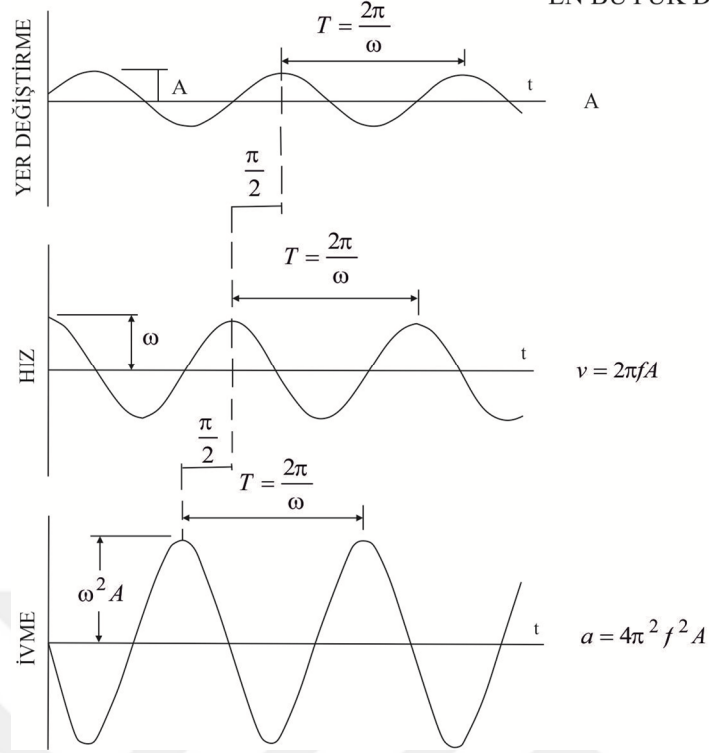


Şekil 2.11 Dalgaların tiplerine bağlı olarak parçacık hareketlerinin değişimi (Dowding, 1985).

### 2.5.1.1 Dalgaların parametreleri

Bir kayaç ortamının içinden sismik dalganın geçişi, yer sarsıntısı olarak isimlendirilen parçacık hareketlerine neden olur. Uyumlu hareket eden dalgaların türlerine bağlı olarak oluşan patlatma kaynaklı sarsıntıların analizinde kullanılan parametreler Şekil 2.12'de verilmiştir (Jimeno ve ark., 1995). Bu parametreler;

- Genlik ( $A$ ) : Bir tanenin son hareketine göre maksimum yer değiştirme miktarı.
- Parçacık hızı ( $v$ ) : Bir taneyi hareket ettiren hız.
- İvme ( $a$ ) : Birim zamandaki hız, yani  $a = v/t$ .
- Frekans ( $f$ ) : Saniyedeki salınım sayısı. Frekans, periyodun ( $T=1/f$ ) tersine eşittir.
- $\omega$  : Açısal frekans



Şekil 2.12 Basit uyumlu dalga hareketi (Jimeno ve ark., 1995).

Herhangi bir andaki yer değiştirme ( $D$ );

$$D = A \times \sin(\omega t) \quad [2.5]$$

Burada;

$$\omega = 2 \times \pi \times f = 2 \times \pi \times \left(\frac{1}{T}\right) \quad [2.6]$$

Yayıma hızı  $VC$  olmak üzere dalga boyu ( $\lambda$ );

$$\lambda = VC \times T = VC \times \left(\frac{1}{f}\right) \quad [2.7]$$

Parçacığın yer değiştirme, hız ve ivmesi arasındaki ilişki;

$$D = A \times \sin(\omega t) \quad [2.8]$$

$$v = \frac{dy}{dt} = A \times \omega \times \cos(\omega t) \quad [2.9]$$

$$a = \frac{dv}{dt} = -A \times \omega^2 \times \sin(\omega t) \quad [2.10]$$

Bu parametrelerin yalnızca maksimum mutlak değerleri dikkate alındığında;

$$v_{\max} = A \times \omega = A \times 2 \times \pi \times f \quad [2.11]$$

$$a_{\max} = A \times \omega^2 = A \times 4 \times \pi^2 \times f^2 = v_{\max} \times 2 \times \pi \times f \quad [2.12]$$

### 2.5.1.2 Sönümlenme

Sönümlenme basit olarak sarsıntı hareketinin başladığı andan itibaren zaman içinde büyüklüğünün azalması veya sönmesidir. Geometrik sönümlenme ve elastik olmayan sönümlenme olarak iki şekilde gerçekleşmektedir.

#### i. Geometrik sönümlenme

Bir patlatma sonucu meydana gelen sismik dalgaların yayılım enerjisinin şiddeti, dalgalar kayaç içinde çok büyük hacimlere ulaştığında azalmaktadır. Bu geometrik sönümlenme olarak adlandırılmaktadır. Patlatma kaynaklı yer sarsıntısında dalgaların karmaşık bileşimini anlamak için her bir dalga tipinin geometrik sönümlenme faktörlerinin dikkate alınması gerekmektedir. Homojen, elastik ve izotropik bir ortamda geometrik sönümlenme nedeniyle dalgaların genliği düşer. Baskın dalgaların farklı tipleri için sönümlenme katsayısı;

- (yarı)sonsuz bir ortamda hareket eden cisim dalgaları için  $1/D$ ,
- Rayleigh dalgaları için  $1/\sqrt{D}$ ,
- Serbest yüzeye doğru hareket eden gövde dalgaları için  $1/D^2$  olarak ifade edilmektedir.

Burada, D sismik kaynaktan olan mesafedir (Richart ve ark., 1970).

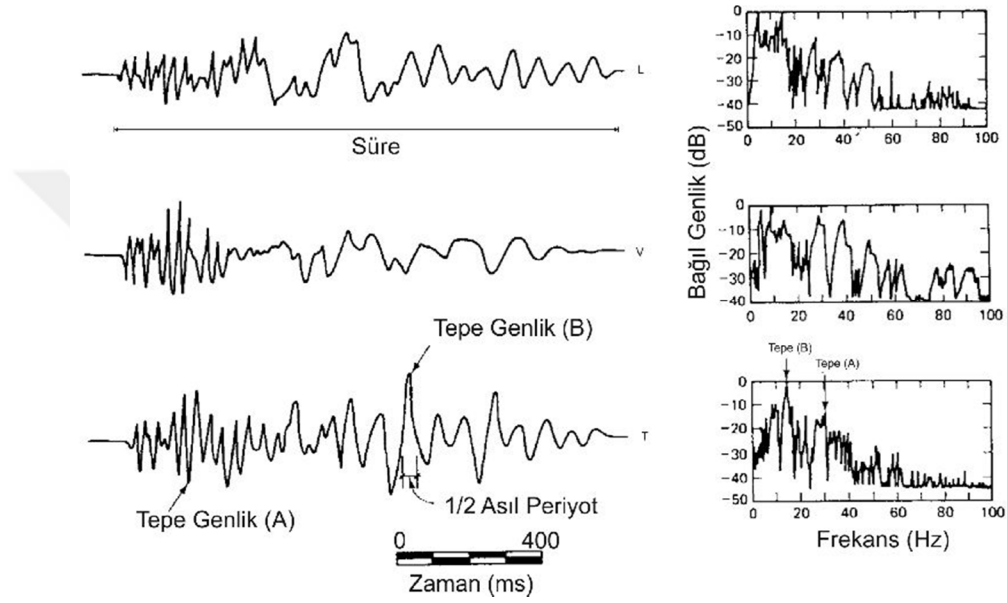
#### ii. Elastik olmayan sönümlenme

Doğada, kaya kütleleri sarsıntı yayılımı için elastik, izotropik ve homojen bir ortam teşkil etmezler. Aksine, geometrik sönümlenmeye ilave olarak dalga yayılımı sırasında enerji kaybını tetikleyen çok sayıda elastik ve dağıtıcı olmayan etkiler görülmektedir. Elastik olmayan sönümlenme için her biri farklı derecede etkiye sahip çok sayıda sebep vardır. Bunlar;

- Süreksizlik düzlemlerinde ve taneler arası yüzeylerde göreceli hareketten dolayı elastik olmayan bir ortamda yayılma,
- Ortama sıvı akışı nedeniyle doymun kayalarda sönümlenme,
- Çatlaklar içerisinde akış,
- Soğurulmuş uçuculardan kaynaklanan gerilmelerin dağılımı,
- Gözenekli kayalarda veya büyük boşluklarda yansıma,
- Faz değişimleri olan sistemlerde meydana gelen enerji sönümlenmesi vb.'dir (Jimeno ve ark., 1995).

### 2.5.1.3 Tipik patlatma yer sarsıntısı kayıtları

Patlatma faaliyetlerinden elde edilebilecek tipik yer sarsıntısı kayıtları Şekil 2.13'de verilmiştir. Buradan görüleceği üzere yer sarsıntısının zamanla değişiminin tanımlanabilmesi için en önemli parametreler yer hareketinin en büyük genlik (ivme, hız veya yer değiştirme), hakim periyot ve etkiye süresi bileşenleridir. Tüm bu parametreler patlatma için kullanılan patlayıcı miktarına (merkezde açığa çıkan enerji) ve dalga iletim ortamına (zemin özellikleri) bağlıdır. Tünel, açık işletme ve inşaat gibi patlatma faaliyetlerinde, bu parametrelerin değişim aralığı Çizelge 2.2'de verilmektedir.



Şekil 2.13 Bir patlatmada parçacık hızlarının zamana bağlı değişimi (Stagg ve Engler, 1980).

Çizelge 2.2 Yer sarsıntısı parametrelerinin değişim aralığı (Cording ve ark., 1975)

Parametre	Değişim aralığı
Yer değiştirme	$10^{-4}$ -10 mm
Parçacık hızı	$10^{-4}$ - $10^3$ mm/s
Parçacık ivmesi	$10$ - $10^5$ mm/s <sup>2</sup>
Atım sürekliliği	0,5-2 s
Dalga boyu	30-1500 m
Frekans	0,5-200 Hz
Birim deformasyon	3-5000 $\mu$ (inç/inç)

Patlatma nedeni ile oluşan yer sarsıntısının hız, ivme ve yer değiştirme bileşenlerinin en büyük değerleri ve zamanla değişimleri patlatma merkezinden uzaklık ile patlatma enerjisine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Pratik çalışmalarda, yapılar üzerindeki etki incelenirken elde edilen en büyük genlik değerleri kullanılmaktadır. Bunlar; en büyük ivme, en büyük hız ve en büyük yer değiştirme değerleridir (Dowding, 1985).

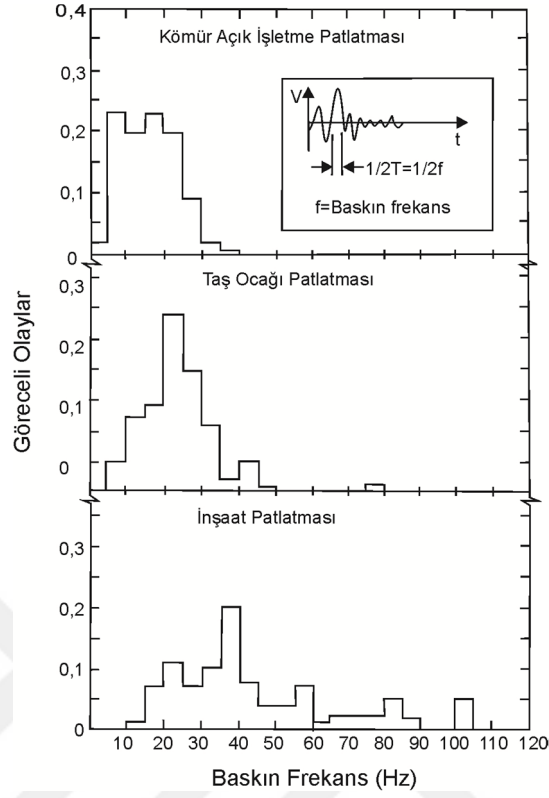
Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının frekans özellikleri başlıca iki unsurdan etkilenmektedir. Bunlar jeolojik yapı (kayaç türleri) ve gecikmeli ateşlemelerde gecikme aralığıdır (Dowding,

1985). Patlatma sahası civarındaki kayaç yapısı ne kadar sağlam ve yoğun ise sarsıntı dalgaları o kadar hızlı yayılmakta, sönümlenme az olmaktadır. Diğer bir deyişle, sarsıntı dalgaları daha uzak yerlere daha az sönümlenerek ulaşmaktadırlar. Böylesine kayaç yapıları iyi elastik özellikler taşıdığı için sarsıntı frekansları yüksek olmakta, uzaklıkla beraber frekans sönümlenmesi de daha az olmaktadır. Aksine, kayaç yapısının zayıf, yoğunluğunun düşük olması durumlarında sarsıntı dalgaları yavaş yayılmakta, daha çabuk sönümlenmekte, buna karşın frekans düşük olmaktadır (İşçen, 1995; Ak, 2006). Bir patlatma işleminde, patlatma delikleri arasında uygulanan gecikme, sismik dalgaların birbiri üzerine binerek daha büyük dalgalar meydana getirmesini önlemek açısından önemlidir (Duvall ve Fogleson, 1962; Langefors, 1963; Aldaş ve ark., 2010). Siskind ve ark. (1983) 10 Hz değerinin altındaki frekansların zeminde büyük yer değişimleri ve yüksek düzeyli birim deformasyonlar oluşturduğunu ve tipik rezonans frekansları 4–12 Hz arasında olan yapılarda çok etkili hasarlara neden olabileceklerini de ifade etmişlerdir.

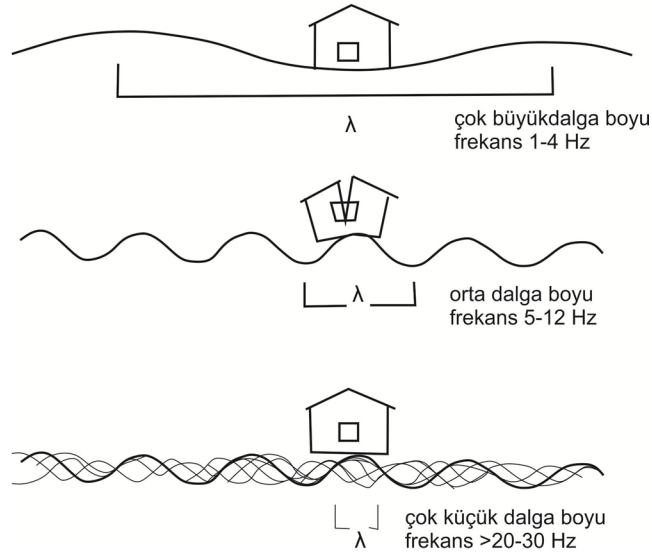
Patlatma sarsıntılarının frekansı 0,5-200 Hz arasında değişmektedir (Cording ve ark., 1975). Fakat birçok patlatmada baskın frekans 200 Hz değerinin çok daha altında sınırlanmaktadır (Şekil 2.14) (Stagg ve Engler, 1980; Arpaz, 2000). Şekil 2.14'de gösterildiği gibi en yüksek genlikle ilişkilendirildiğinde baskın frekans ortama göre değişmektedir. Uzak mesafelerdeki yapılardan ölçüldüğünde büyük patlatmaların yapıldığı kömür açık işletmesindeki baskın frekanslar inşaat sektörü patlatmalarındaki frekanslara göre daha düşük olmaktadır. Bu durum inşaat sektöründe daha az patlayıcı kullanılmasına rağmen daha yakın mesafedeki yapılardan yapılan ölçümlerden kaynaklanmaktadır. Taş ocağı patlatmalarından ortaya çıkan yer hareketlerinin tepe değerleri yaklaşık olarak 20 Hz civarındadır (Stagg ve Engler, 1980). Baskın frekans elle hesaplanabildiği gibi Fourier spektrumu yardımıyla da hesaplanabilmektedir (Şekil 2.14).

Patlatma sahası civarındaki şikâyetlerin çoğu sarsıntının tamamen düşük frekans özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Çünkü insanlar düşük frekanslı dalgaları kolayca hissedebilmektedir. Frekans yüksek olduğunda ise insanların bunları algılaması çok zordur ve bu nedenle fazla endişeye kapılmazlar. Ayrıca 10 Hz değerinin altındaki frekanslar zeminde büyük yer değişimleri ve yüksek düzeyde birim deformasyonlar yarattığı ve yapıların öz yapısal frekanslarına yakın oldukları için hasar olasılığını da artırır. Binalarda hasar olasılığı, zeminde patlatmanın oluşturduğu uyarıcı dalgaının frekansı ile söz konusu doğal (öz yapısal) frekansının birbiri ile olan ilişkisine bağlıdır. Patlatmalarda en kritik durum zemindeki uyarıcı dalgaının frekansının, bir veya iki katlı binalarda genellikle 5-10 Hz arasında değişen bina öz yapısal frekansına eşit veya ondan biraz daha büyük olduğunda oluşur. Bu durumda bina rezonansa girer ve zemindeki uyarıcı (yer sarsıntısı) dalga geçip gittiği halde bina sarsılmaya devam eder. İşte insanların hissedip, endişeye kapılmalarına neden olan da budur. Bina rezonans halindeyken, parçacık hızı sınır değerlerinin oldukça altında ise binada hasar oluşmaz ama kişiler rahatsız olur. Fakat bina rezonans halindeyken parçacık hızı da yeterli genlikte ise binada hasar oluşur. Bir diğer durum zemindeki uyarıcı dalgaının genliği tam yeterli düzeyde olmasa bile rezonans halindeki

binanın bu genliği bir kaç kat arttırması sonucu bina yine de hasar görebilir. Şekil 2.15'de farklı frekanslı dalgaların binalar üzerindeki etkileri verilmiştir.



Şekil 2.14 Çeşitli patlatmalarda baskın frekans histogramları (Siskind ve ark., 1980).

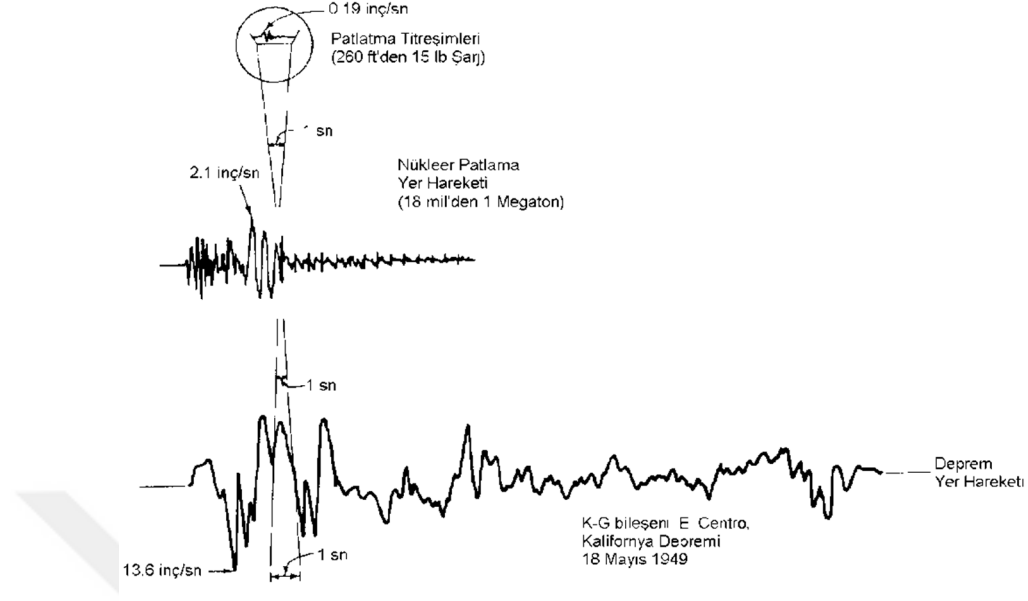


Şekil 2.15 Farklı frekanslı dalgaların binalar üzerindeki etkileri (Alpaydın ve ark., 2004).

Patlatma, deprem ve nükleer patlama kaynaklı yer sarsıntıları birbirlerinden farklılıklar göstermektedir (Şekil 2.16). Gerçek sismik etkinliği belirlemek için patlatmaları deprem ve nükleer patlamalardan ayırmak gerekmektedir. Bir bölgeye yerleştirilen ivmeölçerlerle o bölgede meydana gelen hem deprem aktivitelerini hem de maden patlatmalarını kaydetmek mümkündür.



Ancak bu verilerin birbirlerinden ayırt edilmesi son derece önemlidir. Bu amaçla farklı yöntemler uygulanır.



**Şekil 2.16** Patlatma sarsıntılarının nükleer patlama ve deprem sarsıntılarını ile karşılaştırılması (Dowding, 1996).

Hudson ve ark. (1961) toplam yük ağırlığı 185-673 ton arasında değişen iki taş ocağı patlatmasından 2000 fitten daha uzaklıkta meydana gelen yer sarsıntılarının ivme kayıtlarını almışlardır. Patlatmalar, Kaliforniya'da Corona civarındaki bir dasit profit mermer (somaki mermeri) ocağında yapılmıştır. Hudson ve ark. (1961) elde ettikleri sismogramların hız spektrum analizlerini yapmışlar ve spektrumların, kısa süreli bir depremden elde edilen spektrumlara birçok açıdan benzer olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca, depremlere kıyasla patlatmaların yayılım yollarının nispeten basit olmasından dolayı genellikle basit bir spektrum şekli sergilediğini ortaya koymuşlardır. Sonuç olarak, depremler ve patlatmalarla oluşan yer sarsıntılarının neden olduğu hasar mekanizmaları arasında temelde hiçbir farkın olmadığı şeklinde yorum yapmışlardır.

Wüster (1993) Vogland bölgesi (Almanya/Çek Cumhuriyeti) için L/P ve L/R, Baumgard ve Young (1990) Norveç'in batısı için P/S ve P/L dalga oranlarını kullanarak deprem ve patlatma kaynaklı yer sarsıntılarını ayırt etmişlerdir. Maksimum S/P dalgası genlik oranlarının hesabında, her sismik olay için düşey bileşen hız sismogramlarından maksimum P dalgası ve maksimum S dalgası genlik değerleri okunarak oranlanmaktadır. Maksimum S/P dalgası genlik oran değerlerinin, maksimum S dalgalarının logaritmalarına (logS) karşılık çiziminden doğrusal ayırt etme fonksiyonu geçirilerek deprem ve patlatma olayları birbirinden ayırt edilebilmektedir.

Gitterman ve Shapira'da (1994) sismik enerjiye ait spektrumun alçak ve yüksek frekanslarını oranlayarak (1-3 Hz/6-8 Hz) deprem ve patlatma kaynaklı yer sarsıntısı analizi yapmışlardır. Sismogramda tanımlanan iki zaman penceresinin güçlerinin oranı ile spektrumlarının alçak ve yüksek frekanslı pencerelerinin spektral oranlarının (SR) hesabı yöntemi ile her bir sismik olay

için düşey bileşen hız sismogramlarının iki zaman penceresindeki güçlerinin oranları (C) hesaplanır (Eşitlik 2.13). Düşey bileşen hız sismogramlarının spektrumlarının alçak ve yüksek frekanslı kısımları oranlanarak spektral oran parametresi bulunur (Eşitlik 2.14). Sismogramların iki farklı penceredeki güçlerinin oranlarının sismogramların spektrumlarının düşük ve yüksek frekanslı pencerelerindeki spektral oranlarına karşılık çiziminden doğrusal ayırt etme fonksiyon geçirilerek deprem ve patlatma olayları birbirinden ayırt edilebilmektedir.

$$C = \frac{\int_{t_1}^{t_2} S^2(t) dt}{\int_{t_0}^{t_1} S^2(t) dt} \quad [2.13]$$

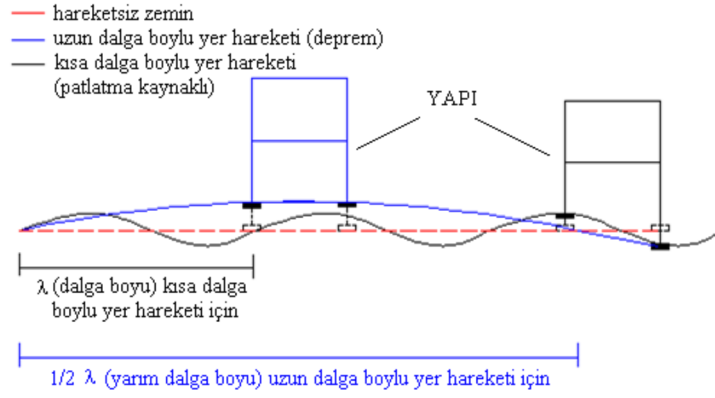
$$SR = \frac{\int_{h_1}^{h_2} a(f) df}{\int_{l_1}^{l_2} a(f) df} \quad [2.14]$$

Burada;

- $t_0$  : Sinyalin başlangıç zamanı (P dalgası varış zamanı)
- $t_1$  ve  $t_2$  : Zaman penceresi aralığı
- C : İki zaman penceresindeki güçlerinin oranları
- $S(t)$  : Sinyal
- $h_1$  ve  $h_2$  : Yüksek frekans
- $l_1$  ve  $l_2$  : Alçak frekans
- SR : Spektral oran

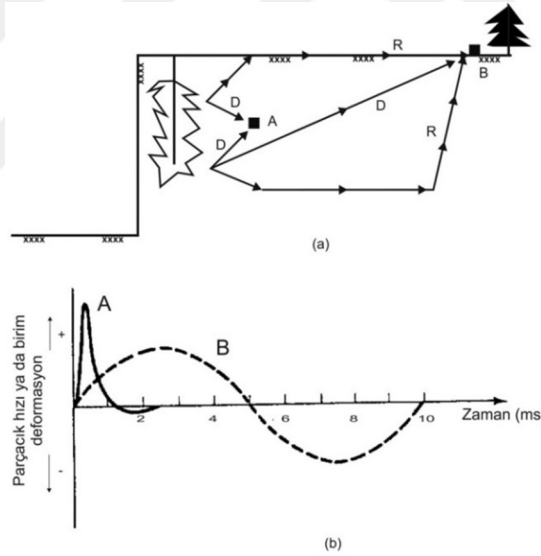
Horasan ve ark. (2009), İstanbul ve civarında, Öğütçü ve ark. (2011) Konya ve civarında ve Kartal ve Horasan (2011) Trabzon ve civarındaki sismik olayları zaman ve frekans ortamında inceleyerek deprem ve patlatma olaylarını istatistiksel olarak ayırt etmişlerdir. Düşey bileşen hız sismogramı ve spektrumunu kullanarak patlatma ve deprem verisini birbirinden ayırmak mümkündür.

Patlatma sarsıntılarının frekansı, deprem ve nükleer patlamalardakinden daha yüksektir ve patlatma sarsıntıları deprem ve nükleer hareketler ile karşılaştırıldığında daha az enerji taşımaktadır (Dowding, 1996). Diğer yandan; bir sarsıntı hareketinin dalga boyu, frekansı ile ters orantılıdır. Bu durumda patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının dalga boyları daha kısadır (Şekil 2.17) (Özmen, 2006).



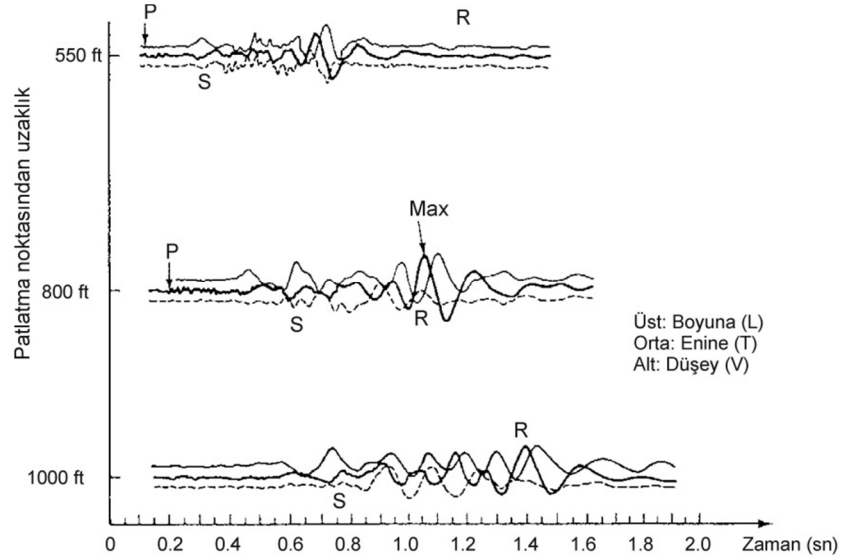
**Şekil 2.17** Farklı dalga boyunda yer hareketlerinin yapıya etkisi (Özmen, 2006).

Patlatma sonucu oluşan sismik dalgaların kısa mesafedeki yer hareketlerinde, yüksek bir genlik değerinden hızlı bir azalma ile ilk değere göre küçük genliklerle değişim gözlenirken; uzak mesafelerde küçük azalmalarla sinüs dağılımına uygun bir hareket gözlenmektedir (Şekil 2.18). Bu etki yaklaşık olarak patlatma basıncının zamanla değişimine benzemektedir. Bu durum, yakın mesafelerde patlatmadan kaynaklanan dalgaların direkt gelmesinden kaynaklanmaktadır (Dowding, 1985; Arpaz, 2000).



**Şekil 2.18** Yakın ve uzak mesafelerdeki patlatma sarsıntılarının izlenmesi (Dowding, 1985).

Patlatma sonucu kısa mesafelerde öncelikli olarak cisim dalgaları oluşmaktadır. Cisim dalgaları küresel hareketlerle başka bir kaya tabakası, toprak veya yüzey tabakasına rastlayıncaya kadar ilerlemektedir. Bu kesişme sonucu makaslama ve yüzey dalgaları oluşmaktadır. Rayleigh yüzey dalgaları daha uzak mesafelerde önem kazanmaktadır. Düşük mesafelere P, S ve R dalga tipi aynı anda gelmekte ve dalga tanımlaması zorlaşmaktadır. Uzun mesafelerde ise daha yavaş olan makaslama ve yüzey dalgaları, basınç dalgalarından kolaylıkla ayırt edilebilmektedir (Dowding, 1985). Fakat birçok patlatmanın; farklı ilerleme yönlerinde ve milisaniyelerle geciktirilmiş küçük patlatmalardan oluşması nedeniyle dalgalar üst üste binmekte ve bu ayrım zorlaşmaktadır (Şekil 2.19).



**Şekil 2.19** Uzaklığa ve zamana bağlı olarak patlatma sarsıntılarının genel formu (Dowding, 1985).

#### 2.5.1.4 Yer sarsıntısını etkileyen parametreler

Yer sarsıntısının şiddeti; kaya kütlesinin fiziksel ve mekanik özellikleri, patlayıcı karakteristikleri ve patlatma tasarımı gibi parametreler tarafından etkilenmektedir (Wiss ve Linehan, 1978). Herhangi bir kaya kütlesinde patlatma enerjisini verimli kullanmak ve patlatma kaynaklı istenmeyen etkileri minimize etmek için bu parametrelerin patlatma üzerindeki etkisini kestirmek önemlidir (Arpaz, 2000; Ak, 2006; Khandelwal ve Singh, 2009). Gecikme başına maksimum şarj, gecikme zamanı, dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, şarj uzunluğu, ateşleme sırası, yemleme tipi ve yeri gibi tasarım parametreleri sismik enerjinin dağılımını önemli ölçüde etkilemektedir (Pal, 2005). Bazı araştırmacılar dilim kalınlığının, diğer tüm tasarım parametreleri üzerinde etkili olduğunu, delikler arası mesafe, sıkılama boyu, delik taban payı, gecikme aralığı, dip şarjı boyu, kolon şarjı boyu gibi diğer tasarım büyüklüklerinin, dilim kalınlığının fonksiyonu olarak ifade edilebileceği ve bu şekilde anlamlı tasarımlar yapılabileceğini vurgulamışlardır (Gustafsson, 1973; Tamrock, 1984; Olofsson, 1988; Arioğlu, 1990; Ash, 1990; Konya ve Walter, 1990; Rustan, 1990; Singh, 1993; Kahrman, 1995; Jimeno ve ark., 1995). Siskind ve ark. (1989) patlatma yer sarsıntısı frekans karakteristiklerinin, gecikme aralığı ve patlatılan kaya yapısına bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Olofsson (1988) yer sarsıntısı karakteristiklerini etkileyen zemin özelliklerini; dalgaların ilerleme hızını belirleyen zeminin elastik sabitleri (elastisite ve makaslama modülü), zeminin tipi, yeraltı suyu seviyesi ve nem, topoğrafya, zeminin karakteristiği olarak açıklamıştır. Diğer yandan, kaya karakteristikleri sahadan sahaya ya da bir basamağın bir yanından diğer yanına geniş ölçüde değiştiği gibi süreksizliklere ve jeolojik yapıya bağlı olarak yönsel olarak da farklılıklar gösterebilmektedir. Sismik dalgalar, homojen ve masif kaya kütlelerinde tek yönde ilerlemekte, daha karmaşık yapılara sahip kaya kütlelerinde ise farklı yönlerde dağılıp ilerleme sağlamaktadırlar. Çünkü kaya birimindeki süreksizlikler, dolgular ve tektonik arızalar dalgaların ilerleme yönünü ve şiddetini değiştirmektedir (Blair ve Spathis, 1982; Cook, 1992; Fournay ve ark., 1997; Hao ve ark., 2001).

Bu nedenle bir maden işletmesinde yapılan patlatma sonucu oluşan yer sarsıntılarının şiddeti yönsel olarak değişik değerler verebilmektedir (Blair ve Spathis, 1982; ISRM, 1992; Jimeno ve ark., 1995; Arpaz, 2000; Arpaz ve Ceylanoğlu, 2001; Aldaş, 2002; Ak, 2006).

Yer sarsıntılarının etkilerini en aza indirmek için patlatma tasarım parametreleri ve patlayıcı karakteristikleri; dayanım, yoğunluk, gözeneklilik, boyuna dalga hızı, empedans, gerilme-deformasyon davranışı, yapısal süreksizliklerin varlığı gibi kaya kütle özelliklerini temel alan optimizasyon yaklaşımlarına ihtiyaç duymaktadır (Singh ve Sastry, 1986; Bilgin, 2005).

#### 2.5.1.5 Ölçekli mesafe kavramı

Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının önceden tahmin edilmesi, yer sarsıntılarının önlenmesinde büyük önem taşımaktadır. Birçok yerde yapılan patlatma çalışmaları yer sarsıntılarının herhangi bir bileşenin en yüksek parçacık hızı (PPV), gecikme aralığı başına düşen maksimum şarj miktarı  $W$  (kg) ve patlatma yerinden olan mesafe  $D$  (m) ile ilişkili olduğunu göstermiştir (Duvall ve Devine, 1972). Ladegaard-Pedersen ve Dally (1975) yapmış oldukları literatür çalışmalarında; tipik patlatmaların, geometrik ve jeolojik şartlardaki değişimler nedeniyle, en iyi yer sarsıntısını tahmin şeklinin, gerçek atımların gözlenmesi sonucu elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Öne sürülen çeşitli ampirik ilişkilerden en çok ölçekli mesafe ve sarsıntı hızını esas alan yaklaşımlara güvenilmektedir.

Ölçekli mesafe; yer hareketlerinin değişik uzaklıklardaki patlatma seviyelerinin miktarları ile ilişkili olan bir kavramdır. Ölçek, uzaklığa bağlı olarak kullanılan birimsiz bir faktördür. Ölçekli mesafe, uzaklık ve sismik dalgaların temelini etkileyen veya hava şoklarındaki enerjiyi yaratan patlayıcı madde miktarı kullanılarak ortaya konulmuş bir kavramdır. Kayada meydana gelen dalga hareketlerini yaratan toplam enerji, bir seferde ateşlenen patlayıcı madde miktarına bağlı olarak değişmektedir. Patlatma kaynağından itibaren oluşan dalgalar ileriye doğru yayılırken, basınç dalgası etkisinde kalan kaya hacmi artmaktadır. Ölçekli mesafe, sismik gelişimi ve hava şoku enerjisini etkileyen gecikme başına şarj miktarı ve patlatma ile ölçüm noktası arasındaki mesafenin kombinasyonlarından türetilmektedir.

Parçacık hızını, ölçekli mesafeye bağlı olarak tahmin etmeyi esas alan yaklaşımlar, yer sarsıntısı ölçüm aletlerinin gelişmesi ve kullanılmaya başlanmasıyla ortaya atılmıştır. Literatürde ölçekli mesafenin belirlenmesinde en sık kullanılan formül Eşitlik 2.15'de verilmektedir.

$$SD = \frac{D}{\sqrt{W}} \quad [2.15]$$

Burada;

- $SD$  : Ölçekli mesafe
- $D$  : Patlatma noktasından uzaklık (m)
- $W$  : Gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı (kg)

Açık ocak çalışmalarında kullanılan şarj şeklinin genel olarak silindirik olması nedeniyle (şarj boyu-delik çapı oranı  $\geq 6$  ise silindirik,  $< 6$  ise küresel şarj olarak kabul edilmektedir), kolon şarjından oluşan dalgalar bu silindirin genişleyen biçimiyle ilerler. Bu basınç silindirinin hacminin, yarıçapının karesiyle değiştiği kabul görmüş bir yaklaşımdır. Buradan hareketle ve yapılan araştırmalar sonucu ölçekli mesafe için;  $SD=D/W^{0.5}$  şeklindeki ampirik ilişki geniş bir kabul görmüştür.  $SD=D/W^{0.33}$  ilişkisi de yine birçok araştırmacının kullandığı bir formüldür (Gustafsson, 1973; Dick ve ark., 1983; Olofsson, 1988; Konya ve Walter, 1990; Hoek ve Bray, 1991; Johnston ve Durucan, 1994).

### 2.5.2 Hava şoku ve gürültü

Patlatma kaynaklı hava şoku, patlatmalar tarafından oluşturulan yüksek basınç dalgalarıdır. Hava şoku, patlatma kaynağı yanında geniş frekans alanına sahip (20-20000 Hz) dalgalar oluşturur. Basınç dalgalarının yüksek frekanslı kısmı bir patlatmaya eşlik eden duyulabilir gürültü (ses)'dür. Düşük frekanslı kısmı ise duyulamaz ancak yapıları tahrik eder ve yapı içinde tıkrıtı duyulur. Patlatma kaynağından olan uzaklık arttıkça yüksek frekanslar daha kolay sönmüldüğünden dolayı kaynaktan daha uzak mesafelerde enerjinin çoğu ortalama insan kulağının tepki vermeyeceği düşük frekansa (15 Hz'den düşük) sahip olmaktadır. Ancak çoğu yapılar 15 Hz'den daha düşük doğal frekansa sahip olduklarından, bu düşük frekanslara kolayca tepki vermektedirler (Bhandari, 1997).

Ses dalgaları ortamın elastisitesi ve kütle özelliklerine bağlı olarak meydana gelmektedir. Havadaki gaz molekülleri oldukça düzenli bir şekilde dağılmakta ve rastgele hareket halinde bulunmaktadır. Normal atmosferik koşullar altında hava 1 atmosfer basınç ve  $1,2 \text{ kg/m}^3$  yoğunluktadır. Ses dalgalarının yayılım mekanizması, bir molekülden diğer bir moleküle moleküler yer değiştirme sırasında momentum transferi şeklinde açıklanmaktadır. Değişik hava koşulları altında ve kötü patlatma uygulamalarında hava şokları oldukça yüksek mesafelere ulaşabilmektedir.

Patlatmadan kaynaklanan hava şoklarına neden olan önemli etkenler aşağıda verilmektedir.

- i. Gereğinden fazla şarj edilmiş delikler
- ii. Zayıf sıkılama
- iii. Açıktaki infilaklı fitil
- iv. Uygun olmayan dilim kalınlığı
- v. Kayadaki çatlaklardan gaz kaçıışı

Ses basınç ya da desibel (dB) olmak üzere iki farklı birim ile ifade edilebilmektedir. Hava şoku, basınç ya da ses ölçerler kullanılarak ölçülebilmektedir. İnsan kulağıyla duyulabilen yaygın aralıklı genlikler ve frekanslardan dolayı akustik mühendisleri sesi desibel terimi ile ifade etmektedir. Ses basıncı Eşitlik 2.16 kullanılarak desibele çevrilebilmektedir.

$$dB = 20 \log \left( \frac{P}{P_0} \right)$$

[2.16]

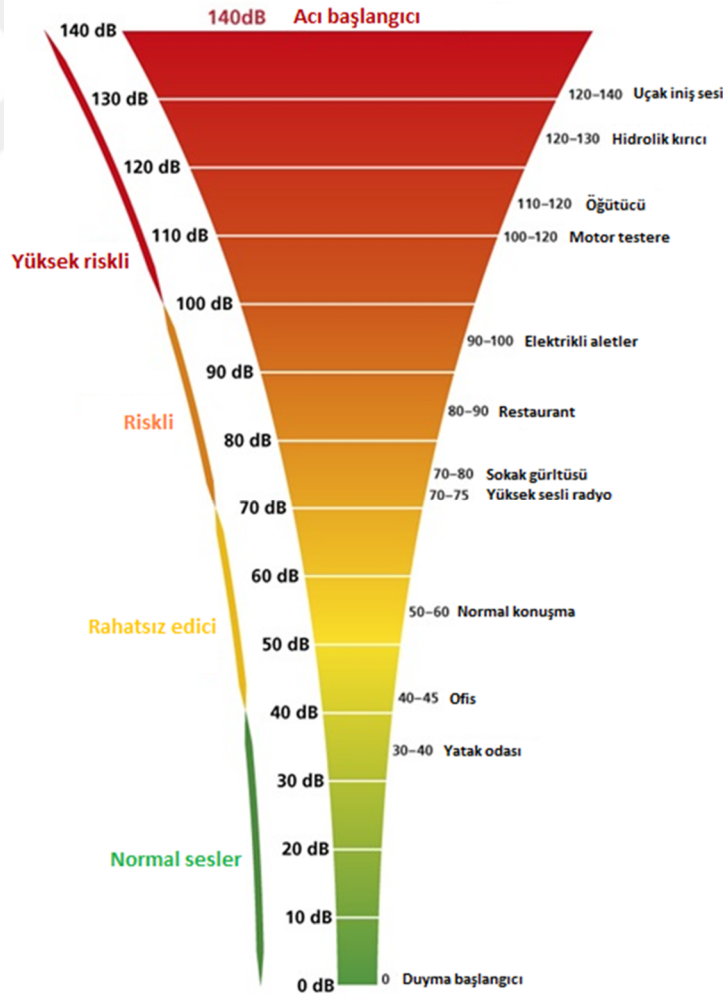
Burada;

$P$  : Ölçülen tepe ses basıncı

$P_0$  : Referans ses basıncı ( $20 \times 10^{-6}$  Pa veya  $2,9 \times 10^{-9}$  lb/inç<sup>2</sup>)

Hava şoku dalgasının yayılması sıcaklık, rüzgar ve yükseklik gibi atmosferik ve topoğrafik koşullara bağlıdır. Belirli bir uzaklıktaki bulut kapallılığı bile bazen basınç dalgasının yere yeniden yansımaya neden olur (Hoek ve Bray, 1991).

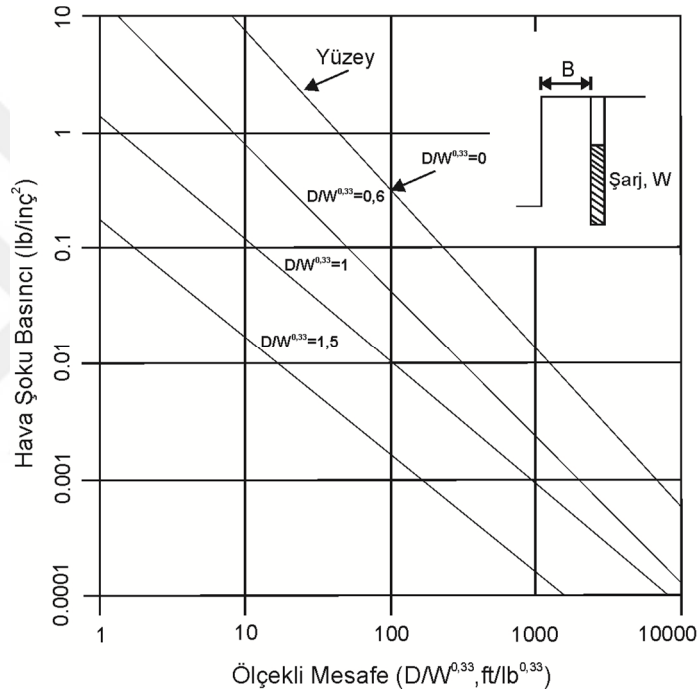
Günlük olaylardaki ses düzeyleri ve ses basınç değerleri Şekil 2.20'de verilmiştir. Patlatmaların duyulabilen bölümlerinin şiddeti, havalı kırıcılar ile uçağın yere inmesi sırasında çıkardığı gürültü arasında yer almaktadır. Dowding (1985) L (lineer-doğrusal) tip algılayıcı ile ölçüldüğünde, çoğunlukla pencere camlarının kırıldığı gürültü değerlerinin, 136-140 dB aralığında değiştiğini belirtmiştir. ABD'de (USBM ve OSM kuralları) yapılan yasal düzenlemelerle 140 desibele karşılık gelen hava şoku düzeyi hasar başlangıç ve gürültü üst sınırı olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.20 Günlük olaylardaki ses düzeyleri ve ses basınç değerleri (Anonim6, 2018).

Hava şoku etkisinin mesafeyle azalma faktörü ( $K_r$ ) Eşitlik 2.17'ye göre bulunabilmektedir (Hoek ve Bray, 1991). Hava şoku etkisinin uzaklıkla azalımı ölçekli mesafe kavramı ile ifade edilmektedir. ABD Madencilik Bürosu tarafından yaptırılan çalışmalar sonucu, hava şoku basıncının ölçekli mesafeyle ilişkisi ortaya konulmuştur (Şekil 2.21). Bu şekilde yapılan tahminler, yaklaşık değerler vermektedir. Herhangi bir yerdeki gerçek hava şoku ve gürültü seviyeleri atmosferik ve topoğrafik şartlarla birlikte atım geometrisine bağlı olmaktadır. Bu nedenle çok ciddi şikayetlerin yaşandığı bölgelerde, bu tahminlere ek olarak hava şoku ölçümlerinin yapılması gerekmektedir (Arpaz, 2000).

$$K_r = \frac{D}{\sqrt[3]{W}} \quad [2.17]$$



Şekil 2.21 Hava şoku basıncının ölçekli mesafeye göre değişimi (Hoek ve Bray, 1991).

Kahriman ve ark. (1996) sölestit açık işletmesi basamak patlatmasında ölçtükleri gürültü değerleriyle ölçekli mesafe değerleri arasında ilişki elde etmek amacıyla regresyon analizi yapmışlar ancak çok düşük korelasyon katsayılı olmaları nedeniyle bu fonksiyonların kullanılmasını önermemişlerdir. Diğer yandan, gürültü değerleri ile şarj miktarı ve uzaklık arasında bir ilişkinin var olduğu düşüncesi ile 47 atıma ait değerleri aşamalı bir şekilde çoklu regresyona tabi tutmuşlardır. Bu analiz sonucunda elde ettikleri anlamlı ve oldukça yüksek korelasyon katsayılı ( $R^2=0,93$ ) ilişki Eşitlik 2.18'de verilmektedir.



$$N = 0,05603W + 18012,6\left(\frac{1}{D}\right)$$

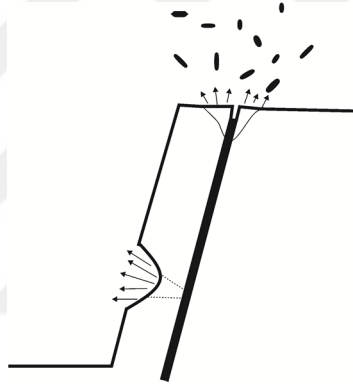
[2.18]

Burada;

- $N$  : Gürültü (dB)  
 $W$  : Gecikme başına şarj miktarı (kg)  
 $D$  : Mesafe (m)

### 2.5.3 Kaya fırlaması ve toz

Patlayıcı maddenin kaya kütlesi içinde iyi bir şekilde hapsedilmediği durumlarda, patlama sonucu oluşan yüksek basınçlı gaz ürünler bulabildikleri çatlaklardan atmosfere erken deşarj olmaktadır. Çok yüksek hızla oluşan gaz boşalımı kaya kütlesinde bir kısım yırtılmalara neden olmakta ve beraberinde kaya parçalarını da hareketlendirmektedir. Böylece savrulan kaya parçaları çevrede tehlikeye sebep olmaktadır (Şekil 2.22).



Şekil 2.22 Patlatma sırasında oluşan taş savrulması (Jimeno ve ark., 1995).

Patlatma ile kayaların kırılması aşamasında bir kısım iç öğütme meydana gelmekte (Jimeno ve ark., 1995) bunun doğal sonucu olarak da toz emisyonu oluşmaktadır.

### 2.6. Literatür Değerlendirmesi

Nicholls ve ark. (1971) PPV tahmini için patlatma şok büyüklüğü (patlayıcı madde miktarı), sönümlenme büyüklüğü (mesafe) ve saha sabitlerini bazalan Eşitlik 2.19'u önermişlerdir.

$$PPV = K * (D/\sqrt{W})^{-\beta}$$

[2.19]

Burada;

- $PPV$  : Tepe parçacık hızı (m/s)  
 $D$  : Ölçüm noktası ile patlatma noktası arasındaki mesafe (m)  
 $W$  : Gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı (kg)  
 $K$  ve  $\beta$  : Saha sabitleri

Siskind ve ark. (1980), maden patlamalarından kaynaklanan yer sarsıntılarının yapılara olan etkisini araştırmak amacıyla, 219 üretim atımının 79 binadaki etkisini belirlemeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, parçacık hızı ile beraber bina frekanslarının da hasar oluşumunda etkili olduğu vurgulanmıştır.

Siskind ve ark. (1989) patlatma yer sarsıntısı frekans karakteristiklerinin, gecikme aralığı ve patlatılan kaya yapısına bağlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Dowding (1985, 1996) taş ocağı, madencilik ve mühendislik faaliyetleri ile nükleer kazalar sonucu oluşabilecek patlamalardan kaynaklanabilecek sarsıntılar üzerinde incelemeler yapmış, yüksek frekanslı yer sarsıntılarının temel özellikleri, yapı üzerinde hasar oluşturma şekilleri ve hasar dereceleri gibi bulgulara ulaşmıştır. Ayrıca yüksek frekanslı yer sarsıntılarının temel parametrelerinin değişik patlayıcı miktarı, uzaklık ve zemin özelliklerine bağlı olarak elde edilmesinde kullanılabilir matematiksel bağıntılar ortaya koymuştur.

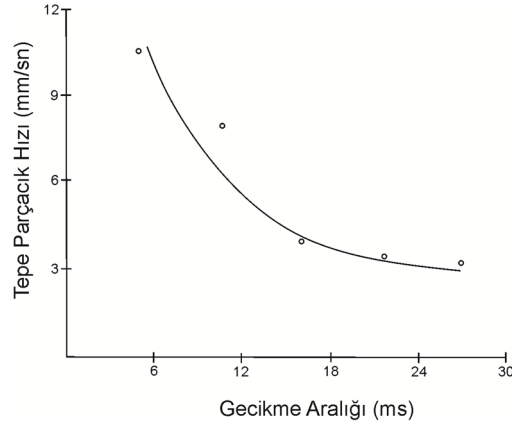
Olofsson (1988), yer sarsıntısı karakteristiklerini etkileyen zemin özelliklerini; dalgaların ilerleme hızını belirleyen zeminin elastik sabitleri (elastisite ve makaslama modülü), zeminin tipi, topoğrafya, yeraltı suyu seviyesi ve nem olarak açıklamıştır.

Olofsson (1988), yapmış olduğu çalışmada parçacık hızını, basınç dalgası yayılma hızı ve zemin cinsine göre binada meydana gelebilecek hasar düzeylerine bağlı olarak sınıflandırmıştır. Bu sınıflandırmaya göre kumlu ve killi zeminlerde 40 mm/s, yumuşak kireç taşı zeminlerde 80 mm/s ve granit, kuvarsit ve kumtaşı zeminlerde 150 mm/s ve üzerinde parçacık hızları, yapılarda hasarlar meydana getirmektedir.

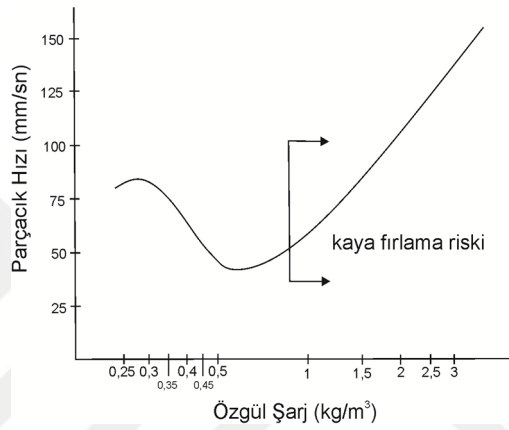
Konya ve Walter (1990) yer sarsıntılarının tahmin ve kontrolünün düşünüldüğünden çok daha karmaşık olduğunu ve gecikmedeki patlayıcı madde miktarının azaltılması ve 8 ms gecikme aralığının kullanılmasıyla yer sarsıntılarının kontrol altına alınması modasının geçtiğini ifade etmektedir. Bu nedenle, patlatma tasarım parametrelerinin yer sarsıntıları üzerindeki etkilerinin de araştırılarak yer sarsıntılarının kontrol altına alınması gerektiğini belirtmektedir.

Yer sarsıntısının azaltılmasına yönelik olarak Duvall ve Fogleson (1962) kireçtaşı ocaklarında yapmış oldukları çalışmalarda 8 ve 9 ms gecikme önermişlerdir. Langefors (1963), yersarsıntısı periyodunun 3 katından daha fazla gecikme aralığında yapılan bitişik atlatma delikleri arasında bir sarsıntı etkileşiminin olmayacağını ifade etmiştir. Wiss ve Linehan (1978) ise üst üste binerek büyüme oluşumunu önlemek için 17 ms gecikme aralığının verilmesini önermişlerdir. Nobel patlayıcı firması tarafından yapılan çalışmalar ise 25 ms gecikme aralığında sarsıntı seviyelerinin istenilen düzeyde olduğu belirlenmiştir (şekil 2.23) (Jimeno ve ark, 1995).

Jimeno ve ark (1995), özgül şarj miktarının optimum seviyeden %20 azaltılması sonucu yer değiştirme ve şişme enerjisine yol amayan patlamalar kaydedildiğini, ilaveten ölçülen yersarsıntısı seviyelerinin iki veya üç kat daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir (şekil 2.24). şekle göre özgül şarjin optimum seviyeden yükselmesi durumunda da yine yersarsıntısının ve kaya fırlaması risklerinin arttığı da görülmektedir.



**Şekil 2.23** Parçacık hızı-gecikme aralığı ilişkisi (Jimeno ve ark, 1995).



**Şekil 2.24** Parçacık hızı-ölgül şarj ilişkisi (Jimeno ve ark, 1995).

Özkahraman (1994), ölgül şarj üzerinde, süreksizlik yönelimlerinin de etkili olduğunu ve ölgül şarj değerlerinin; süreksizlik yönelimlerinin, basamak aynasına paralel olduğu durumlarda yer sarsıntısının minimum olduğunu ifade etmektedir.

Fourney ve ark. (1997), çatlak düzlemleri ve tabakalanma düzlemleri gibi jeolojik süreksizliklerin, patlatma kaynaklı yer sarsıntısı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Yazarlar çalışma sonucunda, bu süreksizliklerin genişliği arttıkça yersarsıntısındaki düşüşün arttığını belirtmişlerdir.

Arpaz ve Ceylanoğlu (2001), belirli bir kaya biriminde değişik şarj miktarları kullanılarak oluşturulan yer sarsıntısı ve hava şoku parametrelerini farklı yön ve mesafelerde ölçmüşler ve ölçüm sonuçlarını, ölçüm yönünü de dikkate alarak literatürde bulunan 11 değişik tepe parçacık hızı tahmin yöntemine göre değerlendirmişlerdir. Yapılan regresyon analizleri neticesinde, parçacık hızı tahmininde sadece patlayıcı madde miktarının ve ölçekli mesafenin değil, aynı zamanda ölçüm yönünün de dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir.

Hao ve ark. (2001), çalışmalarında kaya zemin içerisindeki kılcal çatlakların ve boşlukların patlatmalar sonucu oluşacak sarsıntı hareketi üzerindeki etkisini incelemişlerdir.

Çalışmalarından kaya zemin içerisindeki kılcal çatlakların ve boşlukların, yüksek frekanslı sarsıntıları sönmlemede büyük etkisi olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Prakash ve ark. (2004), süreksizliklerin, patlatma kaynaklı yer sarsıntıları üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla, patlatma bölgesi ve ölçüm istasyonu arasında, önkeme ve hendek oluşturmuşlardır. Yazarlar, önkeme çalışmasında yer sarsıntısının % 23,16 ile % 85,88 arasında azaldığını belirtmişlerdir. Aynı çalışmada, değişik derinliklerde oluşturulan hendeklerin, sarsıntıyı % 16,6 ile % 55,16 arasında azalttığı tespit edilmiştir.

Singh (2004), yapay sinir ağları ve çok değişkenli regresyon modelleri ile yapmış olduğu yer sarsıntısı ve frekans tahminlerinde yapay sinir ağlarının regresyon analizine göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

Wu ve ark. (2004) patlatma sonucu betonarme yapılarda meydana gelen deformasyonların azaltılmasında, yapı temeli altında ince kum tabakası ile izolasyon yapılmasının etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarından kum izolasyonunun yüksek frekanslı sarsıntıları sönmlemede etkili olduğu ve yapıdaki patlatma kaynaklı yer hareketi nedeni ile oluşabilecek deformasyonları büyük ölçüde azalttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Hao ve ark. (2001), çalışmalarında patlatma kaynaklı yer hareketi etkisinde çerçeve sistem yapı davranışlarını ve hasar oluşumunda sarsıntı hareketi frekans özelliğinin etkisini incelemişlerdir. Dinamik yapı davranışlarında yer hareketinin frekansının önemli etkisi olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Yapılarda meydana gelen hasar oluşumunun genel olarak rijit olan bölgelerde (kolon-kiriş birleşim yerleri) ilk katlarda meydana geldiğini belirlemişlerdir.

Singh ve Singh (2005), yer sarsıntılarında ait frekans değerlerini belirlemek için oluşturdukları yapay sinir ağları (YSA) ve regresyon analizlerinde  $R^2=0,905$  ve  $R^2=0,716$  yüksek korelasyon katsayılı parçacık hızı tahmini yapmışlardır. Çalışmalarında giriş parametreleri olarak delik boyu ve çapı, delik sayısı, patlatma noktasından uzaklık, dilim kalınlığı ve delikler arası mesafeyi kullanmışlardır. Yazarlar yer sarsıntısı tahmini için yapay sinir ağları modelinin regresyon analizine göre daha doğru sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Pal (2005) gecikme başına maksimum şarj, gecikme zamanı, dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, şarj uzunluğu, ateşleme sırası, yemleme tipi ve yeri gibi tasarım parametrelerinin sismik enerjinin dağılımını önemli ölçüde etkilediğini ifade etmiştir. Bazı araştırmacılar ise; dilim kalınlığının diğer tüm tasarım parametreleri üzerinde etkili olduğunu, delikler arası mesafe, sıkılama boyu, delik taban payı, gecikme aralığı, dip şarjı boyu, kolon şarjı boyu gibi diğer tasarım büyüklüklerinin, dilim kalınlığının fonksiyonu olarak ifade edilebileceği ve bu şekilde anlamlı tasarımlar yapılabileceğini vurgulamışlardır (Gustafsson, 1973; Tamrock, 1984; Olofsson, 1988; Arıoğlu, 1990; Ash, 1990; Konya ve Walter, 1990; Rustan, 1990; Singh, 1993; Kahrman, 1995; Jimeno ve ark., 1995).

Erarslan ve ark. (2008) yapay süreksizliklerin patlatma kaynaklı yer sarsıntıları üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada, bariyer delikleri ve hendek gibi yapay süreksizliklerin patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının şiddetini azalttığını belirlemişlerdir.

Ak (2006), Ak ve Konuk (2008) bir açık işletmede patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının yayılımında süreksizliklerin etkisini değerlendirmişler, Nicholls ve ark. (1971) tarafından önerilen parçacık hızı tahmin modeline süreksizlik sıklığı ( $\lambda$ ) parametresi eklemişler ve yeni bir parçacık hızı tahmin eşitliği geliştirmişlerdir (Eşitlik 2.20).

$$PPV = 245,975.(SD)^{-1,473} \lambda^{-0,305} \quad (R^2=0,67) \quad [2.20]$$

Khandelwal ve Singh (2006) delik çapı, delik boyu, dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, şarj uzunluğu, her bir delikteki patlayıcı miktarı, ölçüm noktası ile patlatma noktası arasındaki mesafe, patlatılabilirlik indeksi, Young modülü, Poisson oranı, P-dalga hızı, patlayıcı detonasyon hızı ve patlayıcı yoğunluğu değerlerinden yararlanarak patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının tepe parçacık hızı (PPV) ve frekansını ( $f$ ) tahmin için yapay sinir ağları ve çoklu regresyon modelleri oluşturmuşlardır. Yapay sinir ağları modelinden elde edilen değerler ile ölçülen değerler arasında PPV için  $R^2=0,9994$  ve frekans için  $R^2=0,9868$  korelasyon katsayıları elde edilmiştir. Aynı parametreler kullanılarak yapılan çoklu regresyon analizleri sonucunda elde edilen değerler ile ölçülen değerler arasında ise PPV için  $R^2=0,4971$  ve frekans için  $R^2=0,0356$  korelasyon katsayıları elde edilmiştir.

Tang ve ark (2004), delik çapı, derinlik, mesafe, dilim kalınlığı, tek bir delikteki maksimum şarj miktarı, gecikme başına maksimum şarj, sıkılama boyu, toplam şarj, patlatma mesafesi gibi parametreleri kullanarak oluşturdukları yapay sinir ağları modelinde tahmin edilen değerlerin gerçek değerlere daha yakın olduğunu belirlemişlerdir.

İphar ve ark. (2008), regresyon analizi ve ANFIS (Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi) tabanlı programlama teknikleri ile patlatma kaynaklı yer sarsıntısı tahmini yapmışlardır. Yazarlara göre ANFIS tabanlı programlama ile yapılan yer sarsıntısı tahmin sonuçları, klasik yöntemlere göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

Khandelwal ve Singh (2009) delik boyu, dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, her bir delikteki patlayıcı miktarı, ölçüm noktası ile patlatma noktası arasındaki mesafe, patlatılabilirlik indeksi, Young modülü, Poisson oranı, P-dalga hızı ve patlayıcı detonasyon hızı değerlerinden yararlanarak patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının tepe parçacık hızı (PPV) ve frekansını ( $f$ ) tahmin için yapay sinir ağları ve çoklu regresyon modelleri oluşturmuşlardır. Yapay sinir ağları modelinden elde edilen değerler ile ölçülen değerler arasında PPV için  $R^2=0,9864$  ve frekans için  $R^2=0,9086$  korelasyon katsayıları elde edilmiştir. Aynı parametreler kullanılarak yapılan çoklu regresyon analizleri sonucunda elde edilen değerler ile ölçülen değerler arasında ise PPV için  $R^2=0,3508$  ve frekans için  $R^2=0,098$  korelasyon katsayıları bulunmuştur.

Khandelwal ve Singh (2006, 2009) yapay sinir ağları ile tepe parçacık hızı (PPV) ve frekans ( $f$ ) tahmininin oldukça iyi sonuçlar verdiğini, çoklu regresyon analizlerinden elde edilen modellerin yüksek hata payları nedeniyle kullanılamaz olduklarını ifade etmişlerdir.

Mohamed (2009) patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının tahmini için bir, iki ve çok sayıda patlatma değişkeninin giriş parametresi olarak kullanıldığı yapay sinir ağları ile modeller oluşturmuştur. Yazar bir değişkenli modelde ölçekli mesafe, iki değişkenli modelde ölçüm mesafesi ve gecikme başına patlayıcı madde miktarı ve çok değişkenli model de ise delik çapı, dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, basamak yüksekliği, delik eğimi (derece), gecikme başına maksimum patlayıcı miktarı, patlayıcı yoğunluğu, kayaç yoğunluğu, gözeneklilik, basınç dayanımı, elastik modülü, ölçüm mesafesi, detonasyon hızı ve dalga ilerleme hızı gibi parametreleri giriş parametresi olarak kullanmıştır. Yapay sinir ağları modelleri ile yapılan PPV tahminlerinde çok sayıda patlatma parametresinin kullanıldığı modelin, bir ve iki patlatma parametresinin kullanıldığı modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Karakuş (2010), patlatma kaynaklı sarsıntıların belirlenmesine yönelik olarak yaptığı çalışmada, jeolojik faktörlerin hasar kriterlerinde etkili olan yüzey dalgalarının ani eğim değişiklikleri olan arazi topoğrafyasında farklı yayılma karakterizasyonu gösterdiğini ortaya koymuştur. Diğer taraftan sarsıntının yayılma karakterizasyonunu belirleyen patlayıcı miktarı ve mesafe sarsıntı hızı ile doğrusal bir ilişki gösterse de bazı jeolojik ve fiziksel koşullarda patlayıcı miktarı ve mesafe etkileşiminden bağımsız sarsıntının sönümlendiği veya beklenmeyen artışlara neden olduğunu gözlemiştir.

Monjezi ve ark. (2010) patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının tespiti için çeşitli tiplerde yapay sinir ağları modelleri kullanmış ve oluşturulan modeller ile patlatma noktasından olan uzaklık, gecikme başına delik sayısı ve gecikme başına şarj miktarının yer sarsıntısı oluşumunda en etkili parametreler olduğunu belirtmiştir.

Amnieh ve ark. (2010) açık işletmelerde patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının tahmini için sarsıntı verileri kullanılarak oluşturulan yapay sinir ağları modeli oluşturmuşlardır. Yazarlar sarsıntı tahmini için gecikme başına şarj, patlatma noktasından uzaklık, sıkılama boyu, delik-sıra sayısı gibi patlatma parametrelerini kullanmışlardır.

Kamali ve Ataei (2010) yapay sinir ağları modeli aracılığıyla gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı, toplam şarj miktarı, patlatma noktasından olan uzaklık, patlatma yönü, delik boyu, delik sayısı, toplam gecikme miktarı, gecikme süresi ve özgül şarj ortalamalarını kullanarak PPV tahmini yapmışlardır.

Mesec ve ark. (2010) 3 farklı jeolojik dayanım indeksine (GSI) sahip değişik kayaçların bulunduğu sahalarda yapmış oldukları ölçümlerde, her bir grup için farklı tepe parçacık hızı ve ölçekli mesafe ilişkisi belirlemişlerdir (Eşitlik 2.21-2.23).

I. grup (Kumtaşı, kireçtaşı; GSI=30-37)

$$PPV = 2023 * SD^{-1,5} \quad (R^2=0,83) \quad [2.21]$$

II. grup (Kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı; GSI=43-45)

$$PPV = 884 * SD^{-1,4} \quad (R^2=0,90) \quad [2.22]$$

III. grup (Mermer, dolomitik kireçtaşı, kireçtaşı; GSI=50-55)

$$PPV = 349 * SD^{-1,38} \quad (R^2=0,86) \quad [2.23]$$

Dehghani ve Ataee-Pour (2011) tepe parçacık hızını (PPV, mm/s) belirlemek için dilim kalınlığı (B, m), delikler arası mesafe (S, m), özgül şarj (q, kg/m<sup>3</sup>), patlatma noktasından ölçüm noktasına olan uzaklık (D, m), gecikme başına patlayıcı miktarı (W, kg), gecikme başına delik sayısı (θ) ve sıralar arasındaki gecikme miktarı (De, ms)'ni baz alan Eşitlik 2.24'i önermişlerdir.

$$PPV = \frac{168,85}{De} \left(\frac{q}{W}\right)^{-1,48} B^{-5,64} S^{3,43} D^{-1,22} \theta^{-1,18} \quad (R^2=0,775) \quad [2.24]$$

Fişne ve ark. (2011), bulanık sonuç çıkarım tekniği (FIS) ve istatistiksel analiz ile tepe parçacık hızı tahmini yaptıkları modelde R<sup>2</sup>=0.82 korelasyon katsayısı ile PPV tahmini yapmışlardır. Yazarlar modellerde giriş parametresi olarak şarj miktarı ve patlatma alanından olan uzaklık değerlerini, çıkış parametresi olarak PPV değerlerini kullanmışlardır. Yazarlar bulanık mantık ile oluşturulan modelin daha yüksek korelasyon katsayısı ile (R<sup>2</sup>=0.96) tahmin değerlerinin gerçek değerlere daha yakın olduğunu belirtmişlerdir.

Mohamed (2011), 162 adet veri kullanarak yapay sinir ağları ve bulanık mantık ile tepe parçacık hızı tahmini yapmıştır. Yazar modelde gecikme başına patlayıcı miktarı ve patlatma şev aynasına olan uzaklık değerlerini giriş parametresi olarak kullanmıştır. Yazar YSA modelinde R<sup>2</sup>=0.94, Bulanık mantık modelinde R<sup>2</sup>=0.90 korelasyon katsayısı ile tahmin yapmıştır.

Alvarez-Vigil ve ark. (2012), RMR, patlatma kontrol noktası göreceli diziliş (G, °), ölçüm noktası ile patlatma noktası arasındaki mesafe (D, m), delik çapı (Dh, mm), delik boyu (H, m), delikler arası mesafe (S, m), dilim kalınlığı (B, m), gecikme başına şarj miktarı (W, kg), toplam şarj miktarı (T, kg), delik sayısı (θ) ve patlayıcı detonasyon hızı (VOD, km/s) değerlerinden yararlanarak patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının tepe parçacık hızı (PPV, mm/s) ve frekansını (f, Hz) tahmin için yapay sinir ağları ve çoklu regresyon modelleri oluşturmuşlardır. Yapay sinir ağları modelinden elde edilen değerler ile ölçülen değerler arasında PPV için R<sup>2</sup>=0,98 ve frekans için R<sup>2</sup>=0,95 korelasyon katsayıları elde etmişlerdir. Aynı girdi değerlerini kullanarak önerdikleri çoklu regresyon denklemlerinden elde edilen değerler ile ölçülen değerler arasında ise PPV için R<sup>2</sup>=0,98 ve frekans için R<sup>2</sup>=0,90 korelasyon katsayıları elde etmişlerdir (Eşitlik 2.25-2.26).

$$PPV = 7,3282 + 0,0479RMR - 0,0102G + 0,0024D - 0,0847Dh - 0,2930H + 0,2486S + 0,3448B + 0,044W - 0,0005T + 0,1223\theta - 0,2736VOD \quad [2.25]$$

$$f = 15,5737 - 0,0978RMR - 0,0125G - 0,0092D + 0,0917Dh + 0,058H - 0,4128S + 0,8182B - 0,0551W + 0,0001T + 0,0228\theta + 1,2374VOD \quad [2.26]$$

Ataei ve Kamali (2012), Karoun barajında yapılan patlatmalardan elde ettikleri 29 adet patlatma verisini ile gecikme başına şarj miktarı ve mesafe giriş parametresi olarak kullanılarak ANFIS (Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi) modeli oluşturmuşlardır. Yazarlar parçacık hızı tahmininde ANFIS modelinin daha güvenilir sonuç verdiğini belirtmişlerdir.

Ghasemi ve ark (2013) bulanık mantık modeli ile dilim kalınlığı (B), delikler arası mesafe (S), sıkılama boyu (SB), gecikme başına delik sayısı ( $\theta$ ), gecikme başına patlayıcı miktarı (W) ve patlatma noktasından uzaklık (D) değerlerinden yararlanarak yüksek korelasyon katsayılı ( $R^2=0.95$ ) tepe parçacık hızı (PPV) tahmini yapmışlardır (Eşitlik 2.27).

$$PPV = 8,577 + 4,493B - 2,394S - 0,419SB - 0,250\theta + 0,001W - 0,007D \quad [2.27]$$

Ghasemi ve ark (2016), iki giriş (mesafe ve gecikme başına şarj miktarı) ve bir çıkış (parçacık hızı) parametresi kullanarak oluşturdukları ANFIS modeli ile parçacık hızı tahmini yapmışlardır. Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ile ANFIS modeli performansı artırılarak, yüksek korelasyon katsayısı ( $R^2=0,957$ ) ANFIS-PSO modeli ile elde edilmiş ve tahmin değerleri ile yeni bir eşitlik oluşturmuşlardır. Yazarlar parçacık hızı tahmininde yapay zekâ (ANFIS-PSO) modelinin parçacık hızı tahmininde kullanışlı bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir (Eşitlik 2.28).

$$PPV = 81,078 \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-0.906} \quad [2.28]$$

Monjezi ve ark (2013) gecikme başına patlayıcı miktarı, toplam şarj miktarı, patlatma noktası ve ölçüm noktası arasındaki mesafe değerlerinden yararlanarak YSA modeli oluşturmuşlardır. Yazarlar, patlatma noktası ve ölçüm noktası arasındaki mesafenin PPV üzerinde daha fazla etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Tahmin edilen ve ölçülen parçacık hızı değerlerine ait regresyon katsayısını  $R^2=0.98$  olarak belirlemişlerdir.

Hajihassani ve ark. (2014), emperyalist rekabet algoritması (ICM) ile optimize edilmiş hibrit yapay sinir ağları modeli ve çoklu regresyon ile tepe parçacık hızı tahmini yapmışlardır. Yazarlar parçacık hızı tahmini için modellerde dilim kalınlığı-deliklerarası mesafe oranı, sıkılama boyu, gecikme başına maksimum şarj miktarı, Young modülü, P-dalga hızı, mesafe gibi parametreleri kullanmışlardır. Yazarlar ICA-YSA modelinin daha yüksek doğruluk derecesinde ( $R^2=0,97$ ) tahminler için kullanılabileceğini belirtmişlerdir.



Armaghani ve ark (2015), iki farklı yapay zekâ (YSA ve ANFIS) ve çoklu regresyon tekniklerini kullanarak 109 adet patlatmaya ait veriler ile patlatma kaynaklı yer sarsıntısı tahmini yapmışlardır. Yazarlar sarsıntı tahmini için oluşturdukları modellerde iki giriş parametresi (R, m ve W, kg) ve bir çıkış parametresi (PPV) kullanmışlardır. Yazarlar ANFIS modelinin ( $R^2=0,973$ ) diğer tekniklere göre patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının tahmininde en iyi sonuçları verdiğini belirtmişlerdir.

Ghoraba ve ark (2015), mesafe, delik boyu, sıkılama boyu, gecikme başına patlayıcı miktarı ve dilim kalınlığı-delikler arası mesafe oranı değerlerinden yararlanarak YSA modeli oluşturmuşlardır. Yazarların istatistiksel analiz ile yaptıkları değerlendirmelerde  $R^2=0.662$  regresyon katsayısı ile model oluşturmuşlardır. YSA modelinde ise  $R^2=0.98$  ile yüksek regresyon katsayılı PPV tahmini yapmışlardır.

Mohebi ve ark. (2015), ANFIS tekniği ile yapılan patlatma kaynaklı yer sarsıntısı tahmininin; diğer yöntemlere oranla daha iyi sonuçlar verdiğini ( $R^2=0,93$ ) ve mevcut modelin parçacık hızı tahmininde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Parida ve Mishra (2015), yapay sinir ağları, regresyon analizi ve literatürdeki ampirik eşitliklerle tepe parçacık hızı tahmini yapmışlardır. Yazarlar oluşturdukları modelde giriş parametresi olarak patlatma noktası ve ölçüm noktası arasındaki mesafe ile gecikme başına maksimum şarj miktarını giriş parametresi olarak, parçacık hızını ise çıkış parametresi olarak kullanmışlardır. Yazarlar oluşturdukları modeller ile farklı korelasyon katsayılarında parçacık hızı tahminleri yapmışlardır. Tahmin sonuçları yapay sinir ağları ile oluşturulan modelin ölçülen parçacık hızı değerlerine daha yakın olduğunu göstermiştir ( $R^2=0,898$ ).

Dindarloo (2015), genetik anlatım programlama (GEP) tekniği ile patlatma kaynaklı yer sarsıntısı tahmini yapmıştır. Yazara göre genetik programlama tekniği ( $R^2=0,97$ ) diğer yöntemlere göre (yapay sinir ağları,  $R^2=0,81$ ) daha yüksek korelasyon katsayılı ve daha güvenilir sonuçlar vermektedir.

Kumar ve ark (2016) yapmış oldukları çalışmada tek eksenli basınç dayanımı (TEBD, MPa) ve birim ağırlık ( $\gamma$ ,  $\text{kg/m}^3$ ), değerlerini kullanarak tepe parçacık hız tahmininde bulunmuşlardır. Daha sonra TEBD ile RQD ve GSI arasında kurdukları ilişkilerden yararlanarak TEBD değeri yerine RQD ve GSI değerlerinin kullanılacağı eşitlikleri türetmişlerdir (Eşitlik 2.29-2.32).

$$PPV = \frac{TEBD^{0,642} \times SD^{-1,463}}{\gamma} \quad (R^2=0,78) \quad [2.29]$$

$$PPV = \frac{(-7,91562RQD + 0,12152RQD^2)^{0,642} \times SD^{-1,463}}{\gamma} \quad (RQD > 75) \quad [2.30]$$

$$PPV = \frac{(0,59476RQD + 0,00893RQD^2)^{0,642} \times SD^{-1,463}}{\gamma} \quad (RQD \leq 75) \quad [2.31]$$

$$PPV = \frac{(0,3396 \times 1,02^{GSI} GSI^{1,13})^{0,642} \times SD^{-1,463}}{\gamma} \quad [2.32]$$

Hasanipanah ve ark. (2017), genetik algoritma ve regresyon modelleri ile parçacık hızı tahmini yapmışlardır. Araştırmacılar genetik algoritma tekniğinin parçacık hızı tahmininde kabul edilebilir bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir (Eşitlik 2.33).

$$PPV = -11,82 + (40,58D^{-0,2}) + (6133,6W^{-4,25}) \quad [2.33]$$

Koçaslan ve ark. (2017), uyarlamalı ağ bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) tekniği ile parçacık hızı tahmini yaptıkları modelde; model girdileri olarak gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı (kg), patlatma noktası ile ölçüm noktası arasındaki mesafe (m), dilim kalınlığı (m), delikler arası mesafe (m) ve S dalga hızı (m/s) değerlerini kullanmışlardır. Yazarlar ANFIS tahmin yönteminin diğer tahmin yöntemlerine göre daha iyi sonuç ( $R^2=1$ ) verdiğini ve parçacık hızı tahmininde yüksek doğruluk payı ile kullanılabilecek bir model olduğunu belirtmişlerdir.

Ataei ve Sereshki (2017); lineer olmayan problemlere optimal çözümler sunan yapay zeka tekniklerinden genetik algoritma yöntemini kullanarak, Davies ve ark. (1964) tarafından patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının tahmini için kullanılan eşitliğe (saha karakteristiklerini tanımlayan 2 bağımsız değişkenli ( $k_1, k_2$ )) 3. bir bağımsız değişken ( $k_3$ ) eklemiş ve parçacık hızı tahmini için kullanılabilecek yeni bir model oluşturmuştur (Eşitlik 2.34).

$$PPV = 5028,89D^{-1,81} W^{0,52} \quad [2.34]$$

Samareh ve ark. (2017), yapay zekâ (YSA) ve regresyon analizi ile patlatma kaynaklı yer sarsıntısı tahmini ( $R^2=0,854$  ve  $R^2=0,662$ ) yapmışlardır. Elde edilen veriler daha sonra genetik algoritma destekli bir yapay zekâ modeliyle optimize edilmiştir ve genetik algoritma ile optimize edilen veriler diğer modellere göre daha düşük hata oranıyla belirlenmiştir. Yazarlara göre genetik algoritma ile optimize edilen veriler ile PPV tahmininde beklenenin üzerinde performans elde edilmektedir.

Faradonbeh ve Monjezi (2017), genetik algoritma (gen anlatım programlaması-GEP) ve regresyon analizi ile patlatma kaynaklı yer sarsıntısı tahmini ( $R^2=0,87$  ve  $R^2=0,74$ ) yapmışlardır. Yazarlar genetik algoritma ile optimize edilen veriler ile PPV tahmin modelinin diğer tahmin yöntemlerine göre daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir.

Xue ve ark. (2017), patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının tahmini için dereceli azalma ve en küçük kareler algoritmaları ile destelenen yapay zekâ (ANFIS) modeli oluşturmuşlardır. Tahmin modeli için giriş parametreleri sıkılama boyu, delikler arası mesafe, dilim kalınlığı, patlatma noktasından olan mesafe, delik boyu ve gecikme başına şarj miktarı ve toplam şarj miktarı, çıkış parametresi için ise parçacık hızı verilerini kullanmışlardır. Yazarlar ANFIS modeli ile yapılan tahminin, patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının tahmininde en iyi sonucu verdiğini belirtmişlerdir.

Sheykhi ve ark. (2018), son yıllarda patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının tahmini için kullanılan yapay zekâ modellerinin önemine dikkat çekmiş ve yapay zekâ destekli hibrit bir model (bulanık mantık kümeleme metodu) ile farklı tahmin modellerini (destek vektör regresyonu-SVR ve

Amerikan Madencilik Bürosu-USBM tarafından önerilen eşitlik) karılatırmıtır. Yazarlara göre destek vektör regresyon analizi (SVR) veri kümeleme metotlarının patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının tahmininde en iyi sonuçları verdiğini belirtmişlerdir.

Mokfi ve ark. (2018), patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının tahmini için yapay zekâ (veri işleme grup yöntemi) destekli bir model oluturmulardır. Tahmin modeli için giriş parametreleri sıklama boyu, özgül şarj, dilim kalınlığı, patlatma noktasından olan mesafe, delik boyu ve gecikme başına şarj miktarı, çıkış parametresi için ise parçacık hızı verilerini kullanmışlardır. Yazarlara göre yapay zekâ (veri işleme grup yöntemi) patlatma kaynaklı etkiler yer sarsıntısı tahmininde etkili bir yöntem ( $R^2=0,911$ ) olduğunu belirtmişlerdir.

Hasanipah ve ark. (2018), patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının tahmini için kullanılan ampirik metotların yeterli olmadığına dikkat çekmiş ve patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının tahmini için emperyalist rekabetçi algoritma ile dizayn edilmiş bir yapay zeka (bulanık mantık) modeli oluturmulardır. Yazarlar çalışmalarında kullandıkları bulanık mantık-emperyalist rekabetçi algoritma modelinin patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının tahmininde en iyi sonuçları ( $R^2=0,942$ ) verdiğini belirtmişlerdir.

Bugüne kadar yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu saha bazında PPV tahminine yönelik denklemlerin oluşturulması ve saha sabitlerinin belirlenmesi, yapay sinir ağları, ANFİS ve çoklu regresyon analizleri ile PPV ve frekans tahmini şeklinde gelimitir. Bu çalışmada diğerlerinden farklı olarak saha bazında PPV'nin yönsel değişimi incelenmiş, be farklı sahadan elde edilen verilerden hareketle ANFİS, genetik algoritma ve çoklu regresyon analizi ile PPV ve frekans tahmini için modeller oluşturulmuştur.

### 3. ÇALIŞMADA KULLANILAN CİHAZLAR VE YÖNTEMLER

Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının oluşum ve gelişiminde kaya kütle ve madde özelliklerinin etkilerini belirlemek amacıyla sürdürülen bu çalışmada, patlatma kaynaklı etkiler yer sarsıntı-hava şoku ölçer ve ivmeölçer cihazları ile kaydedilmiş, patlatma sahası civarındaki yeraltı jeolojik yapısı geleneksel saha çalışmaları yanında elektrik özdirenç, sismik kırılma, tomografi ve yüzey dalgası analizi gibi jeofizik yöntemlerle belirlenmeye çalışılmıştır.

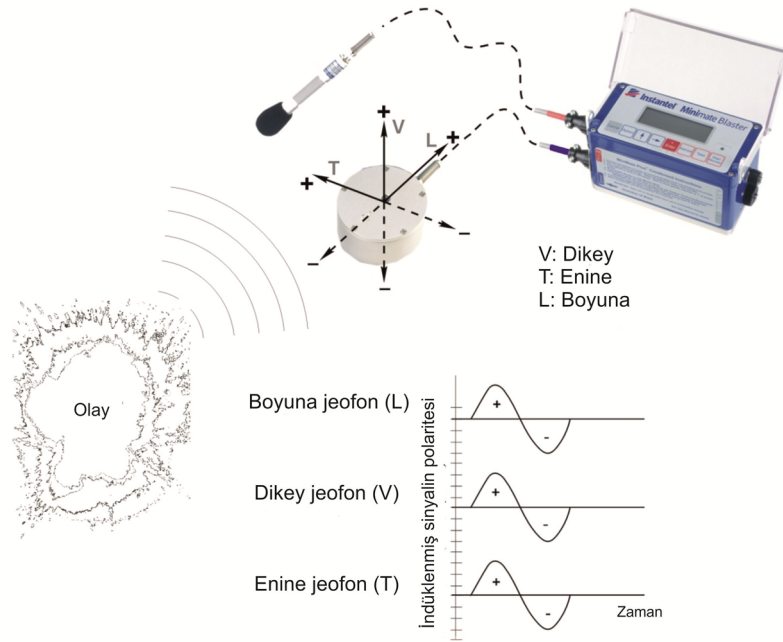
#### 3.1 Yer Sarsıntısı-Hava Şoku İzleme Sistemleri ve Ölçüm Teknikleri

Yer sarsıntısının parçacık hızı ve ivmesini ölçmek için yaygın olarak iki tür cihaz kullanılmaktadır (Srbulov, 2010). Bunlardan birincisi parçacık hızı ve hava şoku ölçer, diğeri ise ivmeölçer olarak adlandırılmaktadır. Bu cihazlar yer sarsıntı parametrelerinden (hız ve ivme) sadece birini doğrudan ölçebilmekte, diğeri integral ve/veya türev alınarak matematiksel olarak türetilmektedir.

Kullanılan ölçüm cihazlarının özellikleri ölçümlerin sonuçlarını etkileyebilmektedir. Bu nedenle ölçüm yapılan özel bir duruma ait doğru sonuçları elde etmek için söz konusu cihaz özelliklerinin nasıl seçileceğinin bilinmesi gerekmektedir (Srbulov, 2010).

##### 3.1.1 Patlatma kaynaklı yer sarsıntısı ve hava şoku ölçümü

Patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntısı ve hava şoku ölçümleri için kullanılan ideal bir yer sarsıntısı ve hava şoku izleme sistemi veri toplama-işleme ünitesi ile jeofon, mikrofon ve bağlantı kablolarından ibarettir (Şekil 3.1).

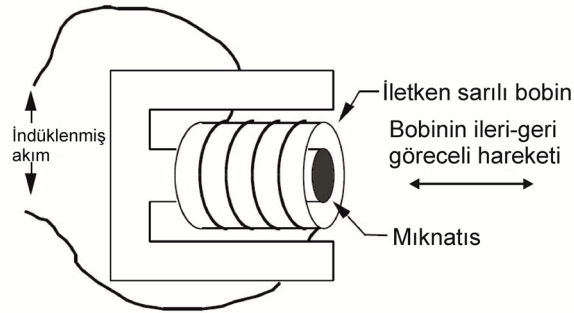


Şekil 3.1 Yer sarsıntısı ve hava şoku ölçüm sistemi ve jeofon yerleşimi (Anonim7, 2010).

Veri toplama-işleme ünitesi çoğunlukla yükseltici ve sinyal düzenleyici, veri giriş-çıkış bağlantı noktaları, batarya, depo alanı ve ekrandan oluşmaktadır. Bazı modellerde ilave olarak yazıcı bulunmaktadır. Jeofon ve mikروفon aracılığıyla elde edilen veriler bağlantı kabloları ile veri toplama ünitesine aktarılmakta ve depolanmaktadır. Bu tip cihazların kayıtları; zaman esaslı olarak her bir olay için hava şoku, frekans, yer değiştirme, ivme ve parçacık hızı bileşenlerini (boyuna, enine, düşey, bileşke ve maksimum) içermektedir. Ayrıca cihazlar üzerinde yer alan dijital göstergede istenildiğinde bu değerler görüntülenebilmekte ve kaydedilen olayların ayrıntılı analizi için elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılabilir. Cihazlar tek olay veya sürekli kayıt yapabilmektedir (Anonim7, 2010).

Jeofon yer sarsıntısının yer değiştirme, frekans, ivme ve parçacık hız bileşenlerini (boyuna, enine, düşey) zamana bağlı olarak elektrik sinyalleri şeklinde ölçmektedir. Ölçüm cihazının önemli bir parçası, bir elektrik sinyalini ya da ışık demetini parçacık hareketinin genliğine dönüştüren çeviricisidir. Çeviricilerin performansı ile ilişkili temel özellikler; duyarlılığı, frekans aralığı, çözünürlüğü, faz kayması, çapraz eksen ya da enine ölçüm hassasiyeti, kalibrasyonu, çevresel duyarlılığı, ağırlığı ve büyüklüğüdür (Dowding, 2000).

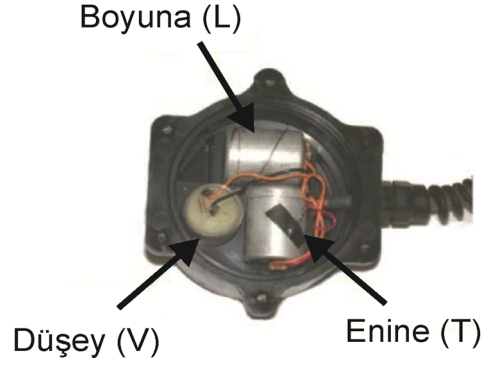
Fonksiyonel olarak bir jeofon sensörü, bir mıknatısın etrafında asılı bir tel bobinden ibarettir (Şekil 3.2). Mıknatıs manyetik akı çizgisi alanında hareket etmekte serbesttir. Lenz yasasına göre, indüklenen voltaj akı çizgilerinin geçtiği hız ile orantılıdır. Yani, iletken sarılı bir bobin içerisinde bir mıknatıs ileri geri hareket ettirilirse hareket hızına bağlı olarak seviyesi ve yönü değişen elektrik akımı elde edilir. Elde edilen akım iletken sarılı bobin ve bobinin içerisinde hareket eden mıknatısın birbirine göre göreceli hızıdır. Pratikte, bobin veya mıknatısın hareket edip etmediği önemli değildir. Sadece birbirlerine göre hareket ve hız önemlidir (Anonim7, 2010).



**Şekil 3.2** Jeofon çalışma prensibi (Anonim7, 2010).

Şekilde verilen prensiple iletken sarılı bobinin ve bobin içerisinde hareket eden mıknatısın birbirlerine göre göreceli hareketi sonucu elde edilen voltaj değişiminin hız değeriyle kalibre edilmesi sonucu bir yönde hareket hızı ölçülebilmektedir. Sarsıntının karakterize edilebilmesi için enine, boyuna ve düşey olarak üç yönde yerleştirilmiş çeviricilerin aynı anda ölçüm alması gerekmektedir.

Tek bir nokta üzerinde üç farklı yönde hareket hızını ölçmek için birleştirilmiş çeviricilere jeofon adı verilmektedir (Şekil 3.3).



**Şekil 3.3** Bir jeofon içerisinde bulunan algılayıcılar (Anonim8, 2018).

Veri toplama-işleme ünitesi çeviriciler yardımıyla sağlanan verilerden her bir enine, boyuna ve düşey eksenlere ait tepe parçacık hızı, sıfır geçiş frekansı, tepe ivme ve tepe yer değiştirme değerleri hesaplanmaktadır. Ayrıca üç eksendeki veriler kullanılarak da bileşke parçacık hız belirlenmektedir (Anonim7, 2010).

Mikrofon patlatma sonucu ortaya çıkan hava şoku ve gürültü değerlerini zamana bağlı olarak elektrik sinyalleri şeklinde almak için kullanılmaktadır. Bağlantı kabloları mikrofon ve jefondan gelen elektrik sinyallerini veri toplama ünitesindeki yükselticiye iletmektedir. Yükseltici ve sinyal düzenleyici mikrofon ve jefondan gelen elektrik sinyallerini yükseltmekte ve analog verileri sayısal verilere çevirmektedir (Anonim7, 2010).

Bu çalışmada patlatma sonucunda oluşan yer sarsıntılarını izlemek için 5 adet InstanTEL Minimate Blaster, 2 adet InstanTEL Minimate Plus, 1 adet InstanTEL Blastmate II (DS677) ve 1 adet çift kanallı InstanTEL Blastmate III (DS477) model cihaz kullanılmıştır (Şekil 3.4). Bu cihazlar tarafından elde edilen veriler InstanTEL firması tarafından ücretsiz olarak verilen Blastware (v10) paket programı yardımıyla değerlendirilebilmektedir. Bu cihazlara ait teknik özellikler Çizelge 3.1'de sunulmuştur.

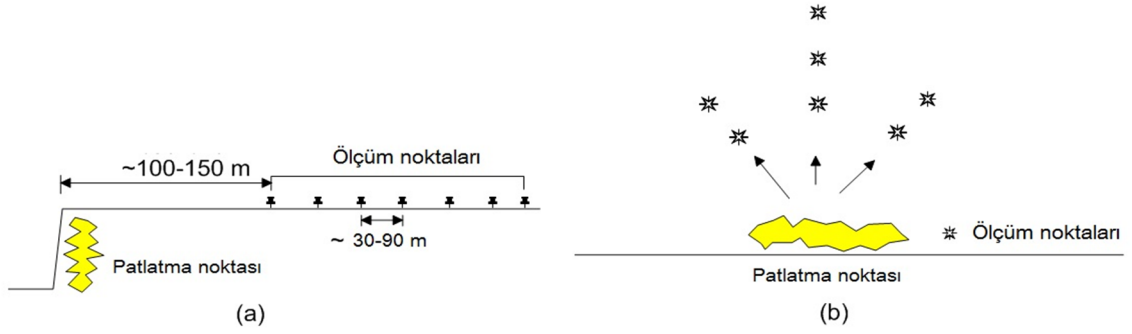


**Şekil 3.4** Çalışmada kullanılan yer sarsıntısı ve hava şoku izleme cihazları (Anonim9, 2018).

**Çizelge 3.1** Çalışmada kullanılan yer sarsıntısı ve hava şoku ölçüm cihazlarının teknik özellikleri (Anonim7, 2010).

Sismik	Ölçüm aralığı	0,125-254 mm/s (0,005 – 10 inç/sn)
	Hassasiyet	0,0159 mm/s
	Tetik düzeyi	0.005-10 inç/s (0.127-254 mm/s)
	Tepe ivme	0,01-30 g
	Tepe yer değiştirme	0,0001 – 1,5 inç
Hava şoku lineer ve C ağırlıklı	Frekans	Ulusal ve uluslararası standartlar
	Doğruluk	+/- 5% ya da 0.5 mm/s (0.02 inç/s)
	Ölçüm aralığı	88–148 dB, $7.25 \times 10^{-5}$ psi-0.0725 psi, 0.5 Pa-500 Pa.
	Hassasiyet	+/- 10% ya da +/- 1 dB
	Tetik düzeyi	100–148 dB
A ağırlıklı ses	Frekans analizleri	Hava şoku standardında frekans
	Ölçüm aralığı	55-110 dB
	Hassasiyet	0,2 dB
	Tetik düzeyi	0,2 dB
	Frekans tepkisi	0,5-8 kHz
Frekans	Örnekleme hızı	1024-4096 örnek/s
	Frekans tepkisi	Sismik ve lineer hava şokunda 1,5- 250 Hz
Tam dalga formu kayıtları	Kayıt modları	El ile, tek atım, sürekli, otomatik
	Sabit kayıt süresi	1-10 s
	Otomatik kayıt süresi	1-60 s
Uzun grafik kayıtları	Kayıt metodu	Bellek
	Aralıklar	5 s, 15 s, 1 dak, 5 dak
	Analizler	Tepe, tepe frekansı, tepe vektör toplamı
	Maksimum kayıt süresi	Hafızaya 5 dakika aralıklarla 110 gün süreli

Yer sarsıntısı ve hava şoku izlemek amacıyla yapılan çalışmalarda yaygın olarak patlatma kaynağından belli bir uzaklıkta ve genellikle hasar beklenen yapıların olduğu ve/veya yerleşkelerin bulunduğu yönlere doğru yerleştirilen cihazlar kullanılmaktadır. Bu nedenle de yapılan ölçümlerin büyük çoğunluğu hasar beklenen yönlerde kalmaktadır. Bilindiği gibi, patlatma sahalarındaki kaya kütle ve madde özellikleri sürekli değişken yapıdadır ve patlatma kaynaklı yer sarsıntılarını yönlere bağlı olarak değişim göstermektedir (ISRM, 1992; Jimeno ve ark., 1995; Arpaz, 2000; Aldaş, 2002; Ak, 2006). Bu çalışmada patlatma sonucu oluşan yer sarsıntılarını ve hava şokunun yönsel değişimlerini izlemek için aynı anda 7 ve/veya 8 cihaz kullanılmış ve ölçümler için üç farklı cihaz dizilimi öngörülmüştür. Birinci dizilimde ilk cihaz patlatma noktasına en uygun (emniyetli) mesafeye yerleştirilmiş, sonra diğerleri yaklaşık 30-90 m aralıkla tek sıra halinde bir doğrultuda dizilmiştir (Şekil 3.5a). İkinci dizilimde cihazlar patlatma noktasından üç değişik yönde ve mümkün olduğunca eş uzaklıklarda olacak şekilde yerleştirilmiş, takip eden cihazlar da yaklaşık 30-90 m aralıkla konumlandırılmıştır (Şekil 3.5b). Üçüncü dizilimde ise cihazlar belli bir sistematiğe uymayacak şekilde yerleştirilmiştir.



**Şekil 3.5** Yer sarsıntısı ve hava şoku izleme noktaları (Görgülü ve ark. 2013).

### 3.1.2 İvme ölçümü

İvmeölçerler; deprem, patlatma, nükleer patlama vb. gibi kuvvetli yer sarsıntılarının ivmesini direkt olarak ölçen cihazlardır (Anonim10, 2018). Cihaz kayıtçı, GPS ve güç kaynağından oluşmaktadır (Şekil 3.6). Kayıtçı üç yönde (doğu-batı, kuzey-güney, düşey) ivme ölçümü yapabilen ve ölçüm sonuçlarını sayısal olarak veren bir cihazdır. Bu tip cihazların kayıtları; zaman esaslı olarak her bir olay için ivme, parçacık hızı ve yer değiştirme bileşenlerini içermektedir. Kayıt kapasiteleri değişkendir. Kayıtlı veriler seri bağlantı ile PC'ye aktarılabilirdiği gibi TCP/IP, UDP/IP vb. değişik veri iletişim kanalları ile gerçek zamanlı olarak da aktarılabilir. Bu cihazlar uygun ortam sağlandığında arazide bırakılarak sürekli ölçüm yapabilmekte, verilerine uzaktan erişim olanağı sağlamaktadırlar. GPS, sayısallaştırılan tüm verilere doğru olarak zaman atanması yapmak için kullanılmaktadır. GPS uyduları, GPS antenin yeri ve zaman senkronizasyon durumu hakkında bilgi vermektedir. Ayrıca, her kanal ve veri hattı için o an kullanılan bağlantı hızları görüntülenebilmektedir (Koçaslan, 2013)



**Şekil 3.6** İvmeölçer ölçüm ekipmanı.

İvmeölçerler patlatma sarsıntı ölçer cihazlarının çalışma limitleri dışında kalan frekans veya genlikli sarsıntıları belirlemek için kullanılmaktadır. Bu cihazların çözünürlükleri düşük frekanslı



sarsıntılarda patlatma sarsıntı ölçerlere göre daha düşüktür ve istenmeyen gürültülere daha duyarlıdır (Srbulov, 2010). Ayrıca; tepe yer değiştirme değerleri uzun periyotlu gürültüler, filtreleme ve sinyal işleme hataları nedeniyle ivmeölçerler ile hassas bir şekilde belirlenemez (Trifunac ve Brady, 1975).

Bu çalışmada patlatma sonucunda oluşan yer sarsıntılarını izlemek için 3 adet Güralp marka CMG-5TD model sönümlü tip ivmeölçer cihazları kullanılmıştır (Şekil 3.6). Bu cihazlara ait teknik özellikler Çizelge 3.2’de verilmiştir. Söz konusu ivmeölçerlerin kullanımıyla ilgili tüm ayarlamalar ve düzenlemeler bilgisayar aracılığıyla yapılmakta, bu işlem için ilgili firma tarafından sağlanan Scream paket programı kullanılmaktadır. Cihaz üzerinde kayıtlı olan veriler yine bilgisayar aracılığıyla alınabilmekte ve kuvvetli yer hareketi analiz ve araştırma aracı (ART) paket programı kullanılarak değerlendirilmektedir. Ölçümlerin sağlıklı olarak yapılabilmesi için, bu ivmeölçerlerin kayıtçısının üzerinde bulunan kuzey işaretinin yerleştirme esnasında gerçek kuzeye ayarlanmış ve tam olarak yatay düzleme düzeçlenerek yerleştirilmiş olması gerekmektedir.

Arazi ölçümlerinde, ilk ivmeölçer cihazı patlatma noktasından emniyetli olabilecek bir mesafeye (yaklaşık 75 m), diğer iki cihaz aynı doğrultuda ve değişken mesafelerde (300-3000 m) olacak şekilde yerleştirilmiştir.

**Çizelge 3.2** Çalışmada kullanılan ivmeölçerlerin teknik özellikleri (Anonim10, 2018).

Bileşen	X, Y ve Z (dikey üç bileşenli)
Duyarlılık	1 V/G ya da yukarısı (farklı test raporlarına bakılmalı)
Ölçüm aralığı	± 2 G
Taşınabilen kısmın maksimum yer değiştirmesi	2 mm
Karakteristik frekansı	3 ± 0,5 Hz
Lineerliği	% 0,1
Frekans aralığı	30sn-100Hz ve 1Hz-100Hz
Sıcaklığa bağlı duyarlılık değişimi	Yaklaşık % 0,4
Çıkış direnci	Yaklaşık 2,5 kΩ
Bobin telin direnci	Yaklaşık 500 kΩ
Sıcaklık aralığı	-20 den +50°C ye
Suya karşı direnci	Damlayan suya karşı duyarlı tipte

### 3.2 Jeofizik Yöntemler

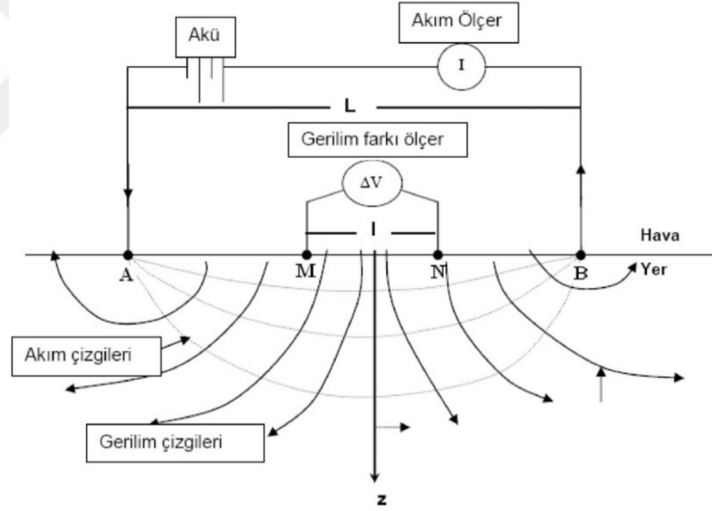
Bu çalışmada, patlatma sahası civarındaki kaya kütle ve madde özelliklerinin ve yeraltının jeolojik yapısının belirlenmesi amacıyla klasik yöntemlere ilave olarak elektrik özdirenç yöntemi ile sismik yöntemler kullanılmıştır.

#### 3.2.1 Elektrik özdirenç yöntemi

Ortamların sahip olduğu farklı fiziksel değişimlere bağlı olarak elektrik akımını iletme (veya direnç gösterme) özelliğinin ölçülmesi temeline dayanır. Yerin elektrik direnci; büyük bir oranda ortamdaki sıcaklık, basınç, gözeneklilik, geçirgenlik, ortamın su doygunluğu ve suyun yerindeki dağılımı gibi özelliklere bağlı olarak değişmektedir. Bu projede; elektrik özdirenç

yöntemi, jeolojik yapıların yanal ve düşey yöndeki öz direnç değişimlerinin derinliğe bağlı olarak tespit edilmesi amacıyla kullanılmıştır.

Elektrik öz direnç yönteminin temeli Ohm kanununa dayanmakta olup bu kanuna göre; iki nokta arasındaki ortamdaki geçen akım, potansiyel farkla yani geçtiği alanla doğru, iki nokta arasındaki dirençle yani iki nokta arası uzunluğuyla ters orantılıdır. Bir iletkenin iki ucu arasındaki potansiyel farkın, iletkenin geçen akım şiddetine oranı sabittir. Yöntem, bir akım kaynağından (akü, jeneratör) yere iki noktadan verilen akımın ( $I$ , mA) potansiyel farkının ( $\Delta V$ , mV) iki noktadan ölçülmesi (A ile B akım ve M ile N ise potansiyel elektrotları) şeklinde yapılmaktadır (Şekil 3.7). Elektrik öz direnç yönteminde akım ve potansiyel elektrotlarının yerleri ve uzaklıkları değiştirilerek birçok dizilim türü uygulanmaktadır. Schlumberger, Wenner ve Dipol-dipol, en yaygın kullanılan elektrot dizilim türleridir. Kullanılan elektrot diziliminden kaynaklanan  $K$  geometrik faktörü (dizilim katsayısı) kullanılarak söz konusu dizilim için görünür öz direnç ( $\rho$ ,  $\Omega m$ ) hesaplanmaktadır (Eşitlik 3.1 ve 3.2). Hesaplanan görünür öz direnç değeri elektrot dizilim sisteminin orta noktasına atanmaktadır. Derinlik ile ilişkili görünür öz direnç değerlerinin elde edilebilmesi için, akım uçları arasındaki uzaklığın her ölçüm sonunda artırılarak bir dizi ölçüm alınması gerekir.



**Şekil 3.7** Elektrik öz direnç yönteminin veri toplama düzeneği (ISRM, 2004'den değiştirilmiştir).

$$K = \frac{\pi(L^2 - l^2)}{4l} \quad [3.1]$$

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad [3.2]$$

Bu çalışmada, her bir noktada alınan ölçümler IPI2WIN ters-çözüm programı ile değerlendirilerek her bir noktanın gerçek öz direnç değerleri ve tabaka kalınlıkları elde edilmiştir. Düşey elektrik sondaj verilerinin toplanmasında tek-kanallı direnç ölçer (bir güç kaynağı, verici ve voltaj alıcı), elektrot ve kablolardan oluşan bir cihaz kullanılmıştır (Şekil 3.8).



**Şekil 3.8** Düşey elektrik sondaj (DES) ölçüm cihazı.

Elektrik öz direnç tomografi verilerinin toplanmasında GF Instrument firmasının ARES marka çok elektrotlu rezistivite cihazı kullanılmıştır (Anonim11, 2018) (Şekil 3.9). Ölçü alımında serim işlemi tamamlandıktan sonra istenilen elektrot dizilimi (Wenner, Schlumberger, dipol-dipol vb.) için cihaz ayarları yapılır. Veri toplamaya başlamadan önce her elektrotun temas (kontakt dirençleri) durumları ve diğer taramaları otomatik olarak yapılır. Bu kalibrasyon işlemi sorunsuz tamamlanırsa ölçü almaya başlanır. Ölçü alımı başlayınca ölçüler otomatik olarak cihazdaki bilgisayara kaydedilmektedir. Ölçülerin bilgisayar ortamına aktarılması ise ARES cihazının kendi yazılımı ile olmaktadır (Koçaslan, 2013).



**Şekil 3.9** ARES-G4 marka çok elektrotlu elektrik öz direnç cihazı.

### 3.2.2 Sismik yöntemler

Sismik yöntemlerde amaç; yerküresinin katı, sıvı ve hava gibi ortamlarında herhangi bir enerji kaynağının meydana getirdiği mekanik sarsıntı (sismik) dalgalarının çeşitli teknik, araç ve yöntemlerle kaydedilerek yer içi jeolojik yapısının aydınlatılmasıdır. Sismik yöntemlerin prensibi; herhangi bir noktada doğal olarak oluşan veya yapay olarak oluşturulan dalgaların yayılma başlangıç zamanları ile diğer birçok noktalara varış zamanları arasındaki yol zaman ilişkisinden yararlanılarak dalga yayılım hızlarının saptanması ve böylece dalgaların geçtiği ortamın özelliklerinin belirlenmesi esasına dayanır. Sismik dalga hızları; dalganın ilerlediği ortamın

yoğunluğuna, içerdiği su miktarına, süreksizlik, porozite ve çimentolanma derecesine bağlı olarak değişir. Zeminin sismik dalga hızları, dinamik elastik parametreler ve bu parametrelere bağlı zemin özellikleri ile birlikte değerlendirilerek zemin parametreleri ve ayrıca ekonomik değer taşıyan yeraltı zenginliklerinin varlığı ve deprem risk unsurları da belirlenebilmektedir.

Sismik cihaz, bir adet sayısal kayıtçı, jeofonlar, kaynak (balyoz), ak ve kablolardan oluşmaktadır (Anonim12, 2018) (şekil 3.10). Kayıtçı; sismik kırılma, çok-kanallı yüzey dalgası analizi (MASW), kırılma-mikrotremor (ReMi) vb. yöntemlerde veri toplama işlemine sağlayan sayısal cihazlardır. Jeofonlar, kaynak tarafından oluşturulan sismik enerjiyi kaydetmektedirler. Kaynak olarak genellikle balyoz kullanılmaktadır. Kullanılan sismik yöntemlere göre frekans aralıkları değişmektedir. Kaynak-jeofon arasındaki uzaklığa ve jeofon serim boyuna bağlı olarak bilgi alınma derinliği de değişir. Yeryüzünde belirli bir geometriye göre yerleştirilen jeofonlar ile algılanan ve kayıtlar tarafından kaydedilen sinyaller değerlendirilerek ortamlara ait P ve S dalga hızları ve buna bağlı olarak ortamı oluşturan kayaçların elastik parametreleri, tabakaların kalınlıkları, yoğunluk, gözeneklilik vb. parametreleri saptanabilmektedir. Ayrıca, kayaçların çatlaklık katsayısı, ana kaya derinliği, boşluklar, kazılmış ve yeniden doldurulmuş alanlar, kaya kalitesi ve çatlak zonları belirlenebilmekte, stratigrafik haritalama, yeraltı yapılarının sistematik olarak belirlenmesi ve haritalanması, taş ocağı haritalama, jeoteknik inceleme ve çevresel araştırma işlemleri de gerçekleştirilebilmektedir (Timur, 1969; Kurtuluş, 2002).



**şekil 3.10** Sismik kırılma ve yüzey dalgası analizi ölüm cihazı.

Bu çalışmada; sismik kırılma tomografi, çok-kanallı yüzey dalgası analizi (MASW) ve kırılma mikrotremor (ReMi) yöntemleri kullanılmıştır. Sismik yöntemlerle toplanan verilerin değerlendirilmesi Seismager1D Pickwin/Surface Wave Analysis yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### **3.3 Kaya Mekaniği Arazi ve Laboratuvar alışmaları**

Çalışma sahalarında kaya kütle ve madde özelliklerini belirlemeye yönelik olarak kapsamlı çalışmalar sürdürülmüştür. Sahalarda yer alan formasyonların nokta yük dayanımları ve Schmidt sertlikleri yerinde deneylerle belirlenmiştir. Ayrıca, jeoteknik çalışmalar yapılmış ve kaya kütelleri bu veriler işığında sınıflandırılmıştır.

EÜAŞ Kangal Kömür Açık İşletmesi'nden blok halinde ve Eti Maden Bigadiç Bor Açık İşletmesi'nden yerinde karot alma yöntemiyle karot halinde elde edilen kaya numuneleri Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Maden Müh. Böl. Kaya Mekaniği laboratuvarına getirilerek deneylere hazırlanmış ve bu numuneler üzerinde bazı standart kaya mekaniği deneyleri yapılmıştır. Eti Maden Kırka Bor Açık İşletmesi, TKİ Çan Linyit İşletmesi ve TKİ Tunçbilek Linyit İşletmesi'nde ise sağlam karot elde edilememiştir. Her beş sahada da formasyonların oldukça ayrılmış ve sık eklemlili olması nedeniyle karot alma işlemleri istenilen seviyede ve sayıda sürdürülememiştir.

### 3.4 Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesinde Kullanılan Yaklaşımlar

Arazide yapılan izleme ve ölçümlerin değerlendirilmesinde kullanılan yaklaşımlar aşağıda ayrıntılı olarak sunulmuştur.

#### 3.4.1 Kaya madde ve kütle özelliklerini belirlemeye yönelik çalışmalar

Sahalarda kaya kalitesi belirteci (RQD) değerlerini elde etmek için Priest ve Hudson (1976) tarafından verilen 3.3 ve 3.4 nolu eşitlikler kullanılmıştır.

$$RQD = 100e^{-0,1\lambda}(0,1\lambda + 1) \quad [3.3]$$

$$RQD = -3,68\lambda + 110,4 \quad [3.4]$$

Burada;

RQD : Kaya kalitesi belirteci (%)

$\lambda$  : Metredeki ortalama süreksizlik sayısı







$\lambda$  değerinin 6-16 aralığında olması durumunda RQD değerinin lineer olarak tahmin edilmesi için 3.4 nolu eşitliğin kullanılması önerilmektedir.

Bieniawski (1973), kaya kütlelerini sınıflamaya yönelik olarak Jeomekanik Sınıflama Sistemi ya da Kaya Kütleli Değerlendirme Sistemi (RMR) olarak adlandırdığı sınıflama sistemini geliştirmiş, bu sınıflama sistemi yine Bieniawski (1989) tarafından kapsamlı olarak düzenlenmiştir (Çizelge 3.3). Yine kaya kütlelerini sınıflamaya yönelik olarak Hoek (1994) ve Hoek ve ark. (1995) tarafından önerilen Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) şeması Hoek (1999) tarafından (Şekil 3.11) çeşitli kaya türlerini de kapsayacak şekilde yeniden düzenlenmiştir. Hoek (1999) iyi kalitedeki kaya kütleleri için (GSI>25) GSI değerinin; yeraltı suyu puanının 10 ve eklem yöneliminin 0 puan alınarak RMR 1976'dan doğrudan ve düşük kalitedeki kütleler için ise yeraltı su puanının 15 ve eklem yöneliminin 0 puan alınarak RMR 1989 esaslı  $GSI=RMR_{89}-5$  denklemi aracılığıyla tahmin edilebileceğini ifade etmiştir. Bu çalışmada kaya kütlelerini sınıflamak için 1989 versiyonlu RMR kaya kütle sınıflama sistemi ve 1999 versiyonlu GSI şeması kullanılmıştır.

**Çizelge 3.3** Jeomekanik kaya kütlesi sınıflaması (Bieniawski 1989'dan itibaren)

A. SINIFLANDIRMA DEĞİŞKENLERİ VE SAYISAL DEĞERLENDİRMELERİ									
Parametre			Değer Aralığı						
1	Sağlam kaya malzemesinin dayanımı	Nokta-yükü dayanım indeksi	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Bu düşük aralık için tek eksenli basınç deneyi tercih edilir.		
		Tek eksenli basınç dayanımı	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
Puan			15	12	7	4	2	1	0
2	Sondaj karotu kalitesi (RQD)		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	< 25%		
	Puan		20	17	13	8	3		
3	Süreksizlik Aralığı		> 2m	0.6-2 mm	200-600 mm	60-200 mm	< 60 mm		
	Sayısal Değer		20	15	10	8	5		
4	Süreksizlik Durumu (E'ye bakınız)		Çok pürüzlü yüzeyler Sürekli değil, ayrışma yok, bozunmamış kaya yüzeyi	Az pürüzlü yüzeyler Ayrışma < 1 mm, Hafifçe bozunmuş yüzeyler	Az pürüzlü yüzeyler Açıklık < 1 mm, oldukça bozunmuş yüzeyler	Kayganlaşmış yüzeyler ya da dolgu kalınlığı < 5 mm ya da ayrışma 1-5 mm, sürekli	Yumuşak dolgu kalınlığı > 5 mm yada ayrışma > 5 mm, sürekli		
	Puan		30	25	20	10	0		
5	Yer altı Suyu	Her 10 m tünel boyundaki akış miktarı (l/m)	Yok	< 10	10-25	25-125	> 125		
		Eklem suyu Basıncı / (Büyük asal gerilme, $\sigma$ )	0	0	0-0.2	0.2-0.5	0.5		
		Genel Durum	Tamamen kuru	Nemli	Islak	Su damlaması	Su akışı		
		Puan	15	10	7	4	0		
B. EKLEM KONUMLARINA GÖRE PUAN DÜZELTMELERİ (F'ye bakınız)									
Eklem türü ve eğim konumları			Çok Uygun	Uygun	Orta	Uygun Değil	Hiç Uygun Değil		
Puanlar	Tünel		0	-2	-5	-10	-12		
	Temeller		0	-2	-7	-15	-25		
	Şevler		0	-5	-25	-50	-60		
C. TOPLAM PUANLARDAN BELİRLENEN KAYA KÜTLESİ SINIFLARI									
Puan			100-81	80-61	60-41	40-21	< 20		
Sınıf numarası			I	II	III	IV	V		
Kaya tanımı			Çok iyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok zayıf		
D. KAYA SINIFLARININ ANLAMLARI									
Sınıf Numarası			I	II	III	IV	V		
Ortalama tahkimatsız geçmeden durma zamanı			15 m açıklık için 20 sene	10 m açıklık için 1 yıl	5 m açıklık için 1 hafta	2.5 m açıklık için 10 saat	0.1 m açıklık için 30 dakika		
Kaya kütlesinin kohezyonu (kPa)			> 400	300-400	250-300	100-200	< 100		
Kaya kütlesinin sürtünme açısı			< 45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	< 25°		
E. SÜREKSİZLİK DURUMLARININ SINIFLANDIRILMASI İÇİN KLAVUZ İLKELER									
Süreksizlik uzunluğu (Devamlılık) Puan			< 1 m 6	1-3 m 4	3-10 m 2	10-20 m 1	> 20 m 0		
Ayrıklık Puan			Yok 6	< 0.1 mm 5	0.1-1 mm 4	1-5 mm 1	> 5 mm 0		
Pürüzlülük Puan			Çok pürüzlü 6	Pürüzlü 5	Az Pürüzlü 3	Pürüzsüz 1	Parlak yüzeyli 0		
Dolgu Puan			Yok 6	Sert < 5 mm 4	Sert > 5 mm 2	Yumuşak < 5 mm 2	Yumuşak > 5 mm 0		
Bozunma Puan			Bozunmamış 6	Az bozunmuş 5	Orta bozunmuş 3	Çok bozunmuş 1	Ayrışmış 0		
F. SÜREKSİZLİK DOĞRULTU VE EĞİM KONUMLARININ TÜNELCİLİKTEKİ ETKİSİ**									
Doğrultu tünel eksenine dik					Doğrultu tünel eksenine paralel				
Eğim yönünde ilerleme Eğim 45°-90°			Eğim yönünde ilerleme Eğim 20°-45°		Eğim 45°-90°		Eğim 20°-45°		
Çok Uygun			Uygun		Çok Uygun		Orta		
Eğime karşı ilerleme Eğim 45°-90°			Eğim yönünde ilerleme Eğim 20°-45°		Eğim 0-20° Doğrultuya bakılmaksızın				
Orta			Uygun değil		Orta				

\*\* Wickham ve ark. (1972) tarafından değiştirilmiştir.

JEOLOJİK DAYANIM İNDEKSİ		SÜREKSİZLİK YÜZEY KOŞULU								
Kaya kütlelerinin yapısını ve yüzey koşullarını tanımlayan harf kodları belirlenerek uygun kutu seçilir ve ortalama Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)'nin değeri abaktaki konturlardan tayin edilir.		ÇOK İYİ	İYİ	ORTA	ZAYIF	ÇOK ZAYIF				
YAPI		AZALAN YÜZEY KALİTESİ →								
	<b>SAĞLAM VEYA MASİF</b> - Kayaç malzemesi veya geniş aralıklı birkaç süreksizlik içeren masif kayaç kütlesi	90	80	70	60	50	40	30	20	10
	<b>BLOKLU</b> - 3 ortogonal süreksizlik setinin oluşturduğu kübik bloklu, çok iyi kenetlenmiş, örselenmemiş kaya kütlesi									
	<b>ÇOK BLOKLU</b> - Dört veya daha fazla sayıda süreksizlik setinin keşimesiyle oluşmuş çok yüzeyli-köşeli bloklar içeren, kısmen örselenmiş kaya kütlesi									
	<b>BLOKLU/ÖRSELENMİŞ</b> - Birbirini kesen çok sayıda süreksizliğin oluşturduğu köşeli bloklar içeren, kıvrılmış ve/veya faylanmaya maruz kalmış kaya kütlesi									
	<b>PARÇALANMIŞ</b> - Köşeli ve yuvarlak kayaç parçalarının birikteliğinden oluşan, zayıf kenetlenmiş, aşın derecede kırıkli kaya kütlesi									
	<b>FOLİASYONLU-LAMİNALI-MAKASLANMIŞ</b> İnce laminalı veya foliasyonlu ve makaslanmış zayıf kayaçlar. Diğer süreksizlik setlerine oranla daha egemen olan sık aralıklı şistozite yüzeyleri gelişmesini önlemiştir.									
		KAYA PARÇALARININ KENETLENME DEREJESİNDE AZALMA ↓								
		UYGULANMAZ								

Şekil 3.11 Jeolojik dayanım indeksi (Hoek, 1999'dan itibaren).

Arazi çalışmaları sırasında klasik yöntemler ile tespit edilemeyen ve/veya ulaşılamayan yerlerdeki kaya madde ve kütle özelliklerini belirlemek için jeofizik yöntemlerden de yararlanılmıştır.

Palmström (1982) sismik kırılma yönteminden elde edilen P dalga hızından ( $V_p$ , km/sn) yararlanarak formasyonların yoğunluklarını ( $\rho$ ,  $\text{kg/m}^3$ ) tespit etmeye yönelik olarak Eşitlik 3.5'i önermiştir.

$$\rho = 0,2V_p + 1,6$$

[3.5]

Formasyonların dinamik elastik parametrelerini belirlemek için Butler ve Curro (1981)'nin ISRM (1998) tarafından önerilen 3.6-3.9 nolu eşitlikleri kullanılmıştır. Bu eşitliklerde formasyonların P ve S dalga hızları ile yoğunluklarından yararlanılmaktadır.

$$v_d = \frac{1}{2} \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{(V_p/V_s)^2 - 1} \quad [3.6]$$

$$E_d = \rho V_s^2 \frac{3(V_p/V_s)^2 - 4}{(V_p/V_s)^2 - 1} = \rho V_p^2 (1 + v_d)(1 - 2v_d)/(1 - v_d) \quad [3.7]$$

$$G_d = \rho V_s^2 = E_d / (2 + 2v_d) \quad [3.8]$$

$$K_d = \rho (V_p^2 - 4V_s^2 / 3) = E_d / (3 - 6v_d) \quad [3.9]$$

Burada:

- $v_d$  : Dinamik Poisson oranı
- $E_d$  : Dinamik Young modülü (Pa)
- $G_d$  : Dinamik rijidite modülü (Pa)
- $K_d$  : Dinamik hacim modülü (Pa)
- $\rho$  : Formasyonun yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)
- $V_s$  : S Dalga hızı (m/sn)
- $V_p$  : P Dalga hızı (m/sn)

Formasyonların tek eksenli basınç dayanımları ( $\sigma$ , MPa) Eşitlik 3.10'dan (Anonim13, 2012) yararlanılarak belirlenmiştir ( $V_p$ , m/sn).

$$\sigma = 7,76xV_p^3x10^{-9} \quad [3.10]$$

Leucci ve de Giorgi (2006), formasyonların P dalga hızlarından ( $V_p$ , m/sn) yararlanılarak RQD (%), doğrusal çatlak yoğunluğu ( $L$ , m<sup>-1</sup>), çatlak yoğunluğu ( $C$ , m/m<sup>2</sup>) ve süreksizlik indeksi ( $I_d$ ) değerlerini belirlemeye yönelik aşağıdaki denklemleri önermişlerdir (Eşitlik 3.11-3.14).

$$V_p = 0,1143 (RQD)^2 - 2,3359 (RQD) + 976,85 \quad [3.11]$$

$$V_p = 16,464 L^2 - 246,36 L + 1886,6 \quad [3.12]$$

$$V_p = 11210 C^2 - 6428,7 C + 1886,6 \quad [3.13]$$

$$V_p = 102,91 (I_d)^2 - 615,95 (I_d) + 1886,6 \quad [3.14]$$



Doğrusal çatlak yoğunluğu, birim uzunluğa tekabül eden çatlak sayısı olarak tanımlanır. Çatlak yoğunluğu Eşitlik 3.15'te tarif edilmiştir (Wei ve ark., 1995).

$$C = \frac{L}{(\cos \theta_i)(1 - \ln r_{min})} \quad [3.15]$$

Burada,

C : Çatlak yoğunluğu

$\theta_i$  : i. çatlak kümesinin doğrultusu (düşey akış kabulüyle düşey çatlaklar  $\theta=0^\circ$ )

L : Doğrusal çatlak yoğunluğu ( $m^{-1}$ )

$r_{min}$  : En küçük çatlak uzunluğu

Çatlak yoğunluğu,  $1 m^2$  alana tekabül eden toplam çatlak uzunluğu gibi gözükmektedir. Süreksizlik indeksi ( $I_d$ ), bir kayacın geçirgen olup olmadığını göstermek amacıyla kullanılır. Bu indeks perkolasyon teorisini kullanan temsili bir hacimdeki eklemli kayaç eşik değerinin geçirgenliği bazında tarif edilir. Verilen bir dağılımdaki ortalama çatlak uzunluğuna (l) ve ortalama çatlak aralığına (h) bağlı olarak süreksizlik indeksi Eşitlik 3.16'da tarif edilmiştir.

$$I_d = \frac{l}{h} = Ll \quad [3.16]$$

Ortalama çatlak aralığı tarif bazında doğrusal çatlak yoğunluğunun tersidir. Çatlak uzunluğunun geçirgenliğe etkisi çatlak yoğunluğundan daha fazladır (Long ve Witherspoon, 1985). Kısa ve yüksek çatlak yoğunluklu çatlaklı kayaç kütlesi, uzun ve düşük çatlak yoğunluğuna göre düşük geçirgenliğe sahiptir. Bu nedenle  $I_d \geq 1$  ise geçirgenliğe daha yatkındır. Dolayısıyla geçirgenlik süreksizlik indeksiyle orantılı olarak artar. Sağlam bir kayaçtaki sismik hıza göre bu çatlaklı kaya kütlesi parametreleri hesaplanabilmektedir.  $V_p \leq 1000$  m/sn bölgeler geçirgen bölge olarak adlandırmakta olup geçirgenlik duyarsızdır. Doğrusal çatlak yoğunluğu, çatlak yoğunluğu ve süreksizlik indeksi arttıkça P dalga hızı azalır. Çatlaklı bir ortamda genel olarak sismik hızdaki herhangi bir azalma geçirgenliğe işaret eder.

Formasyonların S dalga hızlarından ( $V_s$ , m/sn) yararlanılarak RMR (%) değeri (Cha ve ark., 2006), P dalga hızlarından ( $V_p$ , km/sn) yararlanılarak Barton ve ark. (1974) tarafından önerilen Q sınıflama değeri (Barton, 2002) ve gözeneklilikleri ( $\phi$ , %) (Watkins ve ark., 1972) belirlenmiştir (Eşitlik 3.17-3.19).

$$RMR = 0,036V_s - 10 \quad [3.17]$$

$$V_p = 3,5 + \log_{10} Q \quad [3.18]$$

$$\phi = -0,175 \ln(V_p) + 1,56 \quad [3.19]$$

### 3.4.2 Parçacık hızı bileşenleri tahmininde kullanılan yaklaşımlar

Patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntılarının önceden tahmin edilmesi, yer sarsıntılarının önlenmesinde büyük önem taşımaktadır. Birçok kişi ve kuruluş bu amaçla çeşitli araştırmalar yapmış ve ölçekli mesafeye bağlı parçacık hızı bileşenleri ve hava şoku değerleri tahmininin en iyi olduğu sonucuna varmışlardır. Bu çalışmada parçacık hızı bileşenleri ve hava şoku değerleri tahmininde yaygın olarak kullanılan 12 farklı yaklaşım kronolojik olarak Eşitlikler 3.20-3.30 aralığında verilmektedir (Arpaz, 2000).

i. Ambraeys ve Hendron (1968)

$$PPV = K \left( \frac{D}{\sqrt[3]{W}} \right)^\beta \quad [3.20]$$

ii. Nicholls ve ark. (1971)

$$PPV = K \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^\beta \quad [3.21]$$

iii. Langefors ve Kihlström (1973)

$$PPV = K \left( \frac{\sqrt{W}}{D^2} \right)^\beta \quad [3.22]$$

iv. Hindistan Standartları Enstitüsü (Anonim14, 1973)

$$PPV = K \left( \frac{W^{\frac{2}{3}}}{D} \right)^\beta \quad [3.23]$$

v. Davies ve ark., (1964), Attewell ve ark., (1965), Shoop ve Daemen (1983), Birch ve Chaffer (1983)

$$PPV = KD^\alpha W^\beta \quad [3.24]$$

vi. Ghosh ve Daemen (1983)

$$PPV = K \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^\beta e^{-\alpha D} \quad [3.25]$$

vii. Ghosh ve Daemen (1983)

$$PPV = K \left( \frac{D}{\sqrt[3]{W}} \right)^\beta e^{-\alpha D} \quad [3.25]$$

viii. Gupta ve Ark. (1987)

$$PPV = K \left( \frac{\sqrt{W}}{D^2} \right)^\beta e^{-\alpha D} \quad [3.27]$$

ix. Gupta ve Ark. (1987)

$$PPV = K \left( \frac{W^{\frac{2}{3}}}{D} \right) e^{-\alpha D} \quad [3.28]$$

x. Gupta ve Ark. (1988)

$$PPV = K \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-\beta} e^{-\alpha \frac{D}{W}} \quad [3.29]$$

xi. CMSR (Roy, 1991)

$$PPV = n + K \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1} \quad [3.29]$$

xii. Bilgin ve Arkadaşları (1998)

$$PPV = K \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{\alpha} B^{\beta} \quad [3.30]$$

Burada;

$PPV$	: Parçacık hızı bileşeni (mm/sn) ve/veya hava şoku değerleri (pa(L))
$B$	: Dilim kalınlığı (m)
$D$	: Patlatma noktasından uzaklık (m)
$W$	: Gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı (kg)
$K, \beta, \alpha, n$	: Saha sabitleri
$e^{-\alpha D}$	: İnelastik seyrelme faktörü
$e^{-\alpha(D/W)}$	: İnelastik sönme faktörü

Çalışma sahasının sabitleri, ölçülen parçacık hızı bileşeni ve/veya hava şoku değerlerinin ölçekli mesafe değerleri ile (en az 30 nokta ya da atım) ilişkilendirilmesi sonucunda belirlenmektedir. Bulunan bu değerler, kontrollü patlatma tasarım ve uygulamalarında, sarsıntı ölçüm aletinin olmadığı durumlarda bazı pratik tabloların hazırlanması suretiyle uygulayıcılara büyük kolaylıklar sağlamaktadır (Arpaz, 2000).

### 3.4.3 Patlatma hasar kriterleri

Patlatma faaliyetlerinde ortaya çıkan atık enerji ve benzeri etkiler neticesinde bir takım çevresel sorunlar yaşanabilmektedir. Söz konusu çevresel sorunlardan en önemlisi atım kaynağından yayılan yer sarsıntısıdır. Özellikle atım noktasına yakın çevrelerde bulunan yapıların söz konusu yer sarsıntısından olumsuz etkilenmesi ve dolayısıyla bu sarsıntıların hasar oluşturabilme riski uzun yıllardır kişi ya da kurumların ilgisini çekmiş ve araştırma konusu olmuştur (Rockwell, 1934; Thoenen ve Windes, 1942; Crandell, 1949; Langefors ve ark., 1957; Edwards ve Northwood, 1959; Nicholls ve ark., 1971; Bauer ve Calder, 1977; Anonim14, 1973; Anonim15, 1996; Anonim16, 1967). Günümüzde yaygın olarak kullanılan ve bu çalışmaya konu olan hasar kriterleri aşağıda sunulmuştur.

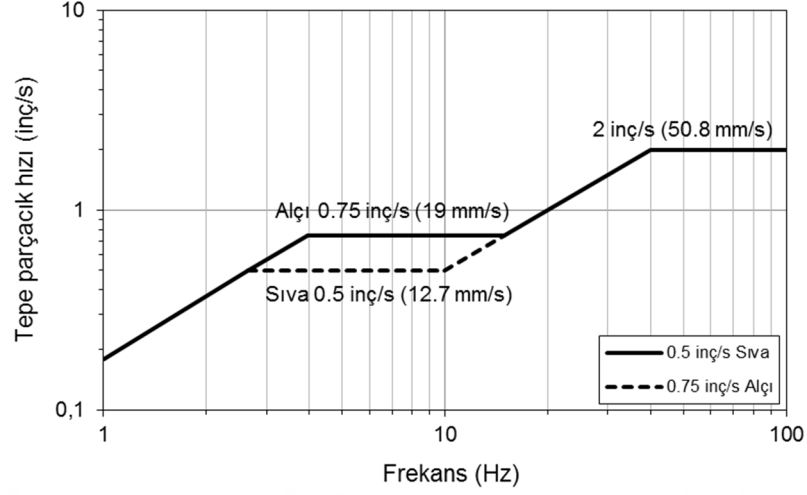
### i. USBM'nin patlatma hasar tahmini

Birleşik Devletler Madencilik Bürosu, açık ocak patlatmalarından kaynaklanan yer sarsıntısının yapılara olan etkisi ve zararlarıyla ilgili Siskind ve ark. (1980)'na 219 üretim atımının 79 evdeki etkisini belirlemeye yönelik bir çalışma yaptırarak sonuçlarını yayınlamıştır (Siskind ve ark., 1980). Bu çalışmada, sadece parçacık hızlarının değil, frekansların da hasar oluşumunda etkili olduğu vurgulanmaktadır. USBM RI 8507 raporunda belirtilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

1. Parçacık hızı hala en iyi yer sarsıntısı tanımlama ve kontrol aracıdır.
2. Parçacık hızı, sarsıntıya karşı tepki özellikleri iyi tanımlanmış bir yapı grubu için tahribat potansiyelini açıklayabilecek en pratik kontrol aracıdır.
3. Ateşleyici bütün atımları sarsıntı cihazı ile izleme yükümlülüğünü almamak için, muhafazakâr bir yaklaşımla, ölçekli uzaklığın karekökü uygulamasını seçer ( $R/\sqrt{W}$ ). Bu tip ölçekli uzaklıkta sarsıntı seviyeleri 0,08-0,15 inç/sn (2-3,8 mm/sn) civarında olmaktadır.
4. Düşük frekanslı ( $\leq 40$  Hz) patlatmalarda zarar verme potansiyeli yüksek frekanslı ( $\geq 40$  Hz) patlatmalarda söz konusu olan potansiyelden daha fazladır.
5. Bina inşaat tipleri, minimum beklenen zarar seviyesine etki eden bir faktördür. Alçı panellerden oluşan (kuru duvar) iç duvarlar, eski tahta kalas üzeri sıva kaplamalı duvarlara göre sarsıntı zararına karşı daha dayanıklıdır.
6. Pratik olarak düşük frekanslı yer sarsıntıları yaratan patlatmalar için emniyet sınırı; modern alçı pano duvarlı evler için 0,75 inç/sn (19 mm/sn), tahta kalas üzeri sıva duvarlı evler için 0,50 inç/sn (12,7 mm/sn)'dir. 40 Hz üzeri frekanslarda tüm evler için emniyetli parçacık hızı, maksimum 2,0 inç/sn (51 mm/sn) olarak tavsiye edilir.
7. Bütün evlerde zamanla çeşitli çevresel basınçlardan, havadaki sıcaklık ve nem değişimlerinden, taban yerleşimlerinden doğan oturmaldan, yerdeki nem değişimlerinden, rüzgârdan ve hatta ağaç köklerinin su emmesinden dolayı çatlaklar oluşur. Bunların sonucu olarak çatlak meydana geldiği (herhangi bir nedenden dolayı, örneğin kapıyı hızlı çarpmak) durumlarda; mutlak bir minimum sarsıntı limit değeri olmayabilir.
8. 0,50 inç/sn (12,7 mm/sn) altında maksimum parçacık hızı oluşturan patlatmalarda zarar verme şansı; sadece çok az değil (en kötü durumda %5) aynı zamanda sarsıntı seviyelerinin bütün aralıkları için dikey ekseninde ortalama tahmin değerlerinden daha hızlı bir şekilde düşer.

Ayrıca USBM tarafından hem yapılarda ölçülmüş sarsıntı katlamalarını, hem de tahribat özelliklerini kullanan, alternatif olarak tavsiye edilen patlatma seviyesi kriterleri geliştirilmiştir. "Alternatif Kriter Analizi" olarak adlandırılan bu metot, daha düzgün bir kriter setidir (Şekil 3.12). Fakat hem hareketi hem de hızı içine alan daha sıkı bir ölçüme ihtiyaç gösterir. Bu sistem; 40

Hz altında en iyi tahribat kriterinin, frekansın bir fonksiyonu olarak maksimum parçacık hızı olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.12 USBM'nin alternatif kriter analizi (Siskind ve ark., 1980).

## ii. OSM'nin halen geçerli olan kuralları

ABD Açık Ocak Madencilik Bürosu (OSM), yer sarsıntısı ve hava şokunu kontrol altına almak için patlayıcı maddelerin nasıl kullanılması gerektiği konusundaki son raporunu 8 Mart 1983 tarihinde yayınlamıştır. Bu kurallar patlatma etkinliklerinin kontrolü konusundaki yegâne kurallardır ve açık ocak kömür madenciliğinde uygulanmaktadır (Anonim17, 1983). OSM kuralları; patlatma sorumlusuna, aşağıdaki üç yöntemden birini kullanmasını tavsiye etmektedir.

### 1. Yöntem: Parçacık hızı kriterinin sınırlanması

Patlatma sorumlusu; atımı Çizelge 3.4'de gösterilen patlatma noktası ile ölçüm noktası arasındaki uzaklığa bağlı ölçekli mesafe çizim (tasarım) faktörlerine uygun olarak düzenlemelidir. Ölçekli mesafe faktörleri, uzaklıkla değişerek, maksimum parçacık hızlarının limitlerini değiştirmektedir. Bu yöntemde, Çizelge 3.4'deki OSM ölçekli mesafe faktörleri uygulandığı sürece, sismik kayıt almaya ihtiyaç duyulmamaktadır.

Çizelge 3.4 Uzaklığa bağlı müsaade edilen ölçekli mesafe faktörleri (Anonim17,1983)

Patlatma noktasından uzaklık (D)		Sismik izleme yapılmadan kullanılacak ölçekli mesafe faktörü (SD)
ft	m	
0 – 300	0 – 90	50
301 – 5000	91 – 1500	55
>5001	>1500	65

### 2.Yöntem: Ölçekli uzaklık denklemi kriteri

Her patlatmanın, maksimum parçacık hızını izleyebilecek kapasitede bir sismograf tarafından izlenmesi gerekmektedir. Maksimum parçacık hızı Çizelge 3.5'de gösterilen seviyelerin altında kaldığı müddetçe operatör kurallara uymaktadır. Her gecikme için patlayıcı madde miktarını

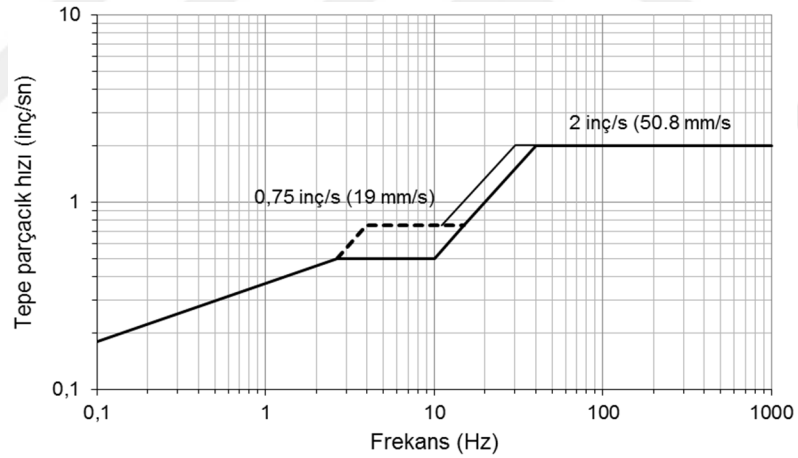
hesaplama izin verilen değerler; çok sıkı bir biçimde ölçekli mesafe faktörüyle sınırlandırılmamıştır. Böylelikle operatör daha büyük atımlar tasarlayabilir, daha büyük çapta delik açabilir ve daha büyük basamak veya daha geniş delik paterni kullanabilir. Eğer patlatma sonucunda aşağıda belirtilen uzaklıklar için öngörülen sarsıntı seviyesi aşırsa, OSM'nin öngördüğü ceza uygulanır. Patlatma noktasının en yakın yapıya mesafesi arttıkça, izin verilen hız artmaktadır. Bu durum uzak mesafelerde parçacık hızından daha çok baskın olan düşük frekansların zarar verme potansiyeline sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

**Çizelge 3.5** Uzaklığa bağlı müsaade edilen maksimum parçacık hızları (Anonim17,1983)

Ft	Uzaklık (D)		Maksimum parçacık hızı (PPV)	
		m	inç/sn	mm/sn
0 – 300		0 – 90	1,25	31,75
301 – 5000		91 – 1500	1,00	25,40
>5001		>1500	0,75	19,05

### 3.Yöntem: Patlatma seviyesi grafiği kriteri

Patlatma sorumlusunun frekansla birlikte değişen parçacık hızı seviyelerini (Şekil 3.13) kullanmasına izin verilir. Bu yöntemde, patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntısı dalga frekanslarının analizinin ve her atımın parçacık hızı ölçümlerinin yapılması gerekmektedir.



**Şekil 3.13** OSM (1983)'nin alternatif kriter analizi (Anonim17,1983).

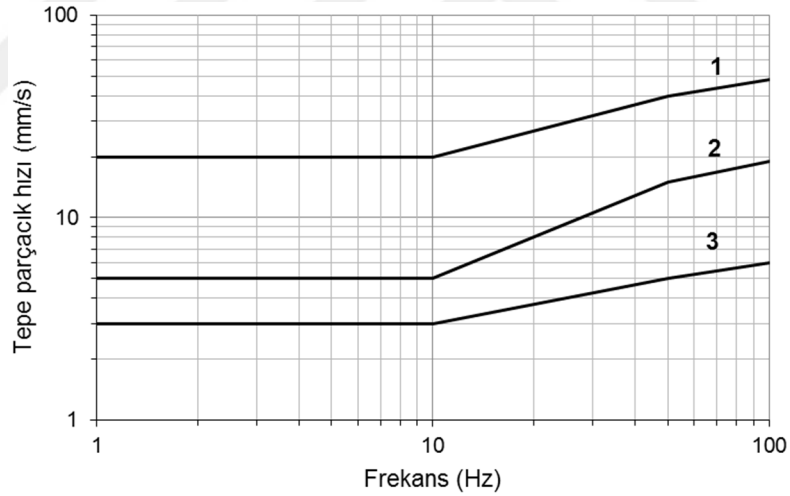
Baskın frekansları bulmak için, dalga şekli analiz edilmekte ve bu frekanslara gelen parçacık hızları belirlenmektedir. Birçok durumda, her bir frekansın şiddetini analiz etmek için elektronik cihazlara ve yetenekli bir sismolog tarafından yapılması gereken sayısal analizlere ihtiyaç bulunmaktadır. Bu yöntem, patlatmalardan dolayı kaynaklanan meskûn binalara ve hatta insanlara yönelik potansiyel zararları değerlendirmede en iyi yöntemi temsil etmektedir. OSM kurallarındaki bu yöntem, USBM tarafından tavsiye edilen yöntemden farklıdır. Şekil 3.13'deki grafik çizgisinin herhangi bir yerinde; altında kalan ve belirli bir baskın frekansa karşılık gelen herhangi bir parçacık hızı emniyetli kabul edilmektedir. Grafik çizgisinin herhangi bir kesiminin yukarısında kalan değerler, bina tahribatı ve insanlara zarar verme riskini artırmaktadır.

### iii. DIN 4150 Alman normu

DIN 4150 Alman Normu'nda frekansa bağılı olarak değişen parçacık hızı değerleri yapı türüne göre Çizelge 3.6 ve Şekil 3.14'de verilmektedir. Bu norm grafiksel bazda incelendiğinde, en alttaki çizgi kerpiç, eski yıpranmış tarihi eserler gibi sağlam olmayan yapılar, ortadaki kırıklı çizgi yığma tuğla, beton gibi nispeten dayanıklı yapılar, üsteki kırıklı çizgi ise betonarme çelik konstrüksiyon (yapı) gibi dayanıklı yapılar için sarsıntı frekansına göre parçacık hızı sınırlarını belirlemektedir.

**Çizelge 3.6** DIN 4150 Alman Normu en büyük parçacık hızı-frekans sınır değerleri (Anonim18, 1966)

Frekans (Hz)	Parçacık hızı sınır değerleri (mm/sn)	Yapı türü
0-10	3	Eski bina
0-10	5	Dayanıklı bina, yığma tuğla
0-10	20	Betonarme, çelik konstrüksiyon
10-50	3-8	Eski bina
10-50	5-15	Dayanıklı bina, yığma tuğla
10-50	20-40	Betonarme, çelik konstrüksiyon
50-100	8-10	Eski bina
50-100	15-100	Dayanıklı bina, yığma tuğla
50-100	15-100	Betonarme, çelik konstrüksiyon



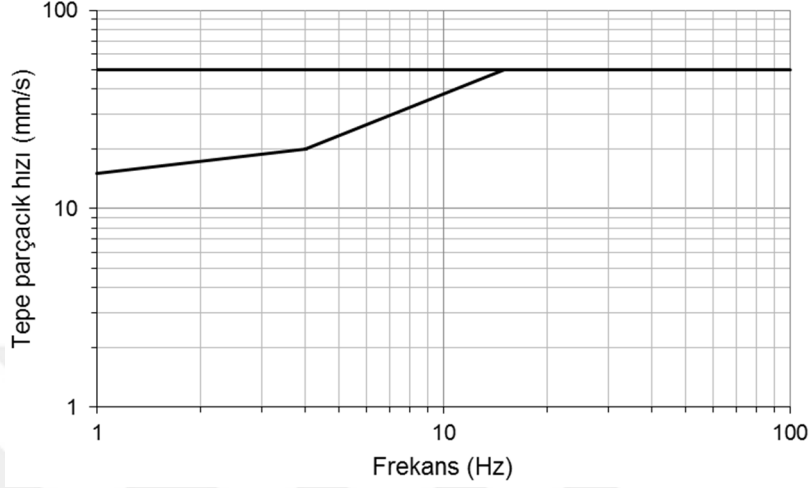
**Şekil 3.14** DIN 4150 Alman Normu (Anonim18, 1966).

### iv. İngiliz Standardı

İngiliz Standardı BS 7385-Bölüm 2: 1993 "Binalarda Sarsıntı Ölçümü ve Değerlendirmesi", tayin edilen sarsıntıdan kozmetik bina hasarı olasılığına karşı, sarsıntının önerilen maksimum seviyelerini vermektedir. Makul derecelerde ispat edilmiş yukarıda bahsedilen kozmetik hasarın, en düşük sarsıntı seviyelerine dayanan bina sarsıntısı için kılavuz değerleri sunulmuştur. Bu değerler aşağıda verilen Çizelge 3.7 ve Şekil 3.15'de detaylandırılmıştır.

**Çizelge 3.7** Kozmetik hasar için geçici sarsıntı kılavuz seviyeleri (Anonim19, 1993)

Bina Türü	Baskın darbenin frekans dağılımındaki parçacık hızının en yüksek bileşenleri (PPV)	
	4 – 15 Hz	15 Hz ve üzeri
Konut ve hafif ticari binalar	4 Hz'de 15 mm/sn'den artarak 15 Hz'de 20 mm/sn	15 Hz'de 20 mm/sn'den artarak 40 Hz'de 50 mm/sn



**Şekil 3.15** İngiliz hasar tahmin kriteri (Anonim19, 1993)

#### v. Türkiye patlatma hasar tahmin kriteri

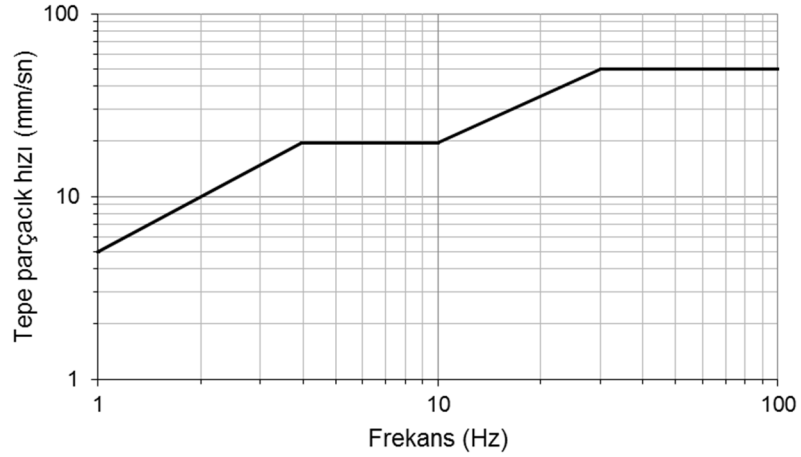
Çevre ve Orman Bakanlığına ait Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'ne (Anonim20, 2008) göre, maden ve taş ocakları ile benzeri faaliyette bulunan alanlardaki patlamaların çevredeki yapılara zarar vermemesi için, en yakındaki yapının çevresinde, zeminde ölçülecek sarsıntı düzeyi Çizelge 3.8'de verilen değerleri geçemez. Yönetmeliğe ait hasar kriteri Şekil 3.16'da verilmektedir.

**Çizelge 3.8** Türkiye Standardı sınır değerleri (Anonim20, 2008)

En büyük parçacık hızı (mm/s)	Frekans (Hz)
5	1
19	4-10
50	30-100

\*(1 Hz- 4 Hz arasında 5 mm/s'den 19 mm/s'ye; 10 Hz- 30 Hz arasında 19 mm/s'den 50 mm/s'ye, logaritmik çizilen grafikte doğrusal olarak yükselmektedir)





**Şekil 3.16** Türkiye hasar tahmin kriteri (Anonim20, 2008)

### 3.4.4 Patlatma kaynaklı yer sarsıntısı ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi

Daha önce de ifade edildiği gibi tepe parçacık hızını etkileyen birçok parametre mevcuttur. Bu parametrelerin sayısı oldukça fazla ve aralarındaki ilişki çok karmaşıktır. Bu ilişkiyi çözmek için Genetik Algoritma, ANFIS (Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi) modelleri için Matlab 2017b (Anonim21, 2018) ve regresyon analizleri için IBM SPSS 20 (Anonim22, 2018) paket programları kullanılmıştır.

#### 3.4.4.1 Genetik algoritma

Genetik algoritmalar, belirli bir işlevi en üst düzeye çıkaran veya en aza indiren belirli bir hesaplama problemine en uygun çözümlerini oluşturmak için kullanılan bir tür optimizasyon algoritması olarak ifade edilmektedir (Carr, 2014). Genetik algoritmalar, "ttest" çözümlerini çözmek için üreme ve doğal seleksiyonun biyolojik süreçlerini taklit ettiklerinden dolayı (Goldberg, 1989), evrimsel hesaplama olarak adlandırılan çalışma alanının bir kolunu temsil etmektedirler (Kinnear, 1994). Evrimde olduğu gibi, bir çok genetik algoritmanın süreçleri rastgeledir ancak bu optimizasyon tekniği, rastgelelik seviyesini ve kontrol seviyesini belirlemeyi sağlamaktadır (Goldberg, 1989). Bu algoritmalar, rastgele arama ve kapsamlı arama algoritmalarından çok daha güçlü ve etkilidir (Kinnear, 1994), hatta verilen sorun hakkında fazladan bilgi gerektirmezler (Carr, 2014). Bu özellik, diğer optimizasyon yöntemlerinin süreklilik, türev, doğrusallık veya diğer özelliklerin eksikliği nedeniyle işleyemediği sorunlara çözüm üretmelerini sağlar (Carr, 2014).

Genetik algoritmalar biyolojik bir süreci simüle etmek için tasarlandığından, ilgili terminolojinin çoğu biyolojiden ödünç alınır. Bununla birlikte, bu terminolojinin genetik algoritmalarda ifade ettiği varlıklar, biyolojik karşılıklarından çok daha basittir (Mitchell, 1995).

Genetik algoritmada her bir adım (iterasyon), bir popülasyondan yeni bir popülasyonun oluşturulmasına kadar geçen süreçtir. Bu sürece başlamadan önce yapılması gereken ilk adım, uygunluk fonksiyonu, bireyin kodlanması ve operatör parametrelerinin belirlenmesidir. Daha

sonra var olan popülasyon üzerinde sırasıyla seçim, çaprazlama ve mutasyon operatörleri kullanılarak yeni popülasyon üretilmektedir. Bu süreç, belirlenen bir durma kriteri sağlanana kadar devam ettirilmekte ve sonunda en iyi birey çözüm olarak kabul edilmektedir (Marwala ve Chakraverty, 2006). Hemen hemen tüm genetik algoritmalar için ortak temel bileşenler şunlardır:

- Optimizasyon için bir uygunluk fonksiyonu
- Bir kromozom popülasyonu
- Hangi kromozomların yeniden üretileceği
- Yeni nesil kromozom üretmek için çaprazlama
- Yeni jenerasyonda kromozomların rastgele mutasyonu

Uygunluk fonksiyonu bir bireyin çözüme ne kadar yaklaştığını ölçmektedir. Başka bir deyişle bireyin çözüm açısından kalitesini göstermektedir. Çözüme en yakın bireyin uygunluk değerinin en yüksek olması gerekmektedir. Uygunluk fonksiyonunun verimli bir şekilde çalışması genetik algoritmanın başarısını doğrudan etkilemektedir (Mitchell, 1995).

**i. Seçim:** Popülasyondaki bireylerin uygunluk değerleri hesaplanır ve bireyler uygunluk değerlerine göre sıralanması aşaması seçim olarak adlandırılmaktadır. Bu noktada farklı yöntemler kullanılarak kaliteli bireylerden oluşan bir havuz oluşturulur. Kaliteli bireylerden oluşan bu havuz yeni bireyler oluşturmak için çaprazlama ve mutasyon işlemine tabi tutulmaktadır. Literatürde en sık kullanılan seçme yöntemleri rulet tekerleği yöntemi, rank yöntemi, turnuva yöntemi ve elitist seçim yöntemidir (Goldberg ve Deb, 1991).

Rulet tekerleği seçme yönteminde bireylerin uygunluk değeri hesaplandıktan sonra büyükten küçüğe doğru sıralanmakta, daha sonra her bireye ait rulet tekerleği değeri hesaplanmaktadır. Bu aşamadan sonra Rulet tekerleği değerlerinin kümülatif toplam değerleri oluşturulmaktadır. 0 ile 1 arasında rasgele bir sayı üretilmekte ve bu sayı sıralamanın aşağısından başlayarak kümülatif değerler ile karşılaştırılmaktadır. Rastgele değer hangi bireyin kümülatif değerinden düşük ise o birey seçim havuzuna aktarılmaktadır. Böylece uygunluğu yüksek bireylerin seçilme oranı artarken düşük bireylerin seçilme oranı daha düşük olmaktadır (Holland, 1992).

$$\text{Rulet tekerleği değeri} = \frac{\text{Bireyin uygunluğu}}{\text{Popülasyonun toplam uygunluğu}} \quad [3.31]$$

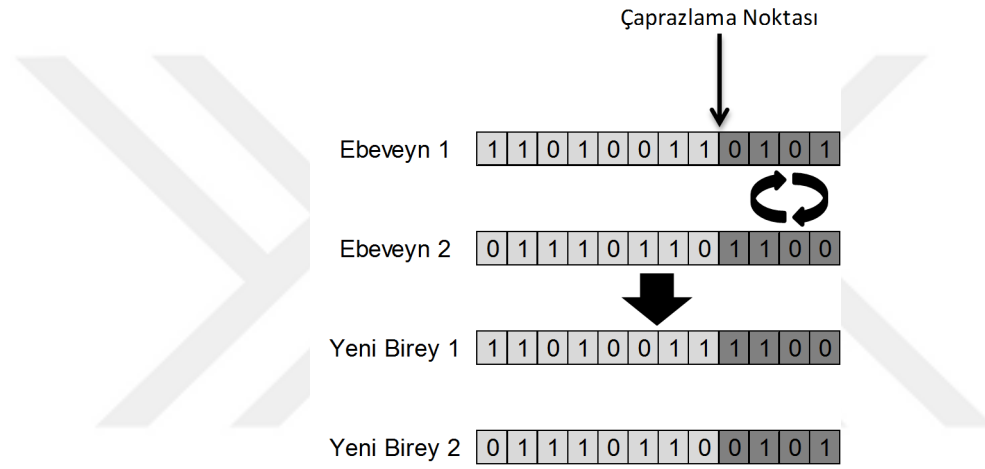
Rank yönteminde ise bireylerin uygunluk değerlerine bağlı olarak bir rank değeri hesaplanmaktadır. (T: toplam birey sayısı, i: bireyin sıralamadaki sayısı). Rank değerlerinin kümülatif değerleri hesaplanmakta ve rastgele üretilen değer ile kümülatif değerler kullanılarak birey seçimi yapılmaktadır (Eşitlik 3.32).

$$\text{Rank değeri} = \frac{(T+1)-i}{(T \times (T+1))/2} \quad [3.32]$$

Turnuva seçim yönteminde popülasyondan rasgele seçilen bireyler turnuvaya sokulur ve uygunluk değerine göre turnuvayı kazanan birey belirlenir. Belirlenen birey seçim havuzuna eklenir. Bu yöntemde en önemli parametre turnuvanın kaç defa yapılacağıdır (Goldberg, 1989, Muhlenbein, 1989).

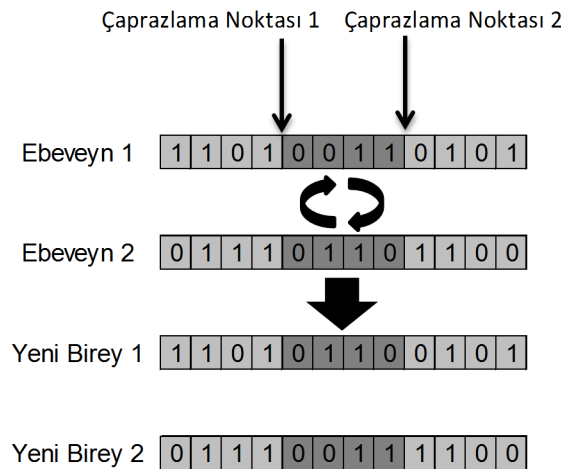
Elitist seçim yönteminde uygunlukları hesaplanan bireylerden en iyi uygunluğa sahip birey veya belirli bir değerin üzerinde uygunluğa sahip bireyler seçim havuzuna doğrudan eklenmektedir.

**ii. Çaprazlama:** Çaprazlama işlemi; eşleştirilen iki bireyin belirlenen yöntemle göre genlerinin yer değiştirmesi işlemi olarak ifade edilmektedir (Goldberg, 1989). Literatürde yaygın olarak kullanılan çaprazlama yöntemleri tek noktalı ve iki noktalı çaprazlama yöntemleridir (Syswerda ve Palmucci, 1991; Mitchell, 1995). Tek noktalı çaprazlama işleminde belirlenen bir noktadan itibaren seçilen her iki bireyin genlerinin yer değişmesi işlemidir (Şekil 3.17).



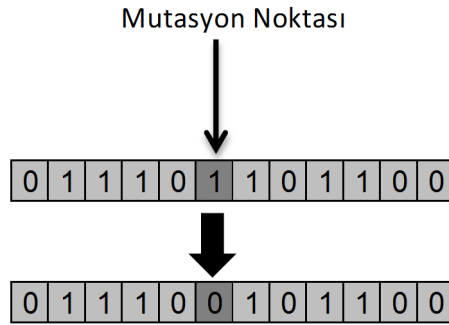
**Şekil 3.17** Örnek tek noktalı çaprazlama işlemi (Syswerda ve Palmucci, 1991).

İki noktalı çaprazlama işleminde ise belirlenen başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki bilgiler karşılıklı olarak değiştirilmektedir (Şekil 3.18).



**Şekil 3.18** Örnek iki noktalı çaprazlama işlemi (Syswerda ve Palmucci, 1991).

iii. **Mutasyon:** İkili kodlanmış bir bireyin bir özelliğinin mutasyon geçirmesi; özelliğin değeri 1 iken 0'a veya 0 iken 1'e dönüşmesi olarak ifade edilmektedir (Şekil 3.19).



**Şekil 3.19** Örnek mutasyon işlemi (Syswerda ve Palmucci, 1991).

iv. **Durma kriteri:** Genetik algoritma yukarıda bahsedilen adımları gerçekleştirerek daha iyi uygunluk değerlerine sahip yeni bir popülasyonu oluşturmayı amaçlamakta ve bu işlemi tekrar tekrar yaparak problem için en iyi çözümü aramaktadır. Ancak işlemler sonsuza kadar devam edemeyeceğinden dolayı durma kriterine ihtiyaç duymaktadır. En yaygın kullanılan durma kriterleri; algoritmanın belirli bir adım sonrasında bulunduğu en iyi çözümü çıkış olarak vermesi, belirlenen bir çözüm değerine ulaşılan kadar devam etmesi veya algoritmanın artık daha iyi bir çözüme ulaşamaması durumunda algoritmanın sonlandırılmasıdır.

Tez çalışmaları kapsamında; genetik algoritma modelinin kurulması ve uygun olan modelin seçilmesi ile farklı birçok ağ modeli üzerinde değişik eğitim algoritmaları kullanılarak ve bunlara ait parametreler değiştirilerek her model ve eğitim algoritması için birçok deneme yapılmıştır. Model kurulduktan sonra modelin doğruluğu yani hiç görmediği veriler modelin başarısını test etmek amacı ile sisteme sunulur. Model çıktıları sistemin başarısı hakkında en önemli parametredir. Çalışma kapsamında yapılan modellemelerde 10 giriş ve 1 çıkış parametresi kullanılmıştır (Çizelge 3.9-3.10) Model PPV ve frekans tahmininde en uygun olan parametre/parametreleri seçmektedir.

**Çizelge 3.9** PPV tahmini için kullanılan genetik algoritma modeline ait giriş ve çıkış parametreleri

Giriş parametreleri	Çıkış parametresi
Mesafe (D, m)	
Gecikme başına patlayıcı madde miktarı (W, kg)	
Özdirenç ( $\rho$ , $\Omega m$ )	
S-dalga hızı ( $V_s$ , m/s)	
P-dalga hızı ( $V_p$ , m/s)	
Delik sayısı (DS)	Parçacık hızı, PPV (mm/s)
Delik boyu (H, m)	
Sıkılama boyu ( $S_b$ , m)	
Delikler arası mesafe (S, m)	
Dilim kalınlığı (B, m)	

**Çizelge 3.10** Frekans tahmini için kullanılan genetik algoritma modeline ait giriş ve çıkış parametreleri

Giriş parametreleri	Çıkış parametresi
Mesafe (D, m)	Frekans, $f$ (Hz)
Gecikme başına patlayıcı madde miktarı (W, kg)	
Özdirenç ( $\rho$ , $\Omega\text{m}$ )	
S-dalga hızı ( $V_s$ , m/s)	
P-dalga hızı ( $V_p$ , m/s)	
Delik sayısı (DS)	
Delik boyu (H, m)	
Sıkılama boyu (Sb, m)	
Delikler arası mesafe (S, m)	
Dilim kalınlığı (B, m)	

#### 3.4.4.2 Uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFIS)

ANFIS metodunun temelinde Takagi-Sugeno-Kang bulanık çıkarım sistemi bulunmaktadır. Takagi-Sugeno bulanık çıkarım sisteminin öğrenme algoritması, en küçük kareler yöntemi ile geri yayılım algoritmasından oluşan melez bir öğrenme algoritmasıdır. Bu algoritmada üyelik fonksiyonu parametreleri geri yayılım algoritması ile belirlenirken en küçük kareler yöntemi tarafından uygun sonuç parametreleri kabul edilir. İkinci adımda parametreler yeniden üretilir ve sonuç parametreleri sabit kalırken önceki parametreler ile yer değiştirir (Takagi ve Sugeno, 1985).

Sistemin kimliklendirilmesinde kullanılacak olan bulanık model, adaptif ağ yapısı tarzındaki işleyişi sayesinde, hem sistem hakkındaki çevresel bilgiyi kullanarak, hem de sisteme ilişkin giriş çıkış verisinden faydalanarak kendi kendini güncelleme yeteneği edinmiştir. Esasen ANFIS yapısı, Sugeno tipi bulanık sistemlerin, sinirsel öğrenme kabiliyetine sahip bir ağ yapısı olarak temsilinden ibarettir. Bu ağ, her biri belli bir fonksiyonu gerçekleştirmek üzere, katmanlar halinde yerleştirilmiş düğümlerin birleşiminden oluşmuştur (Tsoukalas ve Uhrig, 1996).

Genel mimarisi basit olarak  $x$  ve  $y$  gibi iki giriş ve  $z$  gibi bir çıkış olarak ele alınırsa; iki tane bulanık "Eğer-ise-o halde" kuralı bulunan, birinci dereceden Sugeno bulanık modeli için tipik kural kümesi Eşitlik 3.33 ve 3.34'de sunulmuştur.

$$\text{Kural-1: Eğer } x \text{ } A1 \text{ ise ve } y \text{ } B1 \text{ ise o halde } f1 = p1x + q1y + r1 \quad [3.33]$$

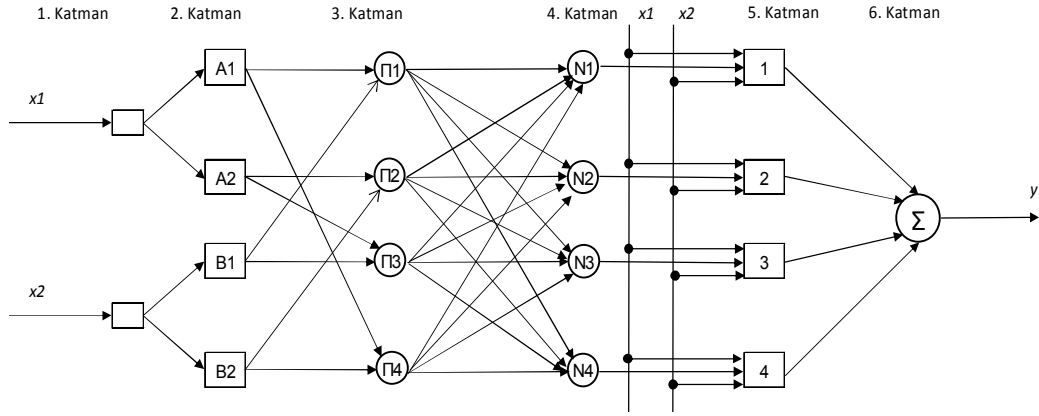
$$\text{Kural-2: Eğer } x \text{ } A2 \text{ ise ve } y \text{ } B2 \text{ ise o halde } f2 = p2x + q2y + r2 \quad [3.34]$$

şeklinde ifade edilmektedir (Şekil 3.20). Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS), 6 katmandan oluşmaktadır.

1. Katman: Girdi katmanı olarak adlandırılmaktadır. Bu katmandaki her düğümden alınan giriş sinyalleri diğer katmanlara aktarılır. Her bir  $i$  düğümü için çıkış aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x), \quad (i = 1, 2) \quad [3.35]$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(x), \quad (i = 1, 2) \quad [3.36]$$



Şekil 3.20 ANFIS mimarisi (Takagi ve Sugeno, 1985).

2. Katman: Bulanıklaştırma katmanı olarak adlandırılır. Giriş değerlerini bulanık kümelere ayırmada Jang'ın ANFIS modeli, üyelik fonksiyonu şekli olarak geliştirilmiş Bell aktivasyon fonksiyonunu kullanmaktadır. Burada, her bir düğümün çıkışı, giriş değerlerine ve kullanılan üyelik fonksiyonuna bağlı olan üyelik derecelerinden oluşmaktadır. 2. katmandan elde edilen üyelik dereceleri  $\mu_{A_i}(x)$  ve  $\mu_{B_i}(y)$  şeklinde gösterilmektedir.

3. Katman: Kural katmanıdır. Bu katmandaki her bir düğüm, Sugeno bulanık mantık çıkarım sistemine göre oluşturulan kuralları ve sayısını ifade etmektedir. Her bir kural düğümünün çıkışı  $\mu_i$  2. katmandan gelen üyelik derecelerinin çarpımı olmaktadır.  $\mu_i$  değerlerinin elde edilişi ise, ( $j=1, 2$ ) ve ( $i=1..n$ ) olmak üzere,

$$y_i^3 = N_i = \mu_{A_i}(x) * \mu_{B_i}(y) = \mu_i \quad [3.37]$$

şeklinde. Burada  $y_i^3$ , 3. katmanın çıkış değerlerini;  $n$  ise, bu katmandaki düğüm sayısını ifade etmektedir.

4. Katman: Normalizasyon katmanıdır. Bu katmandaki her bir düğüm, kural katmanından gelen tüm düğümleri giriş değeri olarak kabul etmekte ve her bir kuralın normalleştirilmiş ateşleme seviyesini hesaplamaktadır. Normalleştirilmiş ateşleme seviyesi  $\bar{\mu}_i$ 'nin hesaplanmasında,

$$y_i^4 = N_i = \frac{\mu_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} = \bar{\mu}_i, \quad (i = 1, n) \quad [3.38]$$

bağıntısı kullanılmaktadır.

5. Katman: Arındırma katmanıdır. Arındırma katmanındaki her bir düğümde verilen bir kuralın ağırlıklandırılmış sonuç değerleri hesaplanmaktadır. 5. katmandaki  $i$ . düğümün çıkış değeri ise,

$$y_i^5 = \bar{\mu}_i [p_i x_1 + q_i x_2 + r_i], \quad (i = 1, n) \quad [3.39]$$

şeklinde olmaktadır. Buradaki ( $p_i, q_i, r_i$ ) değişkenleri,  $i$ . kuralın sonuç parametreleri kümesidir.

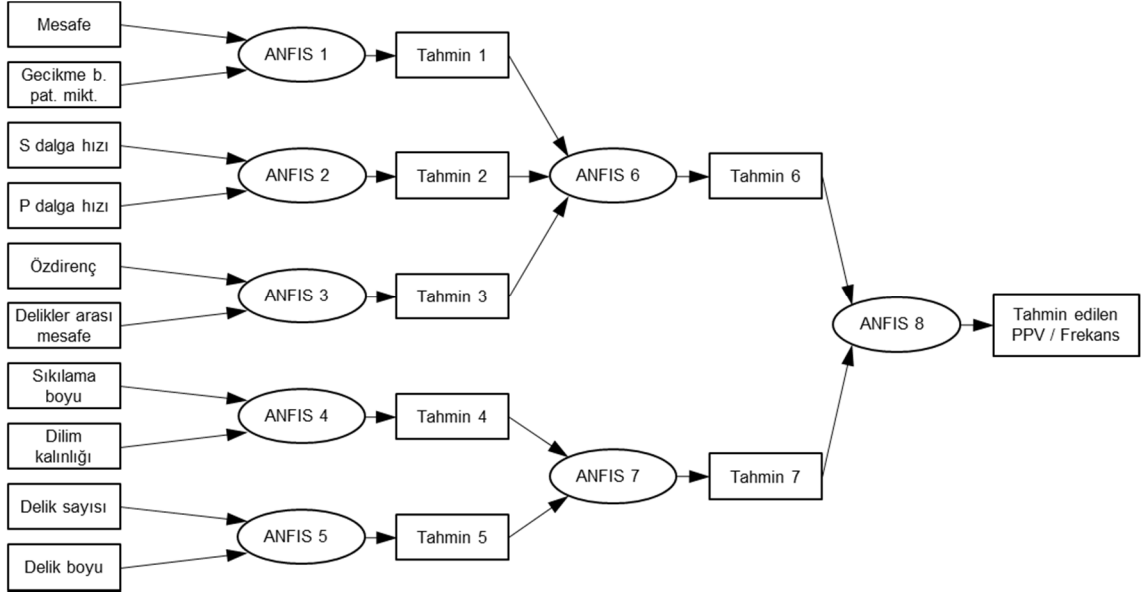
6. Katman: Toplam katmandır. Bu katmanda sadece bir düğüm vardır ve  $\Sigma$  ile etiketlenmiştir. Burada, 5. katmandaki her bir düğümün çıkış değeri toplanarak sonuçta, ANFIS sisteminin gerçek çıktı değeri elde edilir. Sistemin çıkış değeri olan  $y$ 'nin hesaplanması ise Eşitlik 3.40'da verilmiştir (Jang, 1993).

$$y = \sum_{i=1}^n \bar{\mu}_i [p_i x_1 + q_i x_2 + r_i] \quad [3.40]$$

ANFIS modelinin ana kısıtlaması, girdi değişkenlerinin sayısı ile ilgilidir. Eğer ANFIS girişleri beşi aşarsa, hesaplama zamanı ve kural numaraları artar, dolayısıyla ANFIS girdilere göre çıktıyı modelleyemez. Bu sorunu aşmak için giriş parametre sayısı beş ve daha az olan gruplar oluşturularak modelleme yapılabilir. Hangi girdi parametrelerinin kombinasyonunun en iyi ANFIS sonuçlarını en yüksek doğrulukla üretebileceğini araştırmak için farklı şemalar geliştirilebilir (Khoshnevisan ve ark, 2014). Bu çalışmada giriş parametre sayısı 10 olduğundan Şekil 3.21'de verilen şemaya uygun model çalışması yapılmıştır.

Tez çalışmaları kapsamında; ANFIS modelinin kurulması ve uygun olan modelin seçilmesi ile farklı birçok ağ modeli üzerinde değişik eğitim algoritmaları kullanılarak ve bunlara ait parametreler değiştirilerek her model ve eğitim algoritması için birçok deneme yapılmıştır. ANFIS modelinin eğitilmesi için kullanılacak veri tabanı eğitim (veri tabanının  $\frac{1}{2}$ 'sini kapsayacak şekilde), test (veri tabanının  $\frac{1}{4}$ 'ünü kapsayacak şekilde) ve kontrol (veri tabanının  $\frac{1}{4}$ 'ünü kapsayacak şekilde) 3 bölüme ayrılmaktadır. Bu ayırım tamamen rastgele olarak veriler üzerinde herhangi bir kriter göz önünde bulundurulmadan yazılan kod aracılığı ile yapılmaktadır. Eğitim ve test verileri ANFIS modelinin eğitilmesi ve eğitimin kontrolü için sisteme sunulur iken, kontrol verileri kesinlikle modelin eğitiminin hiçbir basamağında yer almamaktadır. Kısaca kontrol veri seti hakkında oluşturulan ANFIS modelinin herhangi bir bilgisi yoktur. ANFIS modeli kurulduktan sonra modelin doğruluğu yani hiç görmediği veriler üzerindeki başarısını test etmek amacı ile sisteme sunulur. Model çıktıları sistemin başarısı hakkında en önemli parametredir.

Verilerin eğitim sırasında aşırı uyum ve aşırı eğitim problemlerinin önlenmesi amacıyla; modele daha önce hiç görmediği bir veri seti verilerek kontrol edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ANFIS tahmin modelinde aşırı uyum ve aşırı eğitim probleminin olmadığını göstermiştir.



Şekil 3.21 PPV ve Frekans tahmini için geliştirilen ANFIS şeması.

### 3.4.4.3 SPSS istatistik programı

Tez çalışmaları kapsamında elde edilen verilerin değerlendirilmesi amacıyla kullanılan bir diğer yazılım IBM SPSS 20 paket programıdır (Anonim22, 2018). Program temel ve ileri derecede istatistiksel analiz yapmaya imkân sunmaktadır. Genetik algoritma ve ANFIS modelleri yapılan parçacık hızı ve frekans tahmini sonuçları bu program ile iki veya daha fazla bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkilerini göstermeye yarayan çoklu regresyon analizi yapılarak yeni bir parçacık hızı ve frekans denklemi elde edilmiştir. Çoklu regresyon analizi için kullanılan eşitlik;

$$\hat{y} = b_0 + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + b_n * x_n \quad [3.41]$$

Burada;

- $\hat{y}$  : Tahmin edilen y değeri
- $x_1, x_2, \dots, x_n$  : Bağımsız değişkenler
- $b_0$  : Tahmin edilen regresyon kesim noktası
- $b_1, b_2, \dots, b_n$  : Tahmin edilen eğim katsayıları



#### 4. ARAZİ ÇALIŞMALARI VE ÖLÇÜM SONUÇLARI

EÜAŞ Kangal Kömür, Eti Maden Bigadiç Bor, Eti Maden Kırka Bor, TKİ Çan Kömür ve TKİ Tunçbilek Kömür Açık İşletmeleri'nde farklı zamanlarda gerçekleştirilen ölçüm sonuçları detaylı olarak değerlendirilmiştir.

EÜAŞ Kangal Kömür Açık İşletmesi'nden blok halinde ve Eti Maden Bigadiç Bor Açık İşletmesi'nden yerinde karot halinde elde edilen kaya numuneleri Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü kaya mekaniği laboratuvarına getirilmiş ve bu numuneler üzerinde bazı standart kaya mekaniği deneyleri yapılmıştır. Eti Maden Kırka Bor, TKİ Çan Kömür ve TKİ Tunçbilek Kömür Açık İşletmeleri'nde sağlam karot elde edilememiştir. Ayrıca her beş sahada da Nokta Yük Dayanımı ve Schmidt Sertliği ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yine her beş sahada da jeoteknik çalışmalar yapılmış ve kaya kütleleri bu veriler ışığında sınıflandırılmıştır. Sahalarda değerlendirme çalışmalarında kullanılan RMR1989 değerleri bölgeler ve birimler bazında doğrudan ölçümlerle belirlenmiş, bu sınıflamada esas olan RQD değerleri ise Eşitlik 3.3 ve 3.4'den yararlanılarak hesaplanmıştır.

##### 4.1 Kangal Kömür Açık İşletmesi

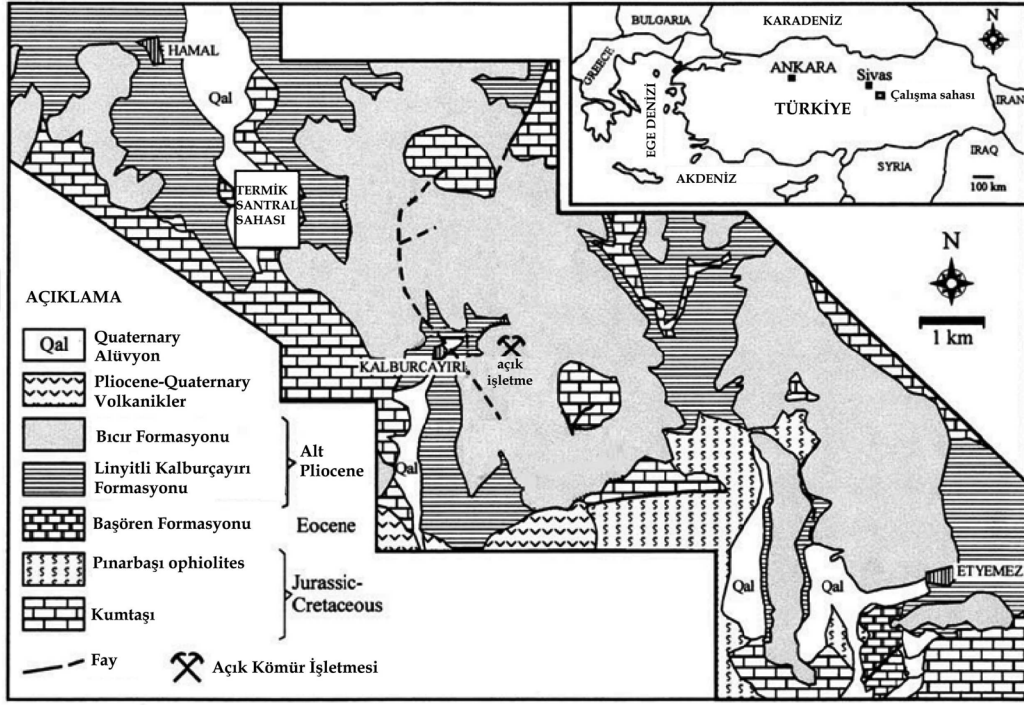
Kangal Kömür Açık İşletmesi; Sivas'ın yaklaşık 100 km güneydoğusunda, Kangal İlçesi'nin 25 km güneyindeki Kalburçayırı mevkiinde bulunmaktadır. Sahada kömür üretimi, kamyon-ekskavatör/dragline uygulamalarına dayalı açık işletme yöntemiyle yapılmaktadır (Şekil 4.1). Yıllık kömür üretimi 3-6 milyon ton arasında değişmekte, buna karşılık 9-18 milyon m<sup>3</sup> dekapaj yapılmaktadır. Bu sahadaki atımlar ağırlıklı olarak gevşetme amaçlıdır. Delme işlemlerinde 23-25 cm çaplı matkaplar kullanılmakta, basamak yüksekliğine bağlı olarak delik boyları 11,5-19 m, dilim kalınlıkları 3-10 m ve delikler arası mesafe 6,75-12,35 m aralığında değişmektedir. Patlayıcı madde olarak ANFO kullanılmaktadır.



Şekil 4.1 Kangal Kömür Açık İşletmesi genel görünümü.

#### 4.1.1 Jeoloji

Kangal Kömür Açık İşletmesi, İç Anadolu'daki önemli linyit havzalarından biri olup Hamal, Kalburçayırı ve Etyemez linyit sahalarını içermektedir (Şekil 4.2). Çalışma sahası Kalburçayırı mevkiinde bulunmaktadır. Kalburçayırı havzasında iki farklı kömür tabakası mevcut olup alt ısıl değeri 600-1500 kcal/kg arasında değişen kömür kaynakları, Elektrik Üretim A.Ş. Genel Müdürlüğü'nün (EÜAŞ) Kangal ilçesi yakınına kurmuş olduğu termik santralde kullanılmaktadır.

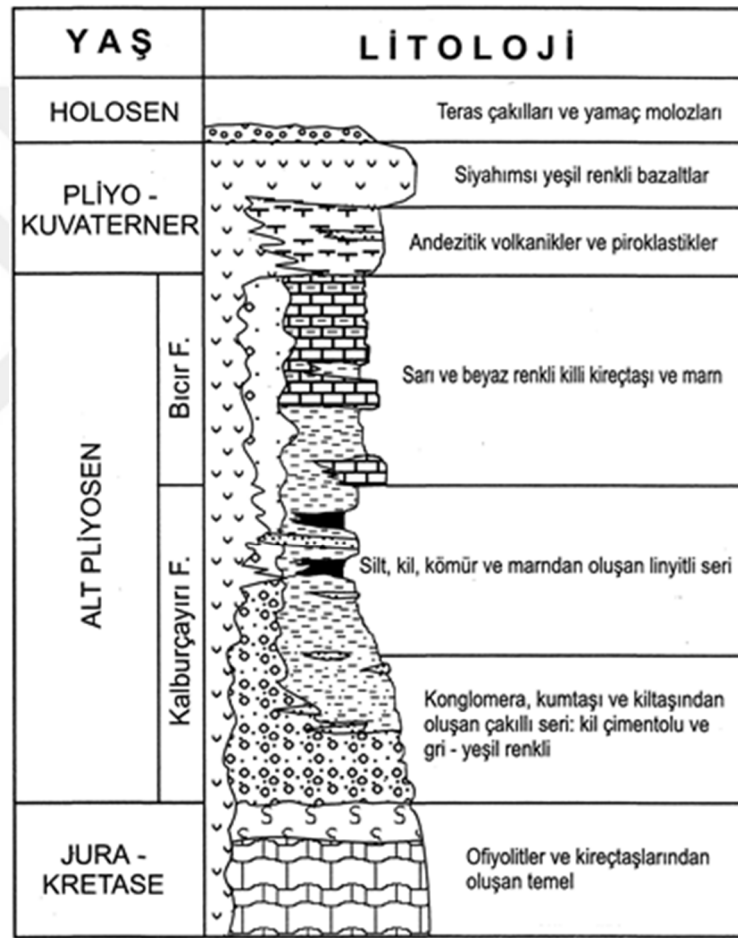


Şekil 4.2 Kangal Kömür Açık İşletmesi'nin jeolojik haritası.\*

\* (Utku, 1976; Narin ve Kavuşan, 1993; Tercan ve Karayiğit, 2001'den değiştirilerek alınmıştır)

Çalışma alanının içerisinde bulunduğu Sivas Tersiyer Havzası Ketin'in (1966) Anadolu'nun tektonik birlikleri sınıflandırmasında Anatolid'lerin doğu ucuna karşılık gelmektedir. KD-GB yönünde uzanan ve doğuya doğru daralan havza kuzeyde Pontid kuşağı, güneyde ise Torid kuşağı ile sınırlandırılmıştır. Havzanın gelişimindeki başlıca olay diğer Orta Anadolu havzalarında olduğu gibi Erken Tersiyer'den itibaren Neotetis'in kuzey kolunun kapanmaya başlamasıdır. Sivas Havzası çarpışması ile ilgili tipik bir ön ülke havzası olup (Görür ve ark., 1998) üst Paleosen'de oluşmaya başlamış ve Orta Miyosen'de evrimini tamamlamıştır. Orta-Üst Miyosen'de ise neotektonik ova rejimi altında intrakratonik basenle gelişmiş olup bu rejim Geç Pliyosen'e kadar devam etmiştir (Şengör, 1979; Görür ve ark., 1998). Bu dönemde oluşan havzalardan birisi olan Kangal havzası da Orta Miyosen-Geç Pliyosen yaşlı akarsu, göl ve/veya playa çökellerinden oluşmaktadır (Erik, 2010). İnceleme alanının çevresinde Toros kuşağına ait karbonat ve ofiyolitik kayalar ile Sivas havzasına ait kayalar bulunmakta olup Yılmaz (1998) tarafından Kangal havzasının Sivas havzası üzerinde çek-ayır özellikte oluştuğu belirtilmiştir. Tipik olarak Kalburçayırı civarında gözlenmesi nedeniyle Utku (1976) tarafından Kalburçayırı

formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birim daha yaşlı birimler üzerine açısız uyumsuzlukla gelmiş olup kalınlığı yaklaşık 120 m'dir (Şekil 4.3). Formasyonun tabanında çakıllarla başlayıp kumtaşı ve kilitaşı ile devam eden kaba kırıntılı bir düzey bulunmaktadır. Çakıllar Mezozoik ve Eosen yaşlı olup tane boyu ve türü oldukça değişkendir. Bu seviye daha genç olan killi ve kömürlü seri tarafından örtülmesi nedeniyle yaygın yüzlek alanına sahip değildir. Yanal ve düşey olarak kumtaşlarına geçer. Bu serinin üzerinde silt ve killerle başlayan, üste doğru kömür, kil ve marn litolojisiyle devam eden, kalınlığı 30-60 m arasında değişen kömürlü bir istif gelmektedir ve bu seri içerisinde başlıca üç kömür damarı bulunmaktadır. Bahsedilen bu damarlar arasındaki ara kesimler tüfit ve kil özelliğindedir. Özellikle kömür damarının kalınlaştığı kısımlar gölün en derin kesimlerini ifade etmektedir.



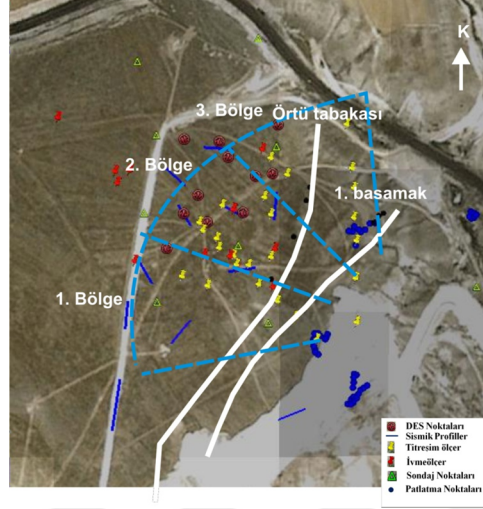
**AÇIKLAMALAR**

	Çakıllı taşı		Piroklastikler		Volkanikler		Kireçtaşı
	Kömür		Marn, şeyl		Ofiyolit		

**Şekil 4.3** Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti.  
(Narin ve Kavuşan, 1993'ten değiştirilerek alınmıştır)

#### 4.1.2 Arazi çalışmaları

Kangal Kömür Açık İşletmesi'ne ait sismik profil (MASW ve ReMi), ivmeölçer, yer sarsıntısı ölçer, DES, sondaj ve patlatma lokasyonları yaklaşık olarak Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4 Kangal Kömür Açık İşletmesi çalışma noktaları.

##### 4.1.2.1 Jeofizik ölçüm sonuçları

Sahada düşey elektrik sondaj (DES) ve sismik (çok kanallı yüzey dalgası analizi (MASW) ve kırılma-mikrotremor (ReMi) yöntemleri) ölçümler yapılmış ve sonuçları Çizelge 4.1-4.3'de toplu olarak sunulmuştur. DES çalışmaları 9 noktada Schlumberger elektrot dizilimi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde kullanılan AB/2 değerleri 50-260 m aralığında alınmıştır.

Arazide gerçekleştirilen sismik ölçüm çalışmaları kapsamında; elde edilen sismik hız ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması ve değerlerin doğruluğunun kontrolünü sağlamak amacıyla, MASW ve ReMi Yüzey Dalgası analiz yöntemleri olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmıştır. MASW yönteminde; alıcı olarak 12 adet 4,5 Hz P (düşey-bileşenli) jeofon kullanılmış ve jeofon aralıkları 4 m ve ofset uzaklıkları 6 m olarak alınmıştır. Her bir atış istasyonunda sinyal/gürültü oranını arttırmak için 8 kg'lık bir balyoz ve demir plaka kullanılarak ardarda 5 vuruş gerçekleştirilmiş ve veriler 1024 ms kayıt uzunluğu ve 250 µs örnekleme aralığı kriterleri baz alınarak kaydedilmiştir. ReMi yönteminde; MASW yönteminde olduğu gibi, alıcı olarak 12 adet 4,5 Hz P (düşey-bileşenli) jeofon kullanılmış ve zeminin doğal sarsıntıları 16384 ms kayıt uzunluğu ve 1024 µs örnekleme aralığı kriterleri baz alınarak kaydedilmiştir. Her bir noktada 20 adet kayıt üst üste yığılarak veri genliği güçlendirilmiştir.

Çalışma alanına ait jeofiziksel ölçümler (MASW, ReMi ve DES) ve saha gözlemleri aracılığıyla elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda her bir formasyon için birim tanımlaması, öz direnç ve sismik hız değerleri belirlenmiş ve ölçüm alanı jeolojik yapı itibarıyla 3 bölgeye ayrılmıştır (Çizelge 4.1-4.3). 1 ve 3 numaralı bölgeler; alüvyon, killi kireçtaşı ve kireçtaşı birimlerinden oluşurken 2 numaralı bölge alüvyon, kireçtaşı, marn ve kireçtaşı birimlerinden oluşmaktadır.

**Çizelge 4.1** 1. Bölge birimleri ve özellikleri (Görgülü ve ark, 2013)

Formasyon	Alüvyon	Killi Kireçtaşı	Kireçtaşı
Kalınlık (m)	2	15	8
Özdirenç ( $\Omega m$ )	56,4	42,8	179
S-dalga hızı ( $V_s$ , km/s) (MASW yöntemi)	0,19	0,36	0,67
P-dalga hızı ( $V_p$ , km/s) (Sismik kırılma yöntemi)	0,3	0,65	1,3
Yoğunluk ( $kg/m^3$ )	1,66	1,73	1,86
Dinamik Poisson oranı	0,165	0,279	0,319
$V_p/V_s$ (güvenlik katsayısı)	1,58	1,81	1,94
Dinamik Young modülü ( $E_d$ , GPa)	0,14	0,573	2,203
Dinamik rijitide modülü ( $G_d$ , GPa)	0,06	0,224	0,835
Dinamik hacim modülü ( $K_d$ , GPa)	0,069	0,432	2,03
Tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma$ , MPa)	0,21	2,13	17,05
Kaya kalite belirteci (RQD, %)	-	-	64,36
Doğrusal çatlak yoğunluğu ( $L$ , $m^{-1}$ )	-	-	2,97
Çatlak yoğunluğu ( $C$ , $m/m^2$ )	-	-	0,11
Süreksizlik indeksi	-	-	1,19
Kaya kütlesi oranı (RMR, %)	-	2,96	14,12
Q sınıflaması	-	0,0014	0,0063
Gözeneklilik ( $f$ , %)	56,18	42,65	30,52

**Çizelge 4.2** 2. Bölge birimleri ve özellikleri (Görgülü ve ark, 2013)

Formasyon	Alüvyon	Kireçtaşı	Marn	Kireçtaşı
Kalınlık (m)	0,5	12	3	9,5
Özdirenç ( $\Omega m$ )	56,7	240	101	430
S-dalga hızı ( $V_s$ , km/s) (MASW yöntemi)	0,24	0,45	0,28	0,5
P-dalga hızı ( $V_p$ , km/s) (Sismik kırılma yöntemi)	0,38	1,2	0,75	1,5
Yoğunluk ( $kg/m^3$ )	1,676	1,84	1,75	1,9
Dinamik Poisson oranı	0,168	0,418	0,419	0,438
$V_p/V_s$ (güvenlik katsayısı)	1,58	2,67	2,68	3
Dinamik Young modülü ( $E_d$ , GPa)	0,226	1,057	0,389	1,366
Dinamik rijitide modülü ( $G_d$ , GPa)	0,097	0,373	0,137	0,475
Dinamik hacim modülü ( $K_d$ , GPa)	0,113	2,153	0,801	3,642
Tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma$ , MPa)	0,43	13,41	3,27	26,19
Kaya kalite belirteci (RQD, %)	-	55,57	-	78,66
Doğrusal çatlak yoğunluğu ( $L$ , $m^{-1}$ )	-	3,7	-	1,78
Çatlak yoğunluğu ( $C$ , $m/m^2$ )	-	0,14	-	0,07
Süreksizlik indeksi	-	1,48	-	0,71
Kaya kütlesi oranı (RMR, %)	-	6,2	0,08	8
Q sınıflaması	-	0,005	0,0018	0,01
Gözeneklilik ( $f$ , %)	52,05	31,92	40,15	28,02

**Çizelge 4.3** 3. Bölge birimleri ve özellikleri (Görgülü ve ark, 2013)

Formasyon	Alüvyon	Killi Kireçtaşı	Kireçtaşı
Kalınlık (m)	3	10	12
Özdirenç ( $\Omega m$ )	60,9	42,8	518
S-dalga hızı ( $V_s$ , km/s) (MASW yöntemi)	0,22	0,3	0,62
P-dalga hızı ( $V_p$ , km/s) (Sismik kırılma yöntemi)	0,35	0,56	1,1
Yoğunluk ( $kg/m^3$ )	1,67	1,712	1,82
Dinamik Poisson oranı	0,173	0,299	0,267
$V_p/V_s$ (güvenlik katsayısı)	1,59	1,87	1,77
Dinamik Young modülü ( $E_d$ , GPa)	0,19	0,4	1,773
Dinamik rijitide modülü ( $G_d$ , GPa)	0,081	0,154	0,7
Dinamik hacim modülü ( $K_d$ , GPa)	0,097	0,331	1,269
Tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma$ , MPa)	0,33	1,36	10,33
Kaya kalite belirteci (RQD, %)	-	-	44,6
Doğrusal çatlak yoğunluğu ( $L$ , $m^{-1}$ )	-	-	4,62
Çatlak yoğunluğu ( $C$ , $m/m^2$ )	-	-	0,18
Süreksizlik indeksi	-	-	1,85
Kaya kütlesi oranı (RMR, %)	-	0,8	12,32
Q sınıflaması	-	0,0011	0,004
Gözeneklilik ( $f$ , %)	53,49	45,26	33,45

#### 4.1.2.2 Kaya mekaniği arazi ve laboratuvar deney sonuçları

Kangal Kömür Açık İşletmesi'nde bölgelerin kaya kütle sınıflaması (RMR) ve jeolojik dayanım indeksi (GSI)'ne göre değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4'de, kireçtaşı, killi kireçtaşı ve marn birimleri üzerinde gerek arazi gerek laboratuvar da gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.5' de verilmiştir.

**Çizelge 4.4** Kangal Kömür Açık İşletmesi kaya kütle sınıflaması (RMR) ve jeolojik dayanım indeksine (GSI) göre sınıflama sonuçları

Bölge	Formasyon	RMR (%)	GSI
1	Killi Kireçtaşı	32,80	18-25
	Kireçtaşı		10-15
	Kireçtaşı		22-33
2	Marn	38,36	12-18
	Kireçtaşı		15-25
3	Killi Kireçtaşı	29,20	16-25
	Kireçtaşı		8-14

**Çizelge 4.5** Kangal Kömür Açık İşletmesi kaya mekaniği arazi ve laboratuvar deney sonuçları

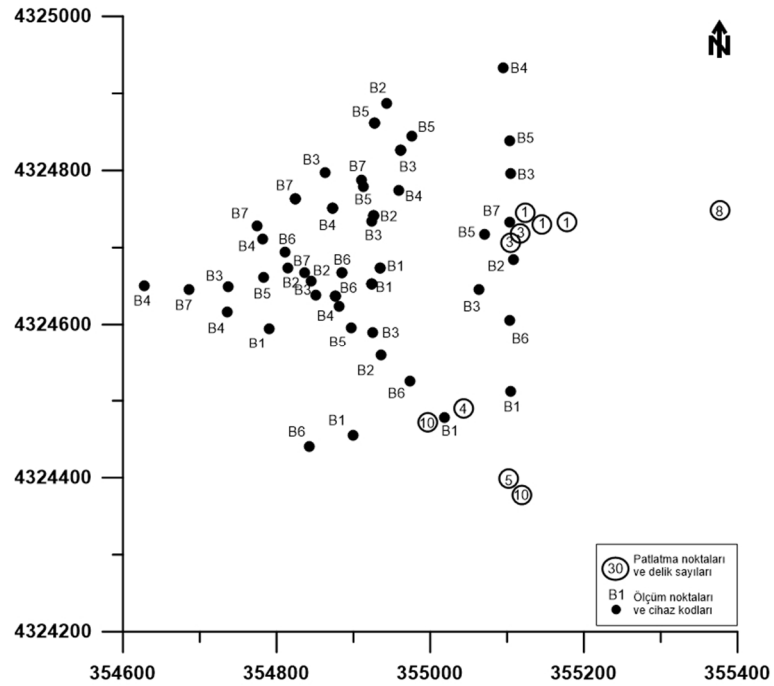
Özellikler Kaya Birimi	Min. Tane (Tabii) Yoğunluğu (gr/cm <sup>3</sup> )	Toplam (Etkili) Gözeneklilik (%)	Kuru Birim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Nem Oranı (%)	Dolaylı Çekme Dayanımı (MPa)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	Ultrasonik P Dalga Hızı (m/s)	Elastisite Modülü (GPa)	Poisson Oranı	Nokta Yükü Day. (Is(50)) (MPa)	Schmidt Sertliği
Kireçtaşı	2,66	12,38	2,38	4,68	-	28,90	2290,80 (2048,19- 2487,80)	36,00	0,229	2,02	36,74
	2,63-2,69 (2,41)	5,29-19,47 (10,66)	2,20- 2,56)			±7,40 (20,10- 47,99)				±1,82 (0,30- 6,17)	±15,72 (14-59)
	(2,24-2,57)	(5,03-16,29)									
Killi Kireçtaşı	2,67	42,32	1,88	14,43	2,70±1,57 (1,31-6,51)	16,50	671,01 (469,51- 950,63)	-	-	0,51	20,33
	- (1,95)	40,53-44,10 (29,72)	1,85- 1,90)			±1,38 (14,43- 18,49)				±0,34 (0,21- 1,20)	±6,02 (12-32)
	(1,93-1,98)	(28,84-30,60)									
Marn	2,70	35,17	2,02	9,67	-	21,35	491,95 (371,04- 647,31)	-	-	0,66	16,22
	(2,68-2,71) (2,09)	19,01-51,32 (24,95)	1,79- 2,25)			±1,89 (19,14- 25,10)				±0,25 (0,34- 1,10)	±3,93 (10-22)
	(1,88-2,29)	(15,98-33,91)									

#### 4.1.2.3 Parçacık hızı ve hava şoku ölçüm sonuçları ve değerlendirilmesi

31 Mart-6 Haziran 2011 tarihleri arasında dekapaj faaliyetleri sırasında yapılan 10 adet atım (Çizelge 4.6) 7 adet InstanTEL marka patlatma sarsıntı ölçer cihazla (5 adet InstanTEL Minimate Blaster [B1-B5], 1 adet InstanTEL Minimate Plus [B6] ve 1 adet InstanTEL DS677 [B7]) değişik yön ve mesafelerde ölçülmüştür (Şekil 4.5), Bu ölçümlerde 69 patlatma sarsıntı verisi üç eksenli (boyuna, enine ve düşey) olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.6 Kangal Kömür Açık İşletmesi'nde yapılan atımlar

Atım No	Delik Sayısı	Sıra Sayısı	Ortalama Dilim Kalınlığı (m)	Ortalama Delikler Arası Mesafe (m)	Ortalama Delik Boyu (m)	Ortalama Sıkılama Miktarı (m)	Toplam Patlayıcı Madde Miktarı (kgAnfo)	Gecikme Başına Maksimum Patlayıcı Miktarı (kgAnfo)
1	10	1	9,3	8,47	13,5	4,5	2590	270
2	5	1	9,5	9,5	13	4,5	1330	270
3	3	1	7,9	12,35	11,5	5,5	740	255
4	3	1	10	8,8	13	5,5	640	240
5	4	1	6,1	8,53	18	9,25	1240	350
6	1	1	6,4	-	14	6,5	250	250
7	1	1	7,7	-	13	6	225	225
8	1	1	8,3	-	12	6	200	200
9	8	1	3	7,38	13	6	2140	280
10	10	1	8,6	6,75	19	8	3960	450



Şekil 4.5 Kangal Kömür Açık İşletmesi atım ve ölçüm noktaları.



**Çizelge 4.7** Kangal Kömür Açık İşletmesi'nde yapılan atımlara ait sarsıntı verileri

Atım No	Cihaz Kodu	Atım Kotu	Ölçüm Mesafesi (R) (m)	Ölçekli Mesafe		Parçacık Hızı ve Frekansı							Deplasman			İvme			Hava Şoku ve Frekansı			
				SD <sub>1</sub>	SD <sub>2</sub>	Enine		Düşey		Boyuna		Bileşke	Maksimum									
				RW <sup>0.5</sup>	RW <sup>0.33</sup>	(PPVT)	(PPVV)	(PPVL)	(PVS)	(PPV)	Enine	Düşey	Boyuna	Enine	Düşey	Boyuna	Enine	Düşey	Boyuna	pa(L)	Hz	
				mm/sn	Hz	mm/sn	Hz	mm/sn	Hz	mm/sn	mm/sn	Hz	mm	mm	mm	mm/sn <sup>2</sup>	mm/sn <sup>2</sup>	mm/sn <sup>2</sup>				
1	B1	1611	140	8,52	22,07	23,5	7,8	22,2	30	27,6	4	29,9	27,6	4	0,375	0,617	0,675	0,683	1,07	0,809	33,8	4,8
	B6		206	12,54	32,47	17,3	5,5	20,6	32	18,5	5,1	26,6	20,6	32	0,419	0,7	0,419	0,424	0,477	0,464	26	7,5
	B2		256	15,58	40,35	18	7,1	14,6	15	13,8	4,5	22,4	18	7,1	0,356	0,424	0,418	0,318	0,318	0,464	18,3	5,7
	B5		308	18,74	48,55	14,7	8,4	16,5	16	13,5	4,8	19,2	16,5	16	0,283	0,391	0,394	0,159	0,252	0,186	13	6,4
	B3		370	22,52	58,32	10,2	5,7	13,2	17	12,3	6	15,1	13,2	17	0,208	0,32	0,342	0,345	0,265	0,239	7	7,2
	B7		421	25,62	66,36	7,49	3	9,4	14	8,64	6	11,4	9,4	14	0,309	0,178	0,242	0,133	0,159	0,159	13	8
	B4		471	28,66	74,25	5,97	3,6	6,35	20	6,86	15	8,41	6,86	15	0,278	0,181	0,167	0,0795	0,119	0,106	4,75	12
2	B1	1540	99	6,02	15,61	57,4	7,4	56,5	7,3	52,6	5,4	76	57,4	7,4	1,35	1,42	1,43	0,689	0,822	0,57	73,3	4,7
	B6		192	11,68	30,27	23,4	85	25,7	4,5	23,6	43	29,5	25,7	4,5	0,389	0,934	0,569	1,48	0,875	1,38	41,3	3
	B2		271	16,49	42,72	17,4	4,7	18,7	4,2	17,4	6,8	19,3	18,7	4,2	0,509	0,59	0,557	0,172	0,225	0,371	23,5	3,4
	B5		320	19,47	50,44	13,8	7,4	20,8	47	11,3	14	21,8	20,8	47	0,463	0,401	0,352	0,252	0,888	0,331	16	5,9
	B3		383	23,31	60,37	12,2	7,2	22,2	37	12,3	10	22,3	22,2	37	0,396	0,361	0,291	0,225	0,517	0,278	13	5,6
	B7		426	25,93	67,15	10,5	3	16,9	39	8,89	5	17	16,9	39	0,465	0,384	0,258	0,146	0,544	0,292	13	6
	B4		520	31,65	81,97	20,6	5,4	10,5	18	13	4	21,4	20,6	5,4	0,549	0,532	0,43	0,146	0,292	0,159	6,75	2,9
3	B1	1580	164	10,27	26,34	62,9	8,1	56,4	8,3	69	7	88,6	69	7	1,28	1,06	1,52	1,44	0,583	0,398	53,8	5,3
	B6		215	13,46	34,54	22,1	9,1	18	4,7	25,5	7,8	28,5	25,5	7,8	0,475	0,536	0,516	0,597	0,636	0,53	34,3	6
	B2		263	16,47	42,25	20,6	7,6	30,1	34	23,4	23	31,4	30,1	34	0,428	0,566	0,428	0,199	0,65	0,451	34,5	4,2
	B5		316	19,79	50,76	14,9	3,6	14,9	20	10,3	6	18,6	14,9	20	0,377	0,389	0,226	0,106	0,292	0,172	24	4,2
	B3		363	22,73	58,31	11,8	7,4	17,3	24	21,1	30	21,1	21,1	30	0,291	0,335	0,208	0,172	0,239	0,384	29	3,9
	B7		414	25,93	66,50	10,2	6	7,6	15	7	8	11,9	10,2	6	0,014	0,012	0,0178	0,583	1,06	0,49	14	3
	B4		471	29,50	75,66	6,98	8,4	4,95	7	7,24	3,7	8,67	7,24	3,7	0,184	0,151	0,268	0,0663	0,0663	0,0663	9	4,2

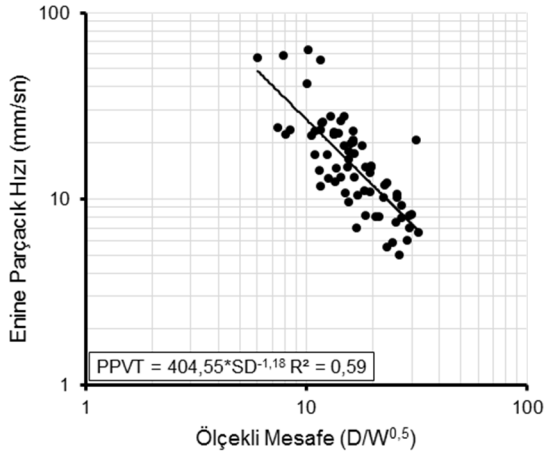
Çizelge 4.7 Devamı

4	B1	181	11,68	29,66	55,6	7,8	35,7	8,5	57	8,5	67,7	57	8,5	1,16	0,662	1,09	0,318	0,345	0,331	40	4,8	
	B6	230	14,85	37,69	27,7	6,9	21,2	7,3	17,9	6,7	32,4	27,7	6,9	0,604	0,563	0,42	0,464	0,49	0,318	28,5	3,5	
	B2	231	14,91	37,86	19,3	51	45,7	47	28,4	26	47,6	45,7	47	0,318	0,578	0,467	0,729	1,75	0,636	23,3	4,4	
	B5	1580	178	11,49	29,17	14,2	64	24,6	43	22,1	6,5	29,7	24,6	43	0,318	0,374	0,53	0,703	1,13	1,03	38,8	5,1
	B3	255	16,46	41,79	20,1	7,2	22,5	5,1	23,2	7,1	30,1	23,2	7,1	0,387	0,682	0,46	0,345	0,742	0,318	33,3	5,6	
	B7	207	13,36	33,92	22,7	4	23,6	57	45,8	7	47,6	45,8	7	0,574	0,599	0,905	0,411	0,703	0,517	37,5	7	
	B4	157	10,13	25,73	41,5	8,4	34,5	47	74,3	6,7	78,2	74,3	6,7	0,738	0,645	1,61	0,424	1,13	0,451	61,5	6,8	
5	B1	140	7,48	20,26	23,9	3,4	52,3	5,3	41,5	4	59,3	52,3	5,3	0,694	1,5	1,27	0,199	0,278	0,345	41,3	4,2	
	B6	199	10,64	28,79	21,8	5,1	22,2	4,8	37,5	4	39	37,5	4	0,878	0,805	1,03	0,186	0,239	0,212	46,8	4,5	
	B2	151	8,07	21,85	22,1	6,7	37,1	8,4	28,8	5,7	41,5	37,1	8,4	0,564	0,648	0,54	0,265	0,358	0,278	41	3,7	
	B5	1570	220	11,76	31,83	25,5	5,5	27,4	7,3	23,9	4,9	29,9	27,4	7,3	0,656	0,732	0,643	0,225	0,623	0,371	30,3	5,6
	B3	148	7,91	21,42	58,7	11	44,6	7,6	83,4	12	95,2	83,4	12	1,03	1,08	1,15	0,994	0,954	0,954	40,8	5,3	
	B4	206	11,01	29,81	17,3	11	24,1	4,7	41,9	6,3	42,6	41,9	6,3	0,284	0,6	0,893	0,239	0,225	0,225	25,8	5,7	
6	B1	217	13,72	35,09	14,5	11	13,6	3,2	16,6	2,4	20,2	16,6	2,4	0,307	0,441	0,389	0,212	0,133	0,278	28,3	3,3	
	B6	267	16,89	43,17	6,98	47	19,9	7,4	13	7	20	19,9	7,4	0,132	0,413	0,315	0,239	0,437	0,331	23,3	2,5	
	B2	206	13,03	33,31	27,7	7,6	20,7	57	18,4	6,6	31,8	27,7	7,6	0,617	0,417	0,368	0,239	0,809	0,557	24	3,9	
	B5	1586	248	15,68	40,10	16,3	8,5	28,1	47	21,3	7,1	28,3	28,1	47	0,274	0,367	0,404	0,583	0,994	0,398	18,8	4,2
	B3	201	12,71	32,50	12,8	6	27,1	51	29,2	7,5	29,9	29,2	7,5	0,311	0,367	0,476	0,398	1,09	0,517	31	4,3	
	B7	310	19,61	50,12	10,9	6	12,3	26	16,4	8	17	16,4	8	0,284	0,259	0,315	0,265	0,278	0,186	20,5	4	
	B4	260	16,44	42,04	23	6	14,2	34	20,7	8	26,7	23	6	0,584	0,411	0,408	0,278	0,451	0,159	20,3	3,9	
7	B1	232	15,47	38,84	14,7	7,9	14,5	7,6	13,5	7,5	18	14,7	7,9	0,267	0,307	0,33	0,159	0,133	0,239	17,5	3,3	
	B6	281	18,73	47,04	8,13	64	16,9	32	14,1	7,2	18,4	16,9	32	0,331	0,317	0,278	0,49	0,278		24	8,8	
	B2	216	14,40	36,16	26,3	6,3	21,2	64	16,9	8,7	27,1	26,3	6,3	0,489	0,325	0,284	0,278	0,862	0,716	18	4	
	B5	1592	250	16,67	41,85	13,1	9,1	25	51	18,4	7,1	25	25	51	0,222	0,313	0,312	0,49	0,809	0,49	18	4,3
	B3	204	13,60	34,15	12,3	9,1	25,3	51	26,3	7,5	27,1	26,3	7,5	0,193	0,313	0,42	0,398	1,15	0,65	27,5	4,3	
	B7	320	21,33	53,57	8	6	10,3	27	9,27	8	11,3	10,3	27	0,219	0,281	0,182	0,305	0,371	0,199	15,5	4	
	B4	270	18,00	45,20	19,3	6,3	17,1	43	14,4	7,2	19,6	19,3	6,3	0,454	0,331	0,295	0,371	0,504	0,199	18,5	9,7	

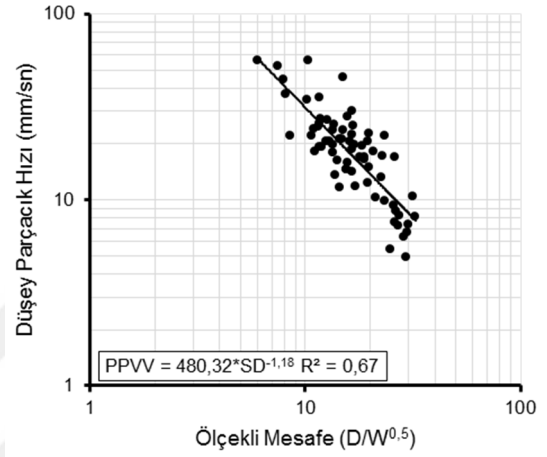
Çizelge 4.7 Devamı

	B1	242	17,11	42,12	10,4	7,6	11,8	7,8	11,6	6,5	13,4	11,8	7,8	0,226	0,331	0,321	0,119	0,146	0,159	15	4
	B6	292	20,65	50,82	8	57	18,2	30	10,3	7,5	18,9	18,2	30	0,127	0,331	0,286	0,278	0,477	0,292	19,3	8
	B2	227	16,05	39,51	19,8	8,5	20,8	57	16,8	8	22,1	20,8	57	0,386	0,316	0,255	0,305	0,756	0,49	19	4,1
8	B5 1584	259	18,31	45,08	11	73	19,6	47	15,1	7,3	22,7	19,6	47	0,164	0,303	0,288	0,504	0,716	0,504	17	4,7
	B3	213	15,06	37,07	10,7	73	23,7	57	23,4	6,9	24,4	23,7	57	0,16	0,303	0,413	0,464	0,901	0,517	20,5	4,3
	B7	330	23,33	57,43	5,46	6	9,91	27	7,24	4	10,8	9,91	27	0,148	0,286	0,255	0,144	0,398	0,159	15	4
	B4	281	19,87	48,91	14,7	6,7	22,7	43	12,7	8,7	22,8	22,7	43	0,316	0,328	0,293	0,278	0,663	0,199	13,5	3,7
	B1	453	27,07	70,56	9,14	2,9	7,24	2,9	7,49	2,8	11,4	9,14	2,9	0,47	0,393	0,427	0,0398	0,106	0,0398	20,8	2,7
	B6	503	30,06	78,34	8,25	2,6	7,37	3,1	4,57	2,7	10,9	8,25	2,6	0,451	0,361	0,282	0,119	0,146	0,106	22,3	3
	B2	442	26,41	68,84	4,95	4,9	8,76	2,8	9,91	2,8	10,6	9,91	2,8	0,201	0,451	0,516	0,053	0,146	0,0928	18,5	2,7
9	B5 1540	455	27,19	70,87	7,87	3,7	8,25	2,7	5,33	2,8	8,7	8,25	>100	0,333	0,472	0,256	0,106	0,186	0,133	15,3	2,6
	B3	414	24,74	64,48	5,84	3,4	5,46	2,4	8,76	3	9,96	8,76	3	0,253	0,361	0,484	0,0663	0,119	0,0795	21,3	2,5
	B7	544	32,51	84,73	6,6	4	8,13	3	4,95	3	8,27	8,13	3	0,348	0,406	0,359	0,053	0,133	0,0663	14	3
	B4	495	29,58	77,10	8,13	3,8	6,73	3	9,27	3,1	10,8	9,27	3,1	0,285	0,361	0,416	0,0398	0,119	0,053	17,5	2,7
	B1	248	11,69	33,03	11,6	5,4	19,4	11	20,3	7,4	21,3	20,3	7,4	0,385	0,314	0,441	0,119	0,186	0,146	15	6,6
	B6	284	13,39	37,82	22,1	9,5	19,7	15	26,4	11	29,2	26,4	11	0,336	0,317	0,388	0,159	0,172	0,225	15,8	4,3
	B2	234	11,03	31,16	23,2	12	18,2	20	26,2	9,7	33,7	26,2	9,7	0,516	0,313	0,424	0,212	0,225	0,225	14,3	6,6
10	B5 1575	298	14,05	39,69	22,5	7,1	16,3	8,3	16,1	9,7	25,1	22,5	7,1	0,447	0,511	0,422	0,119	0,146	0,119	11,5	3,4
	B3	252	11,88	33,56	25,8	8,7	19,4	10	34,5	8	41,2	34,5	8	0,548	0,562	0,64	0,225	0,358	0,292	13,5	8,5
	B7	333	15,70	44,35	9,53	4	15,9	6	13,8	8	17,4	15,9	6	0,264	0,29	0,283	0,0795	0,133	0,146	10	11
	B4	305	14,38	40,62	13,1	7,2	11,6	13	14,6	7,2	15,8	14,6	7,2	0,332	0,192	0,392	0,0795	0,133	0,119	8	7,9

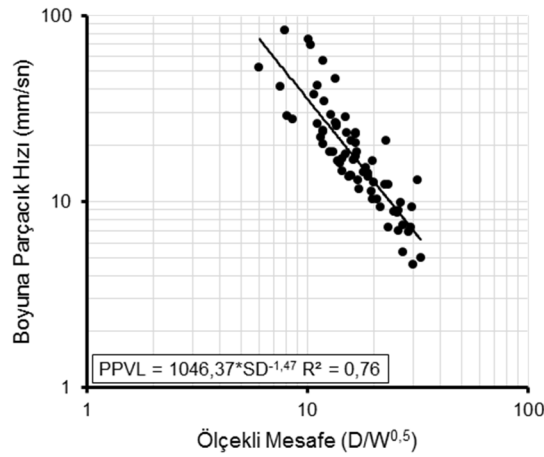
Ölçüm sonuçlarından elde edilen tüm parçacık hızı bileşenleri (enine, düşey, boyuna, tepe ve bileşke) ve hava şoku Eşitlik 2.19'da verilen parçacık hızı modeline göre değerlendirilmiş ve regresyon analizi yardımıyla saha sabitleri ( $K$  ve  $\beta$ ) belirlenmiştir (Şekil 4.6-4.11). Ayrıca parçacık hızı bileşenleri ve hava şoku değerleri literatürdeki 12 farklı tahmin yöntemine göre değerlendirilerek elde edilen saha sabitleri ve korelasyon katsayıları Çizelge 4.8'de sunulmuştur.



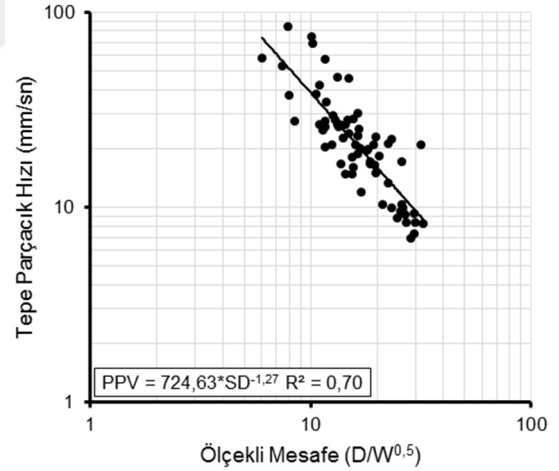
**Şekil 4.6** Enine tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.



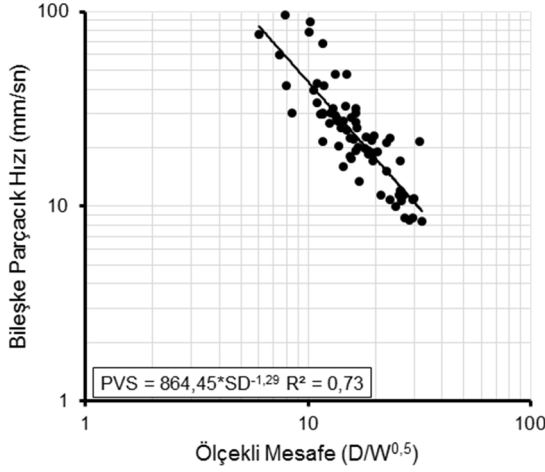
**Şekil 4.7** Düşey tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.



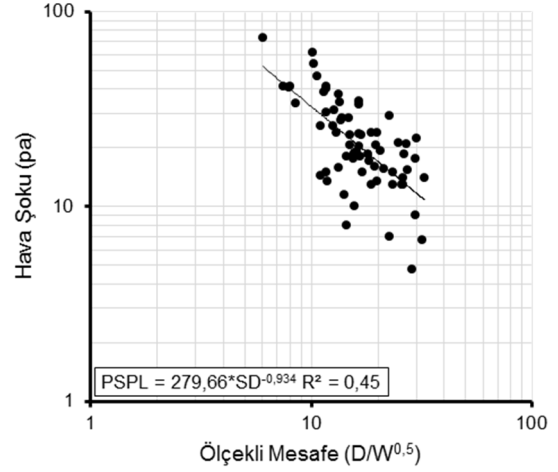
**Şekil 4.8** Boyuna tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.



**Şekil 4.9** Tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.



**Şekil 4.10** Bileşke parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.



**Şekil 4.11** Hava şoku-ölçekli mesafe ilişkisi.

**Çizelge 4.8** Parçacık hızı bileşenleri ve hava şoku değerlerinin literatürdeki tahmin yöntemlerine göre değerlendirilmesi

Eşitlik		$PPV = K \left( \frac{D}{\sqrt[3]{W}} \right)^\beta$					
1. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	1365,917	1776,768	4802,004	3392,177	2792,779	854,0199
	$\beta$	-1,209966	-1,239156	-1,511675	-1,339806	-1,316538	-0,99968
	R <sup>2</sup>	0,60	0,70	0,76	0,74	0,71	0,49
Eşitlik		$PPV = K \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^\beta$					
2. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	404,5479	480,3163	1046,369	864,4569	724,6346	279,6682
	$\beta$	-1,178724	-1,184943	-1,471394	-1,29813	-1,273526	-0,93405
	R <sup>2</sup>	0,59	0,67	0,76	0,73	0,70	0,45
Eşitlik		$PPV = K \left( \frac{\sqrt{W}}{\sqrt[3]{D}} \right)^\beta$					
3. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	123,014	139,7531	236,2516	230,2076	197,1767	101,7449
	$\beta$	1,506965	1,487727	1,879608	1,650957	1,617132	1,14543
	R <sup>2</sup>	0,58	0,64	0,74	0,71	0,67	0,41
Eşitlik		$PPV = K \left( \frac{W^{\frac{2}{3}}}{D} \right)^\beta$					
4. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	123,014	139,7531	236,2516	230,2076	197,1767	101,7449
	$\beta$	1,130224	1,115795	1,409706	1,238218	1,212849	0,859073
	R <sup>2</sup>	0,58	0,64	0,74	0,71	0,67	0,41
Eşitlik		$PPV = KD^\alpha W^\beta$					
5. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	987,7125	15670,73	3687,63	5270,501	5433,726	58619,77
	$\alpha$	-1,203585	-1,282009	-1,506478	-1,34848	-1,329639	-1,08293
	$\beta$	0,454826	0,067195	0,545841	0,376596	0,333105	-0,33861
	R <sup>2</sup>	0,60	0,72	0,76	0,74	0,71	0,57

Çizelge 4.8 Devamı

Eşitlik		$PPV = K\left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^\beta e^{\alpha D}$					
6. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	424,3956	133,4221	688,9298	557,388	384,5562	102,2974
	$\beta$	-1,207321	-0,420133	-1,221851	-1,03611	-0,895233	-0,33356
	$\alpha$	0,000112	-0,002985	-0,000974	-0,001023	-0,001477	-0,00234
	R <sup>2</sup>	0,59	0,72	0,76	0,74	0,71	0,48
Eşitlik		$PPV = K\left(\frac{D}{\sqrt[3]{W}}\right)^\beta e^{\alpha D}$					
7. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	3750,312	321,6927	5276,272	3649,337	1907,326	417,0462
	$\beta$	-1,589335	-0,59726	-1,547053	-1,367253	-1,173305	-0,73046
	$\alpha$	0,001409	-0,002384	0,000131	0,000102	-0,000532	-0,001
	R <sup>2</sup>	0,60	0,72	0,76	0,74	0,71	0,50
Eşitlik		$PPV = K\left(\frac{W}{\sqrt[3]{D}}\right)^\beta e^{\alpha D}$					
8. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	108,0745	81,52722	176,599	172,1131	139,739	62,84125
	$\beta$	1,247921	0,40948	1,297378	1,0691	0,92825	0,181388
	$\alpha$	-0,000809	-0,003368	-0,001819	-0,001818	-0,002152	-0,00301
	R <sup>2</sup>	0,59	0,72	0,76	0,73	0,70	0,47
Eşitlik		$PPV = K\left(\frac{W^{\frac{2}{3}}}{D}\right)^\beta e^{\alpha D}$					
9. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	108,0745	81,52722	176,599	172,1131	139,739	62,84125
	$\beta$	0,935941	0,30711	0,973034	0,801825	0,696187	0,136041
	$\alpha$	-0,000809	-0,003368	-0,001819	-0,001818	-0,002152	-0,00301
	R <sup>2</sup>	0,59	0,72	0,76	0,73	0,70	0,47
Eşitlik		$PPV = K\left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^\beta e^{\alpha W}$					
10. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	608,7519	1215,492	1200,578	1828,327	1355,308	4705,587
	$\beta$	-1,407277	-1,704231	-1,548285	-1,717077	-1,623714	-2,5129
	$\alpha$	0,21311	0,484201	0,071696	0,39064	0,326526	1,472172
	R <sup>2</sup>	0,59	0,68	0,76	0,74	0,70	0,54
Eşitlik		$PPV = n + K\left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^{-1}$					
11. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	336,9677	342,706	463,1014	552,0922	460,9024	366,611
	n	-4,241413	-2,313228	-9,216532	-8,980297	-5,85951	-0,5862
	R <sup>2</sup>	0,52	0,64	0,59	0,63	0,60	0,56
Eşitlik		$PPV = K\left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^\alpha B^\beta$					
12. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	201,272	206,2243	652,4378	478,0391	387,9832	1009,651
	$\alpha$	-1,102492	-1,092619	-1,419813	-1,23344	-1,20531	-1,07424
	R <sup>2</sup>	0,61	0,70	0,76	0,74	0,71	0,52

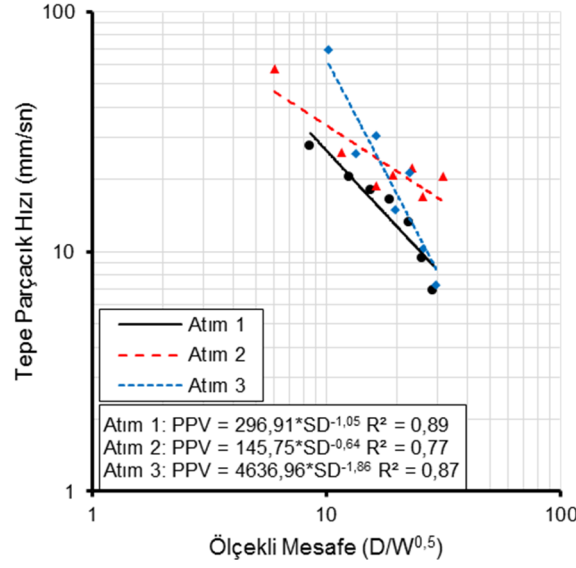
Şekil 4.6-4.9 ve Çizelge 4.8 birlikte değerlendirildiğinde Kangal Kömür Açık İşletmesi için enine, düşey, boyuna ve tepe parçacık hız bileşenlerinin parçacık hız modellerine göre değerlendirilmesi sonucunda elde edilen eşitliklerin iyi korelasyon ( $R^2=0,52-0,76$ ) sunduğu söylenebilir. Bu değerlendirmeler her bir atım için ayrı ayrı yapıldığında (Çizelge 4.9) özellikle patlatma ölçerlerin tek sıra halinde ardışık sıralandığı ilk üç atımda (Atım 1-3) tüm verilere göre

elde edilen sonuçlara kıyasla daha yüksek korelasyona ( $R^2=0,77-0,89$ ) sahip ilişkiler elde edilmiştir. Bununla beraber üç farklı yöndeki saha sabitleri, başka bir ifade ile ilerleme ve sönümlenme davranışları, birbirlerinden belirgin bir şekilde farklılık arz etmiştir (Şekil 4.6-4.9). Patlatma noktasından yönlü açılımlarda ise (Atım 4-10) regresyon katsayılarının oldukça düşük olduğu ( $R^2= 0,22-0,60$ ) (Çizelge 4.9) görülmüştür.

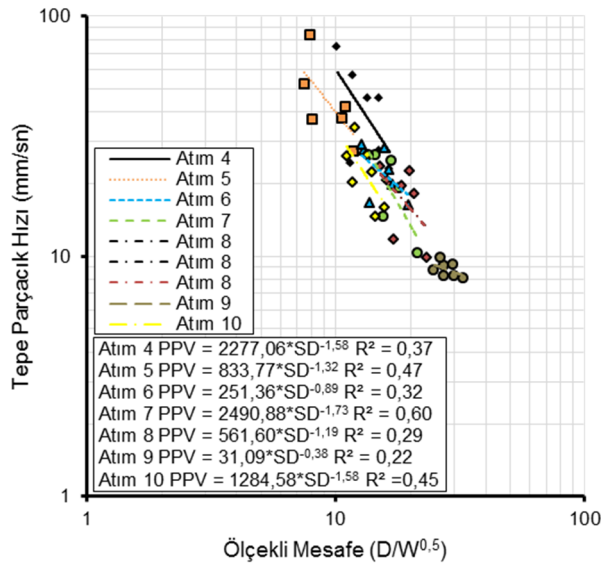
**Çizelge 4.9** Her bir atıma ait parçacık hız bileşenleri-ölçekli mesafe ilişkisi ve saha sabitleri

Atım No	Sabitler	$PPV = K\left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^\beta$				
		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV
1	K	290,18	189,44	263,59	314,68	296,91
	$\beta$	-1,10	-0,92	-1,05	-1,01	-1,05
	$R^2$	0,87	0,79	0,94	0,88	0,89
2	K	208,13	239,24	281,14	251,99	145,75
	$\beta$	-0,85	-0,85	-1,00	-0,80	-0,64
	$R^2$	0,70	0,87	0,88	0,80	0,77
3	K	3665,92	4951,20	6001,96	6197,71	4636,96
	$\beta$	-1,84	-1,96	-2,00	-1,92	-1,86
	$R^2$	0,94	0,81	0,83	0,91	0,87
4	K	589,38	101,34	8394,49	1753,89	2277,06
	$\beta$	-1,21	-0,49	-2,14	-1,43	-1,58
	$R^2$	0,20	0,09	0,48	0,40	0,37
5	K	220,64	1215,57	396,66	1395,00	833,77
	$\beta$	-0,96	-1,62	-1,03	-1,51	-1,32
	$R^2$	0,20	0,84	0,23	0,55	0,47
6	K	453,66	333,73	184,73	443,43	251,36
	$\beta$	-1,26	-1,06	-0,84	-1,07	-0,89
	$R^2$	0,18	0,25	0,27	0,49	0,32
7	K	1404,26	1285,44	1865,26	2314,37	2490,88
	$\beta$	-1,65	-1,52	-1,70	-1,68	-1,73
	$R^2$	0,36	0,56	0,70	0,73	0,60
8	K	2008,60	561,60	8976,85	602,50	561,60
	$\beta$	-1,80	-1,19	-2,24	-1,19	-1,19
	$R^2$	0,44	0,29	0,83	0,34	0,29
9	K	0,49	0,79	8313,73	40,58	31,09
	$\beta$	0,80	0,67	-2,13	-0,42	-0,38
	$R^2$	0,11	0,15	0,37	0,10	0,22
10	K	948,97	163,73	4434,19	3203,90	1284,58
	$\beta$	-1,56	-0,88	-2,09	-1,89	-1,58
	$R^2$	0,25	0,36	0,60	0,48	0,45

Tek sıra dizilimlerle (Atım 1-3) elde edilen anlamlı ilişkilerin yönlü açılımlarda (Atım 4-10) elde edilememesi yönlere bağlı olarak değişimlerin olabileceğine işaret etmektedir. Bu aşamada durumun teyidi için yönlere bağlı veri sınıflandırması ve değerlendirmesi yapılmıştır. Bu amaçla öncelikle tek sıra dizilimlerdeki yönlerle çakışan aynı yönlü veriler ile ölçüm noktası değiştirilmeden alınan veriler (Atım 6-9), yönlere bağlı olarak sınıflandırılmış (Çizelge 4.10) ve sonuçta 5 farklı yön elde edilmiştir (Şekil 4.14).



Şekil 4.12 İlk üç atıma ait tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.

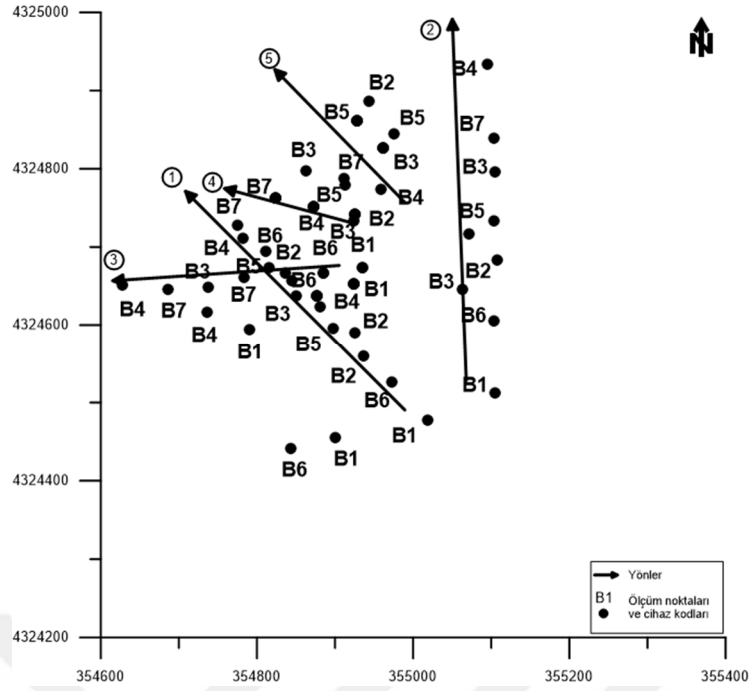


Şekil 4.13 Yönlü açılımlara (Atım 4-10) ait tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.

Çizelge 4.10 Yönlere bağlı veri sınıflandırması

Yönlere	Açıklama	Veri seti
1	Atım 1 yönü	Atım 1 yönü verilerine ek olarak Atım 5 (B2, B4), Atım 10 (B2, B6, B7)
2	Atım 2 yönü	Atım 2 yönü verilerine ek olarak Atım 5 (B3, B5)
3	Atım 3 yönü	Atım 3 yönü verilerine ek olarak Atım 6, 7, 8, 9 alt kol yönü (B1, B6)
4	Atım 6, 7, 8, 9 Orta kol yönü	Atım 6, 7, 8, 9 (B2, B4, B7)
5	Atım 6, 7, 8, 9 Üst kol yönü	Atım 6, 7, 8, 9 (B3, B5)



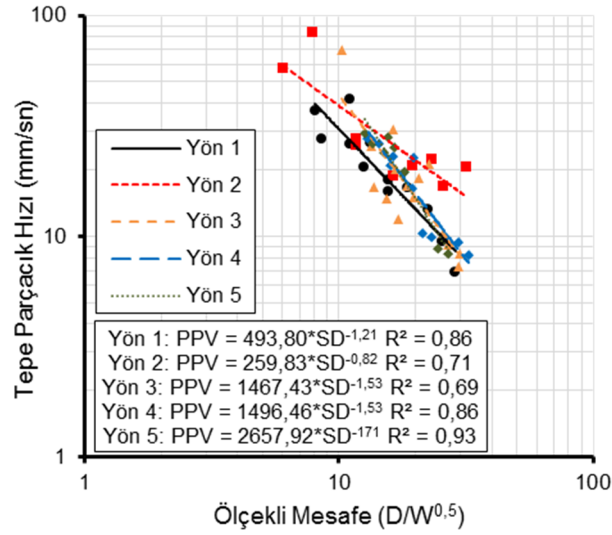


**Şekil 4.14** Veri sınıflandırması sonucu oluşturulan yönler.

Yapılan sınıflandırmalarla yönler bağli olarak veri sayıları artırılmış, yeniden değerlendirilme yapılmış ve yönler bağli olarak beş yönde de anlamlı ve kabul edilebilir ( $R^2 = 0,69-0,93$ ) ilişkiler elde edilmiştir (Çizelge 4.11, Şekil 4.15). Diğer yandan, Şekil 4.15 incelendiğinde Yön 3,4 ve 5'in sönümlenme davranışlarının birbirlerine oldukça benzer olduğu görülmüştür. Bu yönler Yön 3 olarak birleştirilmiş, bu yönlerdeki veriler tekrar değerlendirilmiş ve iyi korelasyonlu bir ilişki elde edilmiştir ( $R^2=0,74$ ).

**Çizelge 4.11** Tüm atımlardan yararlanılarak oluşturulan yönler için parçacık hız bileşenleri-ölçekli mesafe ilişkisi ve saha sabitleri

Yönler	Sabitler	$PPV = K \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^\beta$				
		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV
1	K	224,83	256,87	435,26	488,56	493,80
	$\beta$	-1,02	-1,02	-1,20	-1,15	-1,21
	$R^2$	0,79	0,85	0,82	0,87	0,86
2	K	306,15	245,36	556,91	414,77	259,83
	$\beta$	-0,97	-0,86	-1,21	-0,96	-0,82
	$R^2$	0,76	0,90	0,83	0,77	0,71
3	K	786,15	1658,56	2933,44	1592,96	1467,43
	$\beta$	-1,41	-1,61	-1,83	-1,51	-1,53
	$R^2$	0,58	0,68	0,74	0,71	0,69
4	K	206,97	1687,01	2899,17	1313,34	1496,46
	$\beta$	-1,00	-1,62	-1,80	-1,46	-1,53
	$R^2$	0,41	0,76	0,90	0,86	0,86
5	K	5506,11	1475,78	1039,08	2912,43	2657,92
	$\beta$	-2,08	-1,54	-1,49	-1,72	-1,71
	$R^2$	0,89	0,80	0,78	0,95	0,93



**Şekil 4.15** 5 farklı yöne ait tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.

Daha sonra bu yönler bölgeler bazında incelendiğinde, Yön 1'i oluşturan cihazların çoğunluğu 1. bölgede (2. bölgeye doğru) yer almakta olup bu bölgedeki kaya kütlelerinin ortalama RMR (%) değeri 32,80 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.4). Yön 1'e ait tepe parçacık hız denklemi Eşitlik 4.1'de verilmiştir.

$$PPV = 493,80 SD^{-1,21} \quad (R^2=0,86) \quad [4.1]$$

Yön 2'yi oluşturan cihazların tamamı 3. bölgede yer almaktadır. Bu bölgedeki kaya kütlelerinin ortalama RMR (%) değeri 29,20 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.4). Bu yöne ait tepe parçacık hız denklemi Eşitlik 4.2'de verilmiştir.

$$PPV = 259,83 SD^{-0,82} \quad (R^2=0,71) \quad [4.2]$$

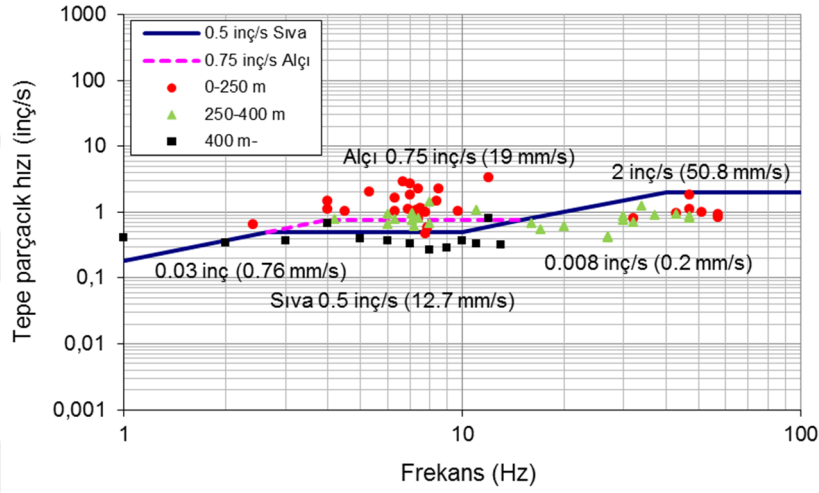
Yön 3'ü oluşturan cihazların çoğunluğu 2. bölgede (1. bölgeye doğru) yer almakta olup bu bölgedeki kaya kütlelerinin ortalama RMR (%) değeri 38,36 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.4). Yön 3'e ait tepe parçacık hız denklemi Eşitlik 4.3'de verilmiştir.

$$PPV = 1231,41 SD^{-1,47} \quad (R^2=0,74) \quad [4.3]$$

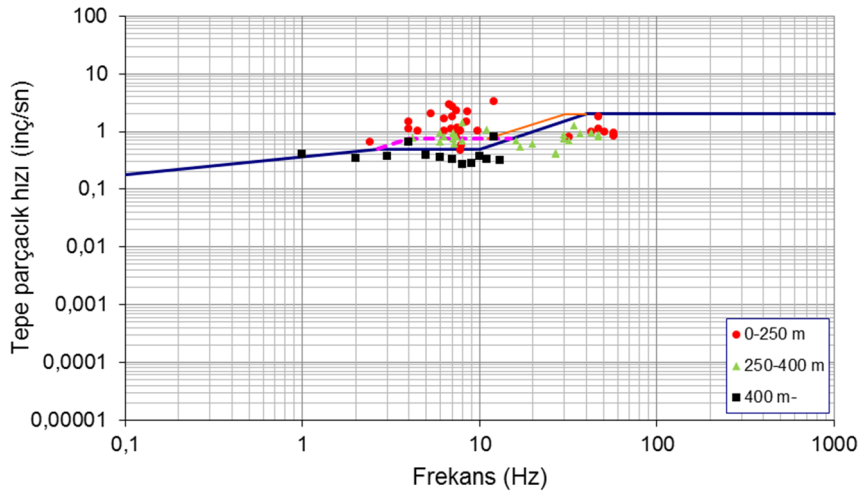
Bu durum değerlendirildiğinde, bölgeler bazında belirgin bir değişimin olduğu görülmekte olup RMR (%) değeri azaldıkça K ve  $\beta$  katsayılarının da azaldığı belirlenmiştir.

#### 4.1.2.4 Yer sarsıntılarının bazı hasar kriterlerine göre değerlendirilmesi

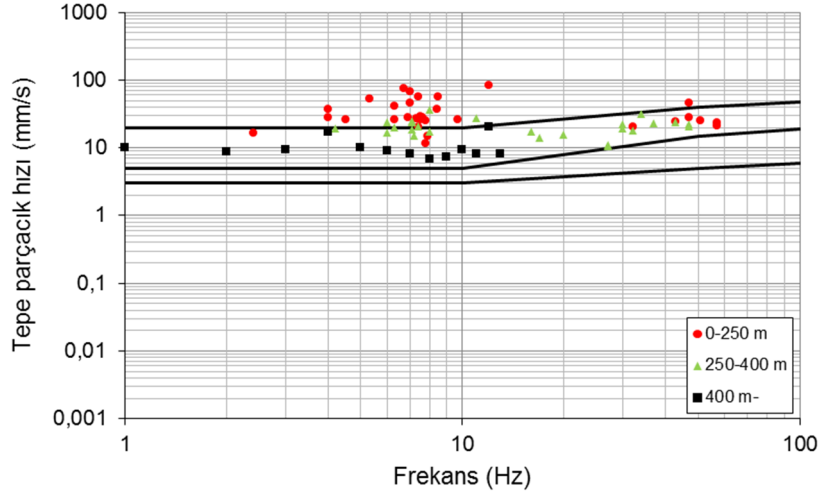
Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının en önemli çevresel etkilerinden birisi çevrede bulunan yapılardaki yapısal hasarlardır. Literatürde bu konu ile ilgili oldukça fazla sayıda çalışma mevcut olup bunlar Bölüm 3'de detaylı olarak verilmiştir. Bazı hasar kriterleri baz alınarak gerçekleştirilen değerlendirme sonucu Şekil 4.16-4.20 gösterilmiştir. Değerlendirme için sarsıntı ölçer verileri kullanılmıştır. Şekil 4.16-4.20 incelendiğinde bazı atımların ölçüm noktasındaki olası yapılara zarar verebilir nitelikte olduğu görülmektedir. Özellikle gecikme başına fazla patlayıcı maddenin olduğu ve nispeten kısa mesafelerde (0-250 m) hasar potansiyelinin yüksek olduğu söylenebilir.



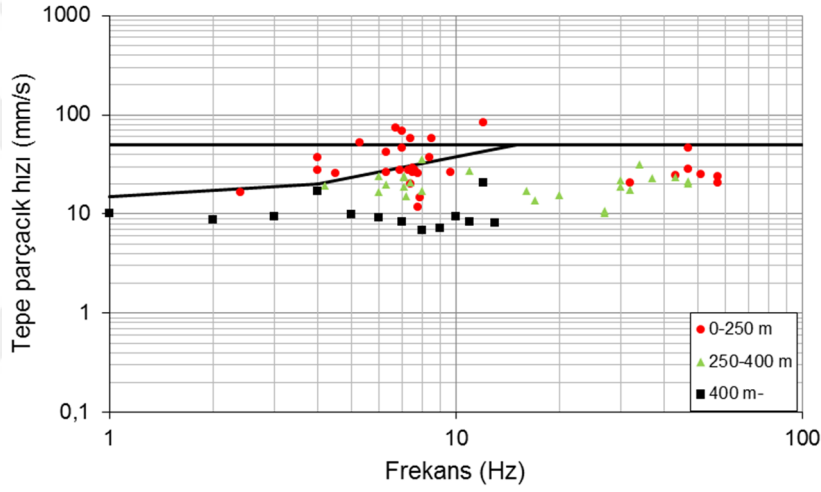
Şekil 4.16 Tepe parçacık hızının USBM 8507 hasar kriterine (1980) göre değerlendirilmesi.



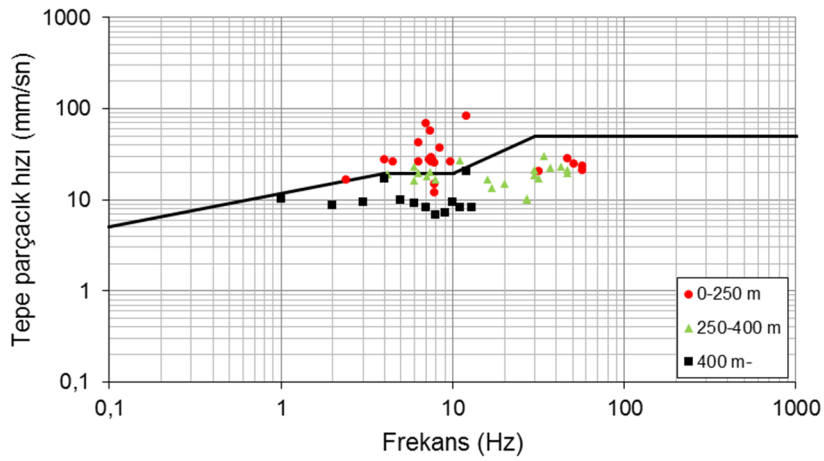
Şekil 4.17 Tepe parçacık hızının OSM hasar kriterine (1983) göre değerlendirilmesi.



Şekil 4.18 Tepe parçacık hızının Alman DIN 4150 hasar kriterine (1996) göre değerlendirilmesi.



Şekil 4.19 Tepe parçacık hızının İngiliz BS 7385 hasar kriterine (1993) göre değerlendirilmesi.



Şekil 4.20 Tepe parçacık hızının Türkiye hasar kriterine (2008) göre değerlendirilmesi.

## 4.2 Bigadiç Bor Açık İşletmesi

Eti Maden Bigadiç Bor Açık İşletmesi Balıkesir ili Bigadiç ilçesi Osmanca Köyü sınırları içerisinde yer almaktadır. Sahada bor üretimi, kamyon-ekskavatör uygulamalarına dayalı açık işletme yöntemiyle yapılmaktadır (Şekil 4.21). Bu sahadaki atımlar ağırlıklı olarak gevşetme amaçlı yapılmaktadır. Delme işlemlerinde 17 cm çaplı matkaplar kullanılmakta, basamak yüksekliğine bağlı olarak delik boyları 8-10 m, dilim kalınlıkları 2,24-11,78 m ve delikler arası mesafe 2,40-11,80 m aralığında değişmektedir. Patlayıcı madde olarak ANFO kullanılmaktadır.

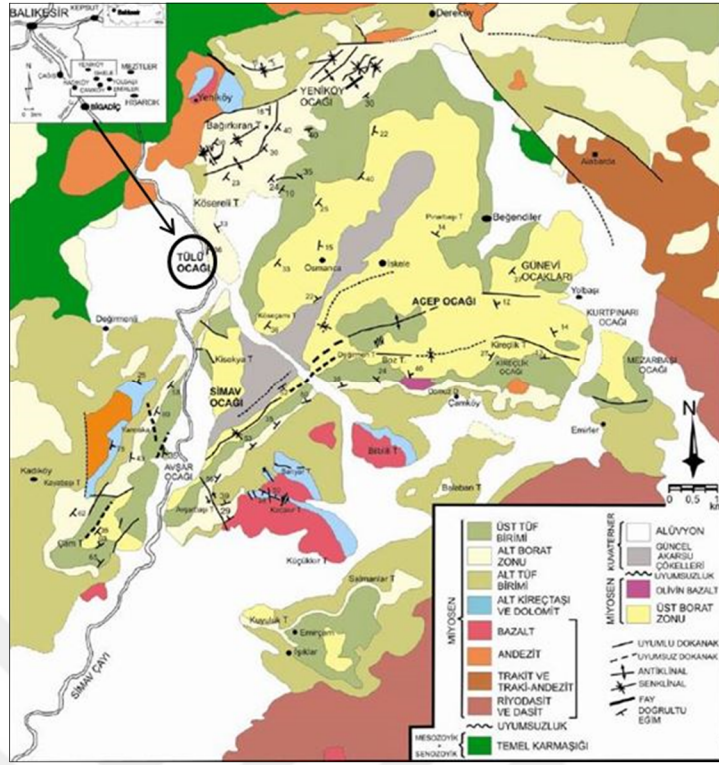


Şekil 4.21 Bigadiç Bor Açık İşletmesi'nin genel görünümü.

### 4.2.1 Jeoloji

Bigadiç bor yatakları birbirinden üst tuf birimiyle ayrılan üst ve alt borat zonu olarak tanımlanan iki zon halinde bulunmaktadır. Üst ve alt borat zonunun kalınlığı ocaklara göre değişmektedir. Alt borat zonunu kesen derin sondajların korelasyonu, alt borat zonunun yayılımının daha geniş olması nedeniyle, üst borat zonuna göre daha iyi yapılabilmektedir. Ayrıca; alt borat zonu, üstündeki tuf ve sedimanterlerin kendisini alterasyona karşı koruması nedeniyle, alterasyon ve iklim şartlarından etkilenmemiştir. Çamköy yeraltı ocakları alt boratlı zonda Beğendikler, Mezarbaşı, Acep, Salmanlı, Emirçam ve Işıklar yeraltı ocakları ile Kurtpınarı ve Simav açık işletmeleri ise üst boratlı zonda faaliyetlerini gerçekleştirmişlerdir (Helvacı ve Alaca, 1991).

Bigadiç Bor Açık İşletmesi alt borat zonda yer almakta olup birkaç kolemanit damarı ile kireçtaşı, marn ve çörtlü kireçtaşı tabakalarından oluşmuştur (Şekil 4.22). Hakim mineral konumundaki kolemanit değişik boyuttaki nodüller ve masif cevher şeklinde üleksit ise eser miktarda bulunmaktadır. Cevherin üst ve altında ince laminal kıltaşı ve kireçtaşı alterasyonu yer alır. Ancak kolemanit nodülleri çevreleyen kıltaşı kesintiye uğramıştır (Şekil 4.23). Alt boratlı birim içinde açılmış tek ocak olan Bigadiç Bor Açık İşletmesi 'nde kolemanit kalınlığının belirlenmesi için 80 ayrı noktada karotlu sondaj çalışması yapılmıştır. Bu sondajlar sonucunda ortalama örtü kalınlığının 50 m ve cevher zonu kalınlığı 27 m, ortalama cevher kalınlığı 15 m ve ortalama tenörü % 28,14 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> olan 4 adet cevher damarının olduğu tespit edilmiştir (Helvacı ve Alaca, 1991).



Şekil 4.22 Çalışma alanının jeoloji haritası (Helvacı, 1995).

JEOLÖJİK ZAMAN	SISTEM			KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR	
	SISTEM	SERİ	KAT				
SENOZOİK	KUVATERNER			0-70	Çakıl, kum ve silt	ALÜVYON	
				50-180	Kiltaş, Kumtaş, Konglomera	GENÇ TORTULLAR	
	MİYOSEN	ÜST MİYOSEN		0-50	BAZALT		
				20-110	Boratl Zon, kıltaşı, marn kireçtaşı, tuf	ÜST BORATLI BİRİMİ	
				30-90	İnce taneli tuf	ÜST TÜF BİRİMİ	
				60-350	Kaba taneli tuf	ÜST TÜF BİRİMİ	
				35-130	Boratl Zon, marn, kıltaşı, killi kireçtaşı, çamurtaş, tuf	ALT BORATLI BİRİMİ	
				0-20-76			
	ORTA MİYOSEN			100-150	alg:gösel alt tuf alk:karasal alt tuf alkk:kömürlü fasiyes	ALT TÜF BİRİMİ	
				50-90	Kireçtaşı, kıltaşı, tuf, marn, dolomit	TABAN KIREÇTAŞ BİRİMİ	
ALT MİYOSEN			250+	Bazalt, andezit, traki-andezit, trakit, dasit, tuf, aglomera	TABAN VOLKANİTİ BİRİMİ		
				Ofiyolit, kireçtaşı, radyolarit, kumtaş	TEML KAYALAR		
PALEO MESO				Şist, mermer			

Şekil 4.23 Bigadiç Bor Açık İşletmesi'nin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Helvacı ve Alaca, 1991).

#### 4.2.2 Arazi çalışmaları

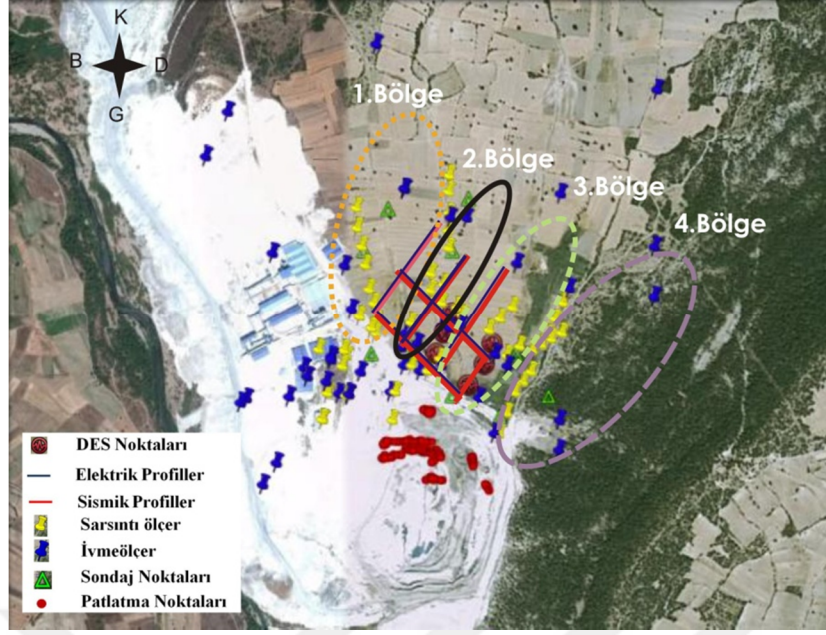
Bigadiç Bor Açık İşletmesi'nde atımlar ocak ilerleme ve tesisler yönünde izlenmiştir. Bu sahada gerçekleştirilen sismik profil (MASW ve Kırılma), ivmeölçer, yer sarsıntısı ölçer, DES ve iki boyutlu (2B) elektrik tomografi, sondaj ve patlatma lokasyonları yaklaşık olarak Şekil 4.24'de verilmiştir.

##### 4.2.2.1 Jeofizik ölçüm sonuçları

Sahada düşey elektrik sondaj (DES) ve sismik (çok kanallı yüzey dalgası analizi (MASW), kırılma yöntemleri) ve tomografi ölçümleri yapılmış ve sonuçları Çizelge 4.12-4.14'de toplu olarak sunulmuştur.

DES çalışmaları 6 noktada Schlumberger elektrot dizilimi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde kullanılan AB/2 değerleri 50-260 m aralığında alınmıştır. Arazide gerçekleştirilen sismik ölçüm çalışmaları kapsamında; elde edilen sismik hız ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması ve değerlerin doğruluğunun kontrolünü sağlamak amacıyla, MASW ve sismik kırılma analiz yöntemleri olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmıştır. MASW yönteminde; alıcı olarak 12 adet 4,5 Hz P (düşey-bileşenli) jeofon kullanılmış ve jeofon aralıkları 8 m ve ofset uzaklıkları 4 m olarak alınmıştır. Her bir atış istasyonunda sinyal/gürültü oranını arttırmak için 8 kg'lık bir balyoz ve demir plaka kullanılarak ardarda 5 vuruş gerçekleştirilmiş ve veriler 1024 ms kayıt uzunluğu ve 250 µs örnekleme aralığı kriterleri baz alınarak kaydedilmiştir. Sismik kırılma yönteminde; alıcı olarak 12 adet 14 Hz P (düşey-bileşenli) jeofon kullanılmış 512 ms kayıt uzunluğu ve 125 µs kayıt aralığı kriterleri baz alınarak kaydedilmiştir.

Elde edilen elektrik tomografi, DES ve sismik (kırılma ve MASW) sonuçları, daha önceden işletmenin yapmış olduğu sondaj kesitleri ile ilişkilendirilerek yorumlanmış, her bir tabaka için formasyon birimleri, öz direnç ve sismik hız değerleri belirlenmiştir. Jeofizik çalışmaların sonuçları incelendiğinde, 1. ve 3. bölgenin, 2. bölgeye göre farklı bir jeolojik yapıya sahip olduğu görülmektedir. 1.ve 3. bölgede jeolojik istif alüvyon, killi kireçtaşı, tuf ve kireçtaşı birimlerinden oluşurken 2. bölgede ise ince bir alüvyon, tuf ve kireçtaşı şeklindedir (Çizelge 4.12-4.14). Her ne kadar Şekil 4.24'de gösterildiği gibi saha 4 bölge olarak işaretlenmiş olsa da 4. bölge oldukça kayalık, dik ve ormanlık bir alandır. Bu nedenle bu bölgede jeofizik ölçümleri yapılamamıştır. Ayrıca bölge bol kırıklı zeolit birimlerinden oluşmaktadır.



**Şekil 4.24** Bigadiç Bor Açık İşletmesi çalışma sahası bölgeleri.

**Çizelge 4.12** 1. Bölge birimleri ve özellikleri (Görgülü ve ark, 2013)

Formasyon	Alüvyon	Killi-Kireçtaşı	Tüf	Kireçtaşı
Kalınlık (m)	2	3	10	15
Özdirenç ( $\Omega m$ )	1,93	14,7	55,7	351
S-dalga hızı ( $V_s$ , km/s) (MASW yöntemi)	0,11	0,35	0,57	0,79
P-dalga hızı ( $V_p$ , km/s) (Sismik kırılma yöntemi)	0,3	1,15	1,75	2,5
Yoğunluk ( $kg/m^3$ )	1,66	1,83	1,95	2,1
Dinamik Poisson oranı	0,1	0,449	0,456	0,464
$V_p/V_s$ (güvenlik katsayısı)	1,5	3,29	3,5	3,85
Dinamik Young modülü ( $E_d$ , GPa)	0,146	0,65	1,419	2,597
Dinamik rijitide modülü ( $G_d$ , GPa)	0,066	0,224	0,488	0,887
Dinamik hacim modülü ( $K_d$ , GPa)	0,061	2,121	5,322	11,942
Tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma$ , MPa)	0,21	11,8	41,59	121,25
Kaya kalite belirteci (RQD, %)	-	50,46	93,1	-
Doğrusal çatlak yoğunluğu ( $L$ , $m^{-1}$ )	-	4,13	0,58	-
Çatlak yoğunluğu ( $C$ , $m/m^2$ )	-	0,16	0,02	-
Süreksizlik indeksi	-	1,65	0,23	-
Kaya kütlesi oranı (RMR, %)	-	2,6	8	13,4
Q sınıflaması	-	0,0045	0,0178	0,1
Gözeneklilik ( $f$ , %)	56,18	32,67	25,32	19,08



**Çizelge 4.13 2. Bölge birimleri ve özellikleri (Görgülü ve ark, 2013)**

Formasyon	Alüvyon	Tüf	Kireçtaşı
Kalınlık (m)	0,5	15	14,5
Özdirenç ( $\Omega m$ )	3,38	66	735
S-dalga hızı ( $V_s$ , km/s) (MASW yöntemi)	0,18	0,48	0,69
P-dalga hızı ( $V_p$ , km/s) (Sismik kırılma yöntemi)	0,45	1,6	2,2
Yoğunluk ( $kg/m^3$ )	1,69	1,92	2,04
Dinamik Poisson oranı	0,277	0,461	0,46
$V_p/V_s$ (güvenlik katsayısı)	1,8	3,72	3,67
Dinamik Young modülü ( $E_d$ , GPa)	0,27	1,037	2,144
Dinamik rijitide modülü ( $G_d$ , GPa)	0,106	0,355	0,734
Dinamik hacim modülü ( $K_d$ , GPa)	0,201	4,442	8,894
Tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma$ , MPa)	0,71	31,78	82,63
Kaya kalite belirteci (RQD, %)	-	84,76	-
Doğrusal çatlak yoğunluğu ( $L$ , $m^{-1}$ )	-	1,27	-
Çatlak yoğunluğu ( $C$ , $m/m^2$ )	-	0,05	-
Süreksizlik indeksi	-	0,51	-
Kaya kütlesi oranı (RMR, %)	-	5,48	11,6
Q sınıflaması	-	0,0126	0,0501
Gözeneklilik ( $f$ , %)	49,09	26,89	21,32

**Çizelge 4.14 3. Bölge birimleri ve özellikleri (Görgülü ve ark, 2013)**

Formasyon	Alüvyon	Killi Kireçtaşı	Tüf	Kireçtaşı
Kalınlık (m)	5	12	3	10
Özdirenç ( $\Omega m$ )	1,93	14,7	55,7	351
S-dalga hızı ( $V_s$ , km/s) (MASW yöntemi)	0,12	0,29	0,52	0,75
P-dalga hızı ( $V_p$ , km/s) (Sismik kırılma yöntemi)	0,2	0,9	1,5	2,8
Yoğunluk ( $kg/m^3$ )	1,64	1,78	1,9	2,16
Dinamik Poisson oranı	0,219	0,442	0,466	0,467
$V_p/V_s$ (güvenlik katsayısı)	1,67	3,1	3,95	4
Dinamik Young modülü ( $E_d$ , GPa)	0,058	0,432	0,804	3,105
Dinamik rijitide modülü ( $G_d$ , GPa)	0,024	0,15	0,274	1,058
Dinamik hacim modülü ( $K_d$ , GPa)	0,034	1,242	3,909	15,523
Tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma$ , MPa)	0,06	5,66	26,19	170,35
Kaya kalite belirteci (RQD, %)	-	-	78,64	-
Doğrusal çatlak yoğunluğu ( $L$ , $m^{-1}$ )	-	-	1,78	-
Çatlak yoğunluğu ( $C$ , $m/m^2$ )	-	-	0,07	-
Süreksizlik indeksi	-	-	0,71	-
Kaya kütlesi oranı (RMR, %)	-	0,44	3,68	15,2
Q sınıflaması	-	0,0025	0,01	0,1995
Gözeneklilik ( $f$ , %)	63,28	36,96	28,02	17,1

#### 4.2.2.2 Kaya mekaniği arazi ve laboratuvar deney sonuçları

Eti Maden Bigadiç Bor Açık İşletmesi'nde bölgelerin kaya kütle sınıflaması (RMR) ve jeolojik dayanım indeksi (GSI)'ne göre değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.15'de, kireçtaşı, killi kireçtaşı ve marn birimleri üzerinde gerek arazi gerek laboratuvar da gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.16' da verilmiştir.

**Çizelge 4.15** Eti Maden Bigadiç Bor Açık İşletmesi kaya kütle sınıflaması (RMR) ve jeolojik dayanım indeksine (GSI) göre sınıflama sonuçları

Bölge	Formasyon	RMR (%)	GSI
1	Killi Kireçtaşı	43,44	15-22
	Tüf		25-35
	Kireçtaşı		18-25
2	Tüf	46,40	28-40
	Kireçtaşı		15-22
	Killi Kireçtaşı		12-18
3	Tüf	39,12	25-35
	Kireçtaşı		22-33
4	Zeolit	66,00	30-45

**Çizelge 4.16** Eti Maden Bigadiç Bor Açık İşletmesi kaya mekaniği laboratuvar ve arazi deney sonuçları

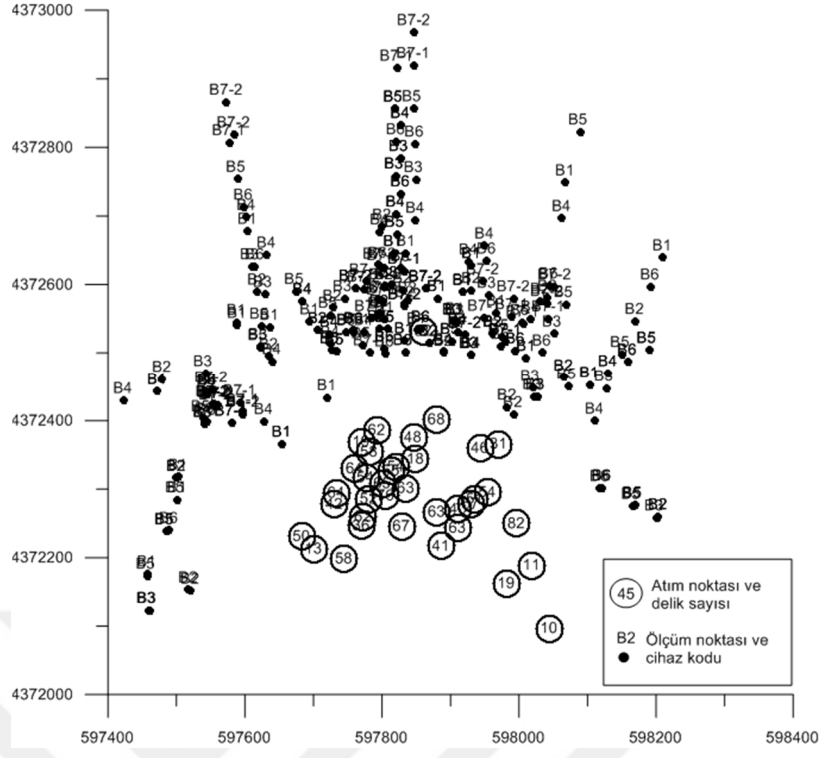
Özellikler Kaya Birimi	Min. Tane (Tabii) Yoğunluğu (gr/cm <sup>3</sup> )	Toplam (Etkili) Gözeneklilik (%)	Kuru Birim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Nem Oranı (%)	Dolaylı Çekme Dayanımı (MPa)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	Ultrasonik P Dalga Hızı (m/s)	Elastisite Modülü (GPa)	Poisson Oranı	Nokta Yüğü Day. (Is(50)) (MPa)	Schmidt Sertliği
Killi Kireçtaşı	2,25 2,13-2,48 (2,10) (1,99- 2,44)	8,76 2,45-12,47 (7,98) (2,39-11,09)	2,07 (1,95-2,42)	1,56 (0,43- 2,17)	1,23 ±0,42 (0,64- 2,18)	5,56±0,8 (4,06-7,16)	1902,82 (1517,03-2524,27)	-	-	1,67±0,95 (0,46-3,68)	15,30 ±2,31 (12-20)
Kireçtaşı	2,60 2,59-2,62 (2,50) (2,48- 2,54)	4,90 3,79-5,65 (4,66) (3,65-5,35)	2,48 (2,45-2,52)	0,85 (0,66- 1,04)	2,33 ±0,81 (1,30- 3,69)	18,13 ±3,29 (12,26-22,32)	2656,81 (1163,48-3162,92)	5,96	0,169	12,26±7,56 (3,10-28,44)	32,60 ±6,80 (20-42)
Tüf	2,01 1,98-2,02 (1,44) (1,43- 1,45)	45,22 42,84-7,46 (31,13) (29,99- 32,19)	1,38 (1,37-1,39)	4,60 (4,35- 4,86)	0,85 ±0,28 (0,45- 1,27)	32,78±7,11 (19,58-40,91)	2169,22 (1993,08-2334,99)	2,42	0,194	2,42±0,81 (1,20-3,49)	44,60 ±2,88 (40-48)

#### 4.2.2.3 Parçacık hızı ve hava şoku ölçüm sonuçları ve değerlendirilmesi

14 Temmuz-28 Ağustos 2011 tarihleri arasında dekapaj amaçlı yapılan 36 adet atım (Çizelge 4.17) 7 adet InstanTEL marka patlatma sarsıntı ölçer cihazla (5 adet InstanTEL Minimate Blaster [B1-B5], 1 adet InstanTEL Minimate Plus [B6] ve 1 adet Çift kanallı InstanTEL Blastmate III [B7-1, B7-2]) değişik yön ve mesafelerde ölçülmüştür (Şekil 4.25). Bu ölçümlerde 259 patlatma sarsıntı verisi üç eksenli (enine, düşey ve boyuna) olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.18).

**Çizelge 4.17** Bigadiç Açık İşletmesi'nde yapılan atımlar

Atım No	Delik Sayısı	Sıra Sayısı	Ortalama Dilim Kalınlığı (m)	Ortalama Delik Boyu (m)	Ortalama Delikler Arası Mesafe (m)	Ortalama Sıklama Miktarı (m)	Toplam Patlayıcı Madde Miktarı (kgAnfo)	Gecikme Başına Maksimum Patlayıcı Miktarı (kgAnfo)
1	76	2	5,18	8,2	4,66	4,8	4550	60
2	68	2	6,53	8,2	11,75	4,8	4050	60
3	54	2	5,95	8	4,97	4,7	3250	60
4	11	2	2,77	8	11,8	4,7	650	60
5	26	2	4,66	8	7,76	5	1450	55
6	16	2	6,2	8	4,6	5	900	55
7	21	2	6,09	8	2,48	5	1150	55
8	64	2	6,92	8,5	5	4,4	4800	75
9	19	2	2,24	8	3,74	4,4	1400	75
10	55	4	3,58	8	6	3,8	4100	75
11	10	3	4,32	8	2,62	3,8	750	75
12	40	2	6,42	8,5	3,77	4,4	3000	75
13	64	4	5,53	8,5	7,08	5,5	3500	55
14	58	3	9,2	8	5,97	5	3150	55
15	42	2	3,53	8	6,57	4,7	2500	60
16	50	2	11,78	8	3,51	4,7	3000	60
17	13	1	3,74	8	4,58	4,7	750	60
18	58	1	4,88	8	3,94	5	3150	55
19	18	1	4,6	8	2,4	4,7	1050	60
20	57	1	4,58	8,5	5,59	5,5	3100	55
21	36	1	4,09	8	2,45	5	1950	55
22	40	1	4,54	8	4,89	5	2200	55
23	67	3	10,8	8,5	8,6	5	3650	55
24	19	3	3,08	8,5	4,72	5	1050	55
25	48	1	2,92	8,5	4,24	5	2600	55
26	62	2	5	8,2	8,88	5	3400	55
27	62	2	5,82	8,2	5,3	4,7	3700	60
28	46	4	5,05	8,2	3,48	4,7	2750	60
29	31	1	3,42	8,2	7,73	4,7	1850	60
30	52	2	6,2	8,2	5,6	4,7	3100	60
31	81	4	4,17	8,2	5,05	4,7	4850	60
32	65	2	6,3	8,2	8,23	4,7	3900	60
33	51	1	2,73	8,2	3,21	4,6	3050	60
34	54	2	3,69	8,2	3,12	4,7	3200	60
35	54	4	6,2	8,2	5,5	4,7	3200	60
36	92	3	9,16	8,2	8,09	4,7	5500	60



**Şekil 4.25** Bigadiç Bor Açık İşletmesi atım ve ölçüm noktaları.

**Çizelge 4.18** Bigadiç Bor Açık İşletmesi'nde yapılan atımlara ait sarsıntı verileri

Atım No	Cihaz Kodu	Atım Kodu	Ölçüm Mesafesi (R) (m)	Ölçekli Mesafe		Parçacık Hızı ve Frekansı								Deplasman			İvme			Hava Şoku ve Frekansı		
				SD <sub>1</sub> RW <sup>0.5</sup>	SD <sub>2</sub> RW <sup>0.33</sup>	Enine (PPVT)		Düşey (PPVV)		Boyuna (PPVL)		Bileşke (PVS)	Maksimum (PPV)		Enine	Düşey	Boyuna	Enine	Düşey	Boyuna	dB	Hz
				mm/sn	Hz	mm/sn	Hz	mm/sn	Hz	mm/sn	mm/sn	Hz	mm	mm	mm	mm/sn <sup>2</sup>	mm/sn <sup>2</sup>	mm/sn <sup>2</sup>				
1	B1	130	144	18,59	37,29	13,5	12	14,2	19	16,9	14	18	16,9	14	0,212	0,127	0,205	0,146	0,172	0,146	111	2,7
	B2		276	35,63	71,47	9,27	12	4,7	12	6,35	16	10,4	9,27	12	0,109	0,052	0,071	0,106	0,080	0,080	160	2,6
	B5		216	27,89	55,93	17,8	16	11,2	32	21,3	13	21,4	21,3	13	0,143	0,079	0,271	0,199	0,239	0,252	222	23
	B7-2		298	38,47	77,17	12,7	15	5,59	5,59	10	17	15,1	12,7	15	0,125	0,060	0,113	0,119	0,093	0,119	0,75	43
	B4		223	28,79	57,75	11,2	14	9,4	23	6,73	34	11,4	11,2	14	0,110	0,086	0,094	0,119	0,133	0,146	187	2,6
2	B1	136	147	18,98	38,07	12,3	13	16	30	18,4	15	19,4	18,4	15	0,105	0,200	0,171	0,305	0,451	0,278	270	3,6
	B6		195	25,17	50,49	3,94	9,5	7,75	21	5,21	9,1	8,33	7,75	21	0,050	0,142	0,097	0,093	0,133	0,133	399	28
	B2		98	12,65	25,38	15,5	16	22,9	11	23,7	11	25,6	23,7	11	0,179	0,236	0,314	0,384	0,557	0,689	385	2,8
	B5		248	32,02	64,22	4,44	12	7,11	28	4,57	9	7,9	7,11	28	0,059	0,090	0,076	0,066	0,146	0,066	428	34
	B3		285	36,79	73,80	3,3	21	4,32	30	3,56	21	5,2	4,32	30	0,043	0,057	0,079	0,119	0,080	0,093	470	32
	B7-1		138	17,82	35,73	45,7	8,1	13,5	11	19,7	7,9	46,9	45,7	8,1	0,860	0,186	0,337	0,305	0,159	0,159	2	6,1
	B2-4		195	25,17	50,49	39,1	8,7	6,6	11	23,1	7,9	39,9	39,1	8,7	0,726	0,106	0,365	0,212	0,119	0,172	96,5	27
	B4		236	30,47	61,11	8,51	23	8,89	28	13,3	32	16,6	13,3	32	0,057	0,098	0,130	0,331	0,345	0,398	169	3,3
3	B1	130	275	35,50	71,21	5,46	7	3,81	20	5,33	16	6,4	5,46	7	0,096	0,061	0,070	0,053	0,093	0,093	131	21
	B6		148	19,11	38,32	4,83	6,2	7,62	4,2	6,1	7,9	8,28	7,62	4,2	0,140	0,197	0,094	0,199	0,119	0,239	111	18
	B2		222	28,66	57,49	5,08	14	4,06	6,4	3,05	9,7	6,5	5,08	14	0,099	0,098	0,063	0,212	0,212	0,093	476	21
	B5		190	24,53	49,20	5,08	16	6,22	9	4,06	7,5	6,39	6,22	9	0,086	0,097	0,120	0,146	0,093	0,133	472	20
	B3		195	25,17	50,49	10,4	16	6,86	9,1	6,35	14	10,9	10,4	16	0,117	0,110	0,072	0,133	0,093	0,106	151	24
	B7-2		296	38,21	76,65	10,8	9,3	2,79	7,4	8,89	9,8	10,8	10,8	9,3	0,206	0,039	0,152	0,080	0,040	0,080	84,8	21
	B4		155	20,01	40,14	6,35	27	5,46	19	6,1	15	7,88	6,35	27	0,125	0,064	0,094	0,133	0,146	0,172	235	23

Çizelge 4.18 devamı

	B1	445	57,45	115,23	1,14	14	1,4	28	1,78	37	2,26	1,78	37	0,017	0,016	0,016	0,027	0,027	0,040	11	8	
	B6	152	19,62	39,36	5,33	85	5,97	8,5	6,6	73	8,28	6,6	73	0,054	0,102	0,107	0,265	0,212	0,384	37,8	11	
	B2	194	25,05	50,24	7,87	11	4,95	30	4,57	9,3	8,43	7,87	11	0,094	0,062	0,071	0,305	0,133	0,159	36,5	11	
4	B5	122	173	22,33	44,80	8	11	7,49	12	5,46	>100	11,2	8	11	0,067	0,080	0,098	0,239	0,318	0,331	30,5	10
	B3	371	47,90	96,07	1,65	12	2,29	30	2,16	28	2,44	2,29	30	0,019	0,021	0,021	0,040	0,053	0,040	13	3,9	
	B7-2	476	61,45	123,26	4,7	11	1,02	9,3	1,78	11	4,77	4,7	11	0,068	0,017	0,026	0,040	0,040	0,040	9	7,1	
	B4	335	43,25	86,75	1,27	8,4	1,52	24	1,65	15	1,86	1,65	15	0,022	0,021	0,021	0,040	0,040	0,027	15,8	6,2	
	B1	290	37,44	75,09	4,83	14	4,19	22	4,83	27	6,22	4,83	14	0,056	0,028	0,055	0,093	0,066	0,093	114	26	
	B6	227	29,31	58,78	10	8,3	6,35	24	13,7	8	16,4	13,7	8	0,181	0,069	0,269	0,080	0,106	0,159	124	32	
	B2	250	32,27	64,74	9,91	6,3	7,24	13	7,75	18	12,3	9,91	6,3	0,172	0,065	0,103	0,093	0,133	0,093	155	30	
5	B5	124	223	28,79	57,75	3,81	14	7,37	28	6,1	14	7,52	7,37	28	0,066	0,040	0,083	0,053	0,133	0,093	132	30
	B3	287	37,05	74,32	3,94	6,2	2,92	13	3,56	6,8	4,33	3,94	6,2	0,068	0,043	0,051	0,053	0,066	0,053	283	30	
	B7-2	284	36,66	73,54	5,46	17	6,35	24	4,44	19	7,46	6,35	24	0,045	0,046	0,035	0,093	0,119	0,080	103	34	
	B4	233	30,08	60,33	9,52	28	8,25	22	7,87	18	11,3	9,52	28	0,077	0,057	0,078	0,172	0,159	0,159	277	27	
	B1	309	39,89	80,01	2,29	32	1,9	30	2,92	27	3,1	2,92	27	0,022	0,032	0,023	0,053	0,040	0,053	11,8	7,2	
	B6	274	35,37	70,95	6,35	8	2,03	15	9,27	7,2	9,75	9,27	7,2	0,121	0,039	0,147	0,053	0,040	0,066	12	4,2	
	B2	260	33,57	67,33	4,95	7,3	2,67	15	4,32	6,3	5,51	4,95	7,3	0,077	0,033	0,100	0,053	0,080	0,053	12,3	12	
6	B5	123	260	33,57	67,33	2,29	18	2,92	37	2,54	11	3,2	2,92	37	0,018	0,026	0,044	0,040	0,066	0,040	9,75	8,8
	B3	322	41,57	83,38	1,14	9,7	1,65	7,8	1,78	16	2,1	1,78	16	0,022	0,032	0,023	0,027	0,027	0,027	7,5	12	
	B7-2	311	40,15	80,53	1,65	19	2,79	27	2,41	16	2,88	2,79	27	0,013	0,029	0,023	0,053	0,053	0,040	7,75	6,2	
	B4	250	32,27	64,74	3,43	15	3,43	37	4,83	19	5,34	4,83	19	0,039	0,044	0,037	0,080	0,080	0,080	13	10	
	B1	339	43,76	87,78	2,41	14	4,19	26	2,92	14	4,31	4,19	26	0,026	0,037	0,035	0,053	0,093	0,066	19,5	15	
	B6	317	40,92	82,09	8,13	7,9	3,94	32	11,8	9	12,9	11,8	9	0,172	0,046	0,214	0,066	0,080	0,119	33	9	
	B2	283	36,54	73,28	2,79	12	3,94	37	6,86	8,5	6,92	6,86	8,5	0,047	0,029	0,124	0,053	0,093	0,066	27,3	13	
7	B5	123	300	38,73	77,68	3,3	12	4,19	32	3,94	8,5	4,38	4,19	32	0,045	0,032	0,063	0,053	0,119	0,106	27,3	8,7
	B3	361	46,60	93,48	1,78	14	3,05	24	2,54	11	3,36	3,05	24	0,023	0,039	0,044	0,040	0,066	0,040	23,8	8,1	
	B7-2	346	44,67	89,60	3,43	24	3,56	18	3,68	23	4,52	3,68	23	0,021	0,040	0,040	0,030	0,066	0,080	19,3	8	
	B4	280	36,15	72,51	4,44	23	4,83	39	4,44	16	5,44	4,83	39	0,033	0,030	0,074	0,080	0,119	0,106	27,8	14	

Çizelge 4.18 devamı

8	124	B6	227	26,21	54,61	3,05	12	5,46	12	5,08	17	6,34	5,46	12	0,035	0,060	0,044	0,066	0,106	0,080	94,3	3,8
		B2	194	22,40	46,67	6,6	12	7,11	9,7	6,1	13	9,37	7,11	9,7	0,072	0,099	0,082	0,093	0,080	0,080	121	5,6
		B5	197	22,75	47,39	9,27	16	6,6	15	6,86	12	10,4	9,27	16	0,079	0,060	0,087	0,106	0,119	0,080	87,3	4,7
		B3	196	22,63	47,15	5,71	15	5,46	13	6,35	18	7,53	6,35	18	0,070	0,067	0,093	0,119	0,093	0,119	199	5,1
		B7-2	209	24,13	50,28	1,4	22	6,22	30	4,83	20	6,38	6,22	30	0,103	0,040	0,041	0,040	0,146	0,093	108	5,2
		B4	280	32,33	67,36	2,79	20	3,68	20	2,92	8	4,16	3,68	20	0,033	0,040	0,045	0,040	0,066	0,053	73,3	4,9
9	118	B6	488	56,35	117,40	0,889	16	1,4	11	1,4	6,5	1,58	1,4	11	0,013	0,023	0,023	0,027	0,027	0,027	119	9,5
		B2	481	55,54	115,71	0,762	5,2	1,4	6,6	1,52	6,7	1,7	1,52	6,7	0,022	0,032	0,035	0,013	0,027	0,027	120	12
		B5	481	55,54	115,71	0,889	11	1,14	7,1	1,4	9,8	1,61	1,4	9,8	0,012	0,026	0,033	0,013	0,027	0,027	97,8	11
		B3	469	54,16	112,82	1,02	9,7	1,02	11	1,27	6,9	1,4	1,27	6,9	0,016	0,022	0,026	0,027	0,027	0,027	194	8,5
		B7-2	473	54,62	113,79	0,762	4,9	1,4	20	0,889	18	1,53	1,4	20	0,099	0,019	0,015	0,040	0,040	0,040	130	9,1
		B4	553	63,85	133,03	0,762	11	1,14	19	1,14	8,7	1,33	1,14	19	0,012	0,015	0,020	0,027	0,027	0,027	77,3	13
10	118	B1	224	25,87	53,89	6,73	24	4,57	28	11,9	9,7	12,8	11,9	9,7	0,073	0,058	0,175	0,133	0,093	0,133	45,3	16
		B6	224	25,87	53,89	6,48	28	6,1	20	8,76	9,7	9,57	8,76	9,7	0,090	0,053	0,157	0,119	0,106	0,119	42	17
		B2	189	21,82	45,47	4,7	28	14,6	34	14,2	34	15,7	14,6	34	0,026	0,067	0,054	0,133	0,358	0,358	48	5,3
		B5	193	22,29	46,43	7,62	27	8,89	30	8	26	9,08	8,89	30	0,083	0,064	0,096	0,133	0,186	0,119	40,3	16
		B3	199	22,98	47,87	9,4	26	13,8	30	13,5	23	14,8	13,8	30	0,052	0,067	0,087	0,212	0,305	0,239	54	17
		B7-1	227	26,21	54,61	4,95	16	4,95	18	7,37	20	7,8	7,37	20	0,058	0,045	0,133	0,093	0,093	0,119	1	22
		B7-2	213	24,60	51,24	1,9	30	13	39	12,2	30	14,3	13	39	0,175	0,055	0,112	0,053	0,305	0,212	41	18
		B4	188	21,71	45,23	8,38	20	8,38	27	15,4	28	16,4	15,4	28	0,062	0,065	0,179	0,133	0,225	0,318	58,5	18
11	118	B1	397	45,84	95,50	2,29	4,7	2,67	6,5	3,81	5,8	3,82	3,81	5,8	0,082	0,061	0,113	0,027	0,027	0,027	26,8	3,7
		B6	409	47,23	98,39	2,41	6	2,41	6,7	2,92	5,8	3,28	2,92	5,8	0,063	0,059	0,073	0,013	0,027	0,027	25,8	4
		B2	453	52,31	108,98	0,635	12	1,27	7,8	0,762	4,5	1,3	1,27	7,8	0,016	0,026	0,026	0,027	0,027	0,013	22,3	3,3
		B5	405	46,77	97,43	2,41	6,3	1,9	7,4	2,54	6,9	2,71	2,54	6,9	0,061	0,039	0,056	0,027	0,027	0,027	24,8	3,5
		B3	443	51,15	106,57	0,889	28	1,4	24	1,02	4,9	1,4	1,4	24	0,025	0,025	0,028	0,027	0,040	0,027	28,8	3,3
		B7-1	424	48,96	102,00	2,16	6,7	2,16	6	2,67	6,6	2,92	2,67	6,6	0,059	0,058	0,067	0,040	0,040	0,040	1	8,5
		B7-2	447	51,62	107,53	0,508	N/A	1,4	7,3	1,27	13	1,57	1,4	7,3	0,168	0,026	0,016	0,040	0,040	0,040	21,5	3,4
		B4	416	48,04	100,07	1,78	11	1,65	7,3	1,52	20	2,34	1,78	11	0,033	0,034	0,024	0,027	0,027	0,027	29,3	3,4



Çizelge 4.18 devamı

12	124	B1	490	56,58	117,88	3,56	4,3	1,52	23	3,3	14	3,72	3,56	4,3	0,119	0,021	0,094	0,027	0,027	0,040	53,8	24
		B6	252	29,10	60,62	6,6	7,4	4,7	19	8,13	4,8	9,46	8,13	4,8	0,116	0,100	0,221	0,066	0,080	0,093	94	14
		B2	157	18,13	37,77	10	6,6	16,9	12	13,6	14	19,4	16,9	12	0,242	0,199	0,248	0,080	0,146	0,159	197	26
		B5	567	65,47	136,40	2,29	4,2	0,889	30	1,78	4,4	2,36	2,29	4,2	0,075	0,013	0,064	0,027	0,027	0,027	38,3	22
		B3	201	23,21	48,35	9,14	9,3	8,89	12	9,14	5,3	11,3	9,14	9,3	0,153	0,115	0,196	0,080	0,146	0,080	156	20
		B7-1	242	27,94	58,22	5,46	7,3	3,43	16	6,6	5,7	7,36	6,6	5,7	0,101	0,078	0,158	0,053	0,053	0,066	1	17
		B7-2	237	27,37	57,01	0,635	16	2,92	16	4,44	4,9	4,63	4,44	4,9	0,014	0,053	0,132	0,040	0,053	0,053	69,3	24
		B4	440	50,81	105,85	2,79	5,3	1,27	19	3,68	5,1	3,87	3,68	5,1	0,096	0,040	0,090	0,027	0,027	0,027	62,5	23
13	126	B1	205	26,47	53,08	6,48	15	4,57	16	12,2	11	12,5	12,2	11	0,067	0,049	0,151	0,066	0,066	0,106	65,3	13
		B6	229	29,56	59,30	8,13	12	6,1	19	9,52	10	10,3	9,52	10	0,098	0,053	0,118	0,093	0,106	0,080	78	12
		B2	276	35,63	71,47	3,43	12	4,7	17	4,06	13	5,47	4,7	17	0,043	0,041	0,059	0,040	0,053	0,040	33,8	16
		B5	194	25,05	50,24	8,89	23	5,21	24	8,64	13	11,4	8,89	23	0,077	0,051	0,114	0,012	0,093	0,119	76,3	11
		B3	231	29,82	59,82	4,7	13	5,97	20	6,86	17	8,3	6,86	17	0,050	0,066	0,062	0,066	0,093	0,080	75	16
		B7-1	152	19,62	39,36	1,27	27	6,73	10	0,381	85	6,85	6,73	10	0,011	0,054	0,001	0,040	0,133	0,040	91	10
		B7-2	191	24,66	49,46	3,05	12	6,6	24	4,83	14	6,84	6,6	24	0,033	0,057	0,057	0,066	0,133	0,066	1	57
		B4	310	40,02	80,27	3,94	15	2,79	11	4,57	10	5,71	4,57	10	0,048	0,037	0,071	0,040	0,053	0,053	25,3	10
14	118	B1	289	37,31	74,84	1,9	14	3,05	12	4,44	7,6	4,76	4,44	7,6	0,019	0,030	0,085	0,040	0,053	0,053	28,8	3,9
		B6	282	36,41	73,02	5,08	8,5	3,68	9,5	4,7	15	6,01	5,08	8,5	0,061	0,054	0,046	0,093	0,053	0,080	80	11
		B2	232	29,95	60,08	3,56	9	4,19	11	4,06	8,7	5,32	4,19	11	0,059	0,056	0,073	0,027	0,040	0,040	85,5	6,2
		B5	258	33,31	66,81	3,81	13	4,44	8	6,22	7,2	6,38	6,22	7,2	0,045	0,086	0,119	0,040	0,053	0,053	64,3	12
		B3	296	38,21	76,65	3,3	7,8	1,78	9,7	3,05	5,8	3,88	3,3	7,8	0,064	0,029	0,086	0,027	0,027	0,027	49,3	8,8
		B7-2	255	32,92	66,03	2,03	16	3,56	15	2,41	9,8	4,05	3,56	15	0,020	0,038	0,035	0,066	0,080	0,053	80,8	11
		B4	311	40,15	80,53	2,79	23	2,92	9,7	2,92	12	3,5	2,92	9,7	0,037	0,047	0,031	0,053	0,040	0,053	73,3	11
		15	122	B1	203	26,21	52,57	8,25	13	8	16	7,37	12	11,3	8,25	13	0,104	0,094	0,091	0,106	0,106	0,119
B6	199			25,69	51,53	9,02	32	5,46	26	7,11	30	9,49	9,02	32	0,065	0,047	0,061	0,186	0,146	0,146	117	23
B2	216			27,89	55,93	3,05	20	3,56	15	2,67	15	4,21	3,56	15	0,025	0,038	0,042	0,066	0,106	0,053	124	27
B5	262			33,82	67,84	3,05	18	3,94	24	4,06	13	4,89	4,06	13	0,043	0,052	0,049	0,053	0,080	0,066	37,3	20
B3	282			36,41	73,02	3,43	20	3,05	18	3,3	6,2	5,3	3,43	20	0,034	0,033	0,074	0,053	0,040	0,040	105	27
B7-1	158			20,40	40,91	1,02	37	8,25	24	5,71	22	8,41	8,25	24	0,009	0,050	0,040	0,040	0,146	0,119	153	21
B7-2	196			25,30	50,75	3,43	23	5,21	28	4,19	23	5,52	5,21	28	0,028	0,033	0,041	0,066	0,106	0,093	0,75	>100
B4	218			28,14	56,45	4,06	13	6,73	20	6,22	18	6,76	6,73	20	0,035	0,048	0,059	0,066	0,093	0,093	81,5	18

Çizelge 4.18 devamı

16	B1	360	46,48	93,22	1,78	13	1,14	17	1,65	21	2,18	1,78	13	0,016	0,021	0,016	0,040	0,027	0,027	89,5	5,1	
	B6	395	50,99	102,28	1,9	26	1,27	37	4,57	43	4,69	4,57	43	0,019	0,020	0,019	0,040	0,040	0,133	77,8	5,6	
	B2	272	35,12	70,43	2,92	22	2,29	14	5,08	20	5,76	5,08	20	0,027	0,027	0,037	0,053	0,053	0,066	123	5	
	B5	123	225	29,05	58,26	5,97	23	3,43	34	7,87	9,3	9,1	7,87	9,3	0,074	0,045	0,095	0,106	0,080	0,159	144	7,3
	B3	309	39,89	80,01	4,06	14	2,79	27	5,33	23	5,52	5,33	23	0,042	0,022	0,036	0,053	0,066	0,093	115	5,2	
	B7-2	499	64,42	129,21	1,52	18	0,889	30	1,27	2424	1,7	1,52	18	0,012	0,009	0,011	0,040	0,027	0,040	0,5	>100	
	B4	173	22,33	44,80	12,4	30	6,48	18	15,4	30	15,7	15,4	30	0,065	0,052	0,093	0,278	0,119	0,265	213	7	
17	B1	331	42,73	85,71	2,54	21	2,41	26	3,05	16	3,13	3,05	16	0,023	0,016	0,030	0,040	0,053	0,053	43,8	6,9	
	B6	422	54,48	109,28	3,43	20	1,52	32	2,67	22	3,69	3,43	20	0,031	0,010	0,018	0,053	0,040	0,040	26	17	
	B2	290	37,44	75,09	4,19	28	2,16	26	3,81	27	5,14	4,19	28	0,023	0,018	0,023	0,080	0,040	0,093	46,5	11	
	B5	118	552	71,26	142,94	1,4	30	0,762	39	3,17	34	3,22	3,17	34	0,008	0,007	0,015	0,040	0,027	0,080	14	15
	B3	379	48,93	98,14	2,79	28	2,29	30	3,81	23	4,21	3,81	23	0,015	0,011	0,024	0,066	0,053	0,053	38,3	16	
	B7-1	607	78,36	157,18	1,4	27	1,02	39	1,14	37	1,69	1,4	27	0,009	0,004	0,007	0,053	0,040	0,040	20,5	5,3	
	B7-2	666	85,98	172,46	0,635	20	0,762	19	1,4	32	1,45	1,4	32	0,019	0,006	0,007	0,027	0,027	0,040	13,8	5,6	
B4	495	63,90	128,18	1,27	23	0,635	51	1,27	43	1,42	1,27	23	0,008	0,009	0,004	0,027	0,027	0,053	24,3	11		
18	B1	154	19,88	39,88	11	43	17,8	34	9,4	28	18,8	17,8	34	0,064	0,081	0,112	0,318	0,424	0,212	191	23	
	B6	368	47,51	95,29	3,17	37	6,48	37	4,95	39	7,17	6,48	37	0,021	0,027	0,021	0,080	0,159	0,119	58,8	12	
	B5	309	39,89	80,01	3,56	32	3,68	37	4,32	17	5,3	4,32	17	0,029	0,025	0,039	0,080	0,093	0,093	66,8	12	
	B3	125	420	54,22	108,76	1,27	21	2,16	26	1,4	27	2,3	2,16	26	0,019	0,012	0,014	0,027	0,040	0,040	66	11
	B7-1	256	33,05	66,29	1,65	30	9,52	30	9,78	27	11,5	9,78	27	0,012	0,056	0,057	0,053	0,239	0,186	109	21	
	B7-2	204	26,34	52,83	4,57	37	8,38	34	5,84	47	8,42	8,38	34	0,034	0,038	0,030	0,133	0,225	0,199	84,3	12	
	B4	468	60,42	121,19	1,27	30	1,52	26	2,16	43	2,28	2,16	43	0,010	0,011	0,011	0,040	0,040	0,066	42,8	12	
19	B1	154	17,78	37,05	9,65	13	8,76	57	9,02	14	13,4	9,65	13	0,084	0,063	0,069	0,199	0,292	0,146	131	15	
	B6	368	42,49	88,53	2,54	51	3,17	30	2,16	20	3,52	3,17	30	0,021	0,016	0,016	0,080	0,066	0,053	32,5	15	
	B5	309	35,68	74,33	4,7	32	3,68	34	1,9	34	4,98	4,7	32	0,029	0,032	0,013	0,093	0,080	0,053	43	14	
	B3	123	420	48,50	101,04	0,889	17	1,27	15	0,889	37	1,5	1,27	15	0,009	0,011	0,013	0,027	0,040	0,027	34,5	13
	B7-1	255	29,44	61,34	1,27	47	8	43	5,46	18	8,68	8	43	0,008	0,041	0,048	0,040	0,199	0,119	80,5	14	
	B7-2	204	23,56	49,07	4,06	43	8,51	34	5,46	51	9,8	8,51	34	0,028	0,038	0,021	0,119	0,225	0,186	58,3	15	
	B4	468	54,04	112,58	1,02	19	1,02	15	1,9	51	1,99	1,9	51	0,008	0,015	0,012	0,040	0,027	0,066	26,5	13	

Çizelge 4.18 devamı

20	122	B1	444	57,32	114,97	5,33	15	5,71	32	4,57	17	6,59	5,71	32	0,055	0,039	0,043	0,066	0,119	0,066	65,8	8,3
		B6	403	52,03	104,36	1,78	5,9	2,03	30	2,41	15	2,55	2,41	15	0,047	0,034	0,034	0,027	0,053	0,027	31,8	9,5
		B2	356	45,96	92,18	1,4	16	1,65	34	1,4	7,6	2,13	1,65	34	0,039	0,023	0,027	0,027	0,027	0,027	36,5	9,5
		B5	311	40,15	80,53	1,78	20	3,3	18	2,41	22	3,34	3,3	18	0,021	0,029	0,032	0,040	0,066	0,053	44	9,1
		B3	260	33,57	67,33	3,43	21	3,81	32	2,54	9,8	4,04	3,81	32	0,032	0,050	0,034	0,066	0,106	0,066	30,8	8,8
		B4	217	28,01	56,19	1,78	8,3	1,78	6,6	2,29	12	2,63	2,29	12	0,027	0,038	0,053	0,027	0,040	0,027	28,8	8
21	117	B1	304	39,25	78,72	2,41	8,7	2,16	12	2,41	10	3,04	2,41	8,7	0,034	0,023	0,037	0,040	0,053	0,040	11,3	4,2
		B6	280	36,15	72,51	5,97	12	3,05	18	6,1	7,6	6,63	6,1	7,6	0,089	0,033	0,113	0,066	0,053	0,080	11,3	5
		B2	326	42,09	84,42	2,16	28	3,05	17	3,3	32	4,21	3,3	32	0,029	0,026	0,034	0,053	0,053	0,066	9,25	3,5
		B5	309	39,89	80,01	3,94	15	2,41	22	3,17	15	4,01	3,94	15	0,043	0,040	0,039	0,053	0,053	0,040	9	4,1
		B3	330	42,60	85,45	4,06	12	2,16	14	3,17	7,3	5,27	4,06	12	0,054	0,018	0,051	0,053	0,040	0,053	9,5	3,3
		B7-1	353	45,57	91,41	4,06	20	2,54	16	5,21	17	5,41	5,21	17	0,034	0,037	0,049	0,080	0,053	0,080	8,25	3,7
		B7-2	348	44,93	90,11	0,635	8,3	1,9	26	2,54	26	2,83	2,54	26	0,012	0,029	0,029	0,027	0,040	0,053	8,75	4
		B4	279	36,02	72,25	6,22	11	4,06	26	6,73	11	6,94	6,73	11	0,078	0,030	0,073	0,093	0,080	0,106	13	3,7
22	114	B1	337	43,51	87,26	3,05	7,8	2,79	21	5,59	16	6,2	5,59	16	0,067	0,023	0,066	0,040	0,053	0,066	35,8	9,7
		B6	405	52,29	104,87	2,29	5	1,78	21	2,41	7,2	2,9	2,41	7,2	0,049	0,021	0,057	0,027	0,040	0,040	27,3	9,1
		B2	379	48,93	98,14	2,16	6,9	2,29	28	2,79	5,6	3,21	2,79	5,6	0,510	0,025	0,072	0,027	0,040	0,040	29,8	8,5
		B5	307	39,63	79,50	2,29	30	2,03	26	2,16	16	2,92	2,29	30	0,037	0,024	0,038	0,053	0,040	0,040	30,8	8,5
		B3	357	46,09	92,44	2,79	7,4	2,79	21	4,19	19	4,57	4,19	19	0,061	0,019	0,049	0,040	0,040	0,053	34,5	13
		B7-1	341	44,02	88,30	2,67	6,7	2,03	20	4,19	5,8	4,5	4,19	5,8	0,060	0,028	0,103	0,053	0,053	0,053	31	9,3
		B7-2	365	47,12	94,52	0,508	15	1,78	13	3,3	7	3,5	3,3	7	0,010	0,020	0,068	0,027	0,040	0,040	30,8	8,7
		B4	350	45,18	90,63	3,05	6,4	2,41	34	3,3	5,7	4,4	3,3	5,7	0,067	0,028	0,090	0,040	0,053	0,053	36,5	8,4
23	120	B1	388	50,09	100,47	1,65	10	1,78	32	1,52	18	2,01	1,78	32	0,030	0,013	0,025	0,027	0,053	0,027	7,75	3,8
		B6	550	71,00	142,42	1,02	32	1,02	21	0,762	34	1,14	1,02	32	0,013	0,009	0,004	0,027	0,027	0,027	5,25	2,8
		B2	338	43,64	87,52	2,54	12	2,67	34	2,67	24	3,12	2,67	34	0,033	0,014	0,024	0,053	0,053	0,053	8,5	4,8
		B5	598	77,20	154,85	1,02	12	1,27	20	0,635	32	1,32	1,27	20	0,015	0,008	0,008	0,027	0,027	0,027	4,25	4
		B3	500	64,55	129,47	1,14	8,7	1,14	32	0,889	17	1,28	1,14	8,7	0,018	0,008	0,009	0,027	0,027	0,027	6	1,8
		B7-1	657	84,82	170,13	2,03	26	1,4	73	0,381	51	2,29	2,03	26	0,009	0,003	0,001	0,106	0,053	0,040	10,8	20
		B4	445	57,45	115,23	1,02	11	1,27	24	1,27	13	1,47	1,27	24	0,020	0,011	0,011	0,027	0,027	0,027	6,75	3,9

Çizelge 4.18 devamı

24	B1	276	35,63	71,47	2,54	14	6,48	37	2,79	6,69	6,48	37	0,047	0,034	0,040	0,053	0,172	0,053	8,25	2,7		
	B2	226	29,18	58,52	6,48	12	7,24	37	4,95	20	7,44	7,24	37	0,075	0,048	0,068	0,106	0,159	0,080	10,3	5,4	
	B5	118	486	62,74	125,85	1,27	37	1,4	37	1,27	9,3	1,81	1,4	37	0,022	0,018	0,024	0,027	0,040	0,027	3,75	3
	B3	389	50,22	100,73	1,78	30	3,05	34	2,41	30	3,5	3,05	34	0,036	0,024	0,014	0,040	0,066	0,053	5,25	2,7	
	B4	334	43,12	86,49	2,54	20	4,19	37	3,94	27	4,8	4,19	37	0,067	0,023	0,066	0,040	0,053	0,066	6,5	3	
25	B1	250	32,27	64,74	4,83	32	6,35	32	4,19	18	6,67	6,35	32	0,038	0,018	0,034	0,040	0,106	0,080	44,8	7,4	
	B6	409	52,80	105,91	1,14	26	2,41	19	1,4	20	2,5	2,41	19	0,031	0,047	0,026	0,106	0,133	0,106	24,3	7,5	
	B2	196	25,30	50,75	7,11	26	11,2	23	9,27	39	11,6	11,2	23	0,010	0,025	0,020	0,027	0,053	0,040	56,5	7,5	
	B5	130	461	59,51	119,37	1,4	14	1,9	12	2,29	39	2,31	2,29	39	0,038	0,077	0,044	0,172	0,239	0,252	21	7
	B3	358	46,22	92,70	2,41	37	2,41	28	4,7	43	4,77	4,7	43	0,015	0,022	0,014	0,040	0,053	0,066	31	6,7	
	B7-1	524	67,65	135,69	1,9	26	2,41	32	2,79	30	3,43	2,79	30	0,014	0,025	0,024	0,066	0,053	0,119	16,8	6,7	
	B7-2	572	73,84	148,12	0,508	17	1,02	7,5	1,02	28	1,16	1,02	7,5	0,011	0,022	0,014	0,053	0,066	0,080	15,8	6,5	
	B4	299	38,60	77,43	2,92	24	7,87	26	3,94	28	7,91	7,87	26	0,013	0,019	0,008	0,027	0,040	0,040	34,3	7,2	
26	B1	115	14,85	29,78	9,52	30	10,7	30	14,6	11	16,1	14,6	11	0,025	0,047	0,028	0,080	0,146	0,119	267	34	
	B6	205	26,47	53,08	5,08	51	8	37	6,22	34	8,37	8	37	0,068	0,081	0,168	0,186	0,212	0,199	81,3	6,3	
	B2	257	33,18	66,55	3,3	16	2,29	34	3,81	24	5,05	3,81	24	0,022	0,034	0,031	0,024	0,212	0,239	64,3	6,9	
	B5	118	219	28,27	56,71	4,19	12	5,46	20	5,71	12	6,4	5,71	12	0,034	0,024	0,025	0,053	0,053	0,080	67,5	8,8
	B3	235	30,34	60,85	3,17	20	3,68	34	4,95	30	5,19	4,95	30	0,050	0,053	0,070	0,080	0,106	0,106	89	7	
	B7-1	185	23,88	47,91	4,19	14	5,46	26	6,86	14	7,15	6,86	14	0,022	0,028	0,029	0,040	0,106	0,106	71,5	27	
	B7-2	218	28,14	56,45	0,762	10	4,32	15	4,19	22	6,02	4,32	15	0,036	0,061	0,073	0,080	0,106	0,119	45	30	
	B4	242	31,24	62,67	3,94	16	3,17	27	2,79	34	4,41	3,94	16	0,013	0,039	0,037	0,027	0,080	0,093	68,5	8,7	
27	B1	133	17,17	34,44	4,44	10	4,83	13	4,95	26	5,86	4,95	26	0,040	0,044	0,035	0,066	0,066	0,066	60,8	3,4	
	B6	118	15,23	30,56	14,2	47	21,2	43	12,7	24	24,2	21,2	43	0,064	0,044	0,038	0,080	0,119	0,106	138	9,3	
	B2	169	21,82	43,76	5,33	13	8,13	32	6,6	12	8,92	8,13	32	0,084	0,070	0,111	0,411	0,583	0,345	90	5,3	
	B5	110	129	16,65	33,40	4,44	20	6,86	27	4,83	11	7,38	6,86	27	0,059	0,043	0,092	0,106	0,212	0,146	67,8	5
	B3	147	18,98	38,07	5,97	22	9,78	39	8,76	13	10	9,78	39	0,051	0,046	0,080	0,080	0,146	0,093	93,3	7,6	
	B7-1	205	26,47	53,08	3,56	10	3,81	32	2,54	13	4,91	3,81	32	0,065	0,059	0,111	0,093	0,265	0,172	43,3	3,4	
	B7-2	229	29,56	59,30	0,762	5,6	8	32	7,37	37	8,4	8	32	0,057	0,028	0,031	0,053	0,080	0,066	40	3,3	
	B4	152	19,62	39,36	4,57	34	5,71	18	4,57	47	5,87	5,71	18	0,055	0,038	0,031	0,040	0,186	0,199	70,8	4,4	

Çizelge 4.18 devamı

28	133	B1	174	22,46	45,06	9,02	9,7	8,76	12	10,3	5,8	11,3	10,3	5,8	0,138	0,134	0,221	0,080	0,199	0,093	338	26
		B6	238	30,73	61,63	3,81	6,9	5,46	11	6,1	19	6,21	6,1	19	0,075	0,080	0,076	0,066	0,133	0,186	231	26
		B2	150	19,36	38,84	10,5	10	19,9	11	13,8	6,2	20,5	19,9	11	0,206	0,262	0,370	0,106	0,212	0,119	339	27
		B5	273	35,24	70,69	4,06	7,5	4,83	26	3,05	12	5,61	4,83	26	0,088	0,064	0,059	0,053	0,093	0,080	213	28
		B3	102	13,17	26,41	21,8	12	17,7	12	30,2	9,5	35,2	30,2	9,5	0,296	0,276	0,538	0,252	0,318	0,398	396	20
		B4	205	26,47	53,08	4,83	17	7,37	9,8	7,87	10	9,91	7,87	10	0,077	0,116	0,114	0,053	0,119	0,133	307	27
29	134	B1	146	18,85	37,81	8,25	6,6	7,37	14	10,5	9,5	11,4	10,5	9,5	0,158	0,110	0,175	0,106	0,186	0,093	253	5,4
		B6	211	27,24	54,64	3,17	9,7	4,32	57	4,57	47	4,91	4,57	47	0,045	0,055	0,043	0,133	0,172	0,225	142	4,7
		B2	129	16,65	33,40	10,7	7,9	12,3	9,8	13,2	8,7	15,3	13,2	8,7	0,161	0,223	0,238	0,172	0,239	0,159	307	6,2
		B5	246	31,76	63,70	2,92	10	3,17	27	2,79	12	3,78	3,17	27	0,062	0,051	0,042	0,119	0,093	0,106	127	5
		B3	86	11,10	22,27	19,2	8,4	32,3	11	39,4	11	43,2	39,4	11	0,323	0,369	0,575	0,467	0,370	0,437	111	11
		B4	178	22,98	46,09	4,06	10	7,24	10	6,98	14	8,21	7,24	10	0,092	0,091	0,061	0,053	0,146	0,093	200	5,2
30	115	B1	286	36,92	74,06	4,95	32	4,32	34	3,05	32	4,99	4,95	32	0,023	0,034	0,027	0,093	0,106	0,066	46,5	7,2
		B6	238	30,73	61,63	4,06	37	4,83	34	4,57	24	5,19	4,83	34	0,027	0,044	0,049	0,080	0,133	0,066	65,5	7,6
		B2	249	32,15	64,48	6,35	15	4,19	37	9,14	17	9,83	9,14	17	0,067	0,032	0,090	0,093	0,106	0,119	82	7,5
		B5	213	27,50	55,16	6,86	14	4,32	18	5,84	15	9,09	6,86	14	0,088	0,039	0,057	0,080	0,093	0,080	108	8,3
		B3	202	26,08	52,31	7,75	13	7,24	39	5,21	22	9,75	7,75	13	0,070	0,029	0,040	0,146	0,186	0,146	92,3	7,4
		B7-1	204	26,34	52,83	1,4	37	8,13	37	9,02	30	9,03	9,02	30	0,006	0,034	0,057	0,040	0,212	0,199	106	8,1
		B7-2	253	32,66	65,51	4,7	12	3,17	47	9,27	16	9,84	9,27	16	0,062	0,017	0,086	0,119	0,080	0,119	70,3	7,4
		B4	293	37,83	75,87	6,73	18	3,05	16	3,81	15	7,39	6,73	18	0,060	0,027	0,038	0,093	0,053	0,053	75	7,4
31	125	B1	295	38,08	76,39	13,1	6	13,7	15	14,5	6,1	16,5	14,5	6,1	0,298	0,167	0,233	0,146	0,252	0,252	200	18
		B6	266	34,34	68,88	14,2	8,7	12,6	9,3	16,4	32	17,1	16,4	32	0,229	0,201	0,318	0,199	0,252	0,318	233	7,1
		B2	366	47,25	94,77	12,7	7,8	8,76	12	14,9	6,8	16,5	14,9	6,8	0,302	0,185	0,349	0,159	0,133	0,252	168	4,4
		B5	325	41,96	84,16	5,84	7,9	5,33	28	6,1	37	7,5	6,1	37	0,082	0,075	0,047	0,093	0,106	0,146	182	6,5
		B3	252	32,53	65,25	8,51	12	10,3	27	11,3	12	12,5	11,3	12	0,131	0,138	0,121	0,133	0,239	0,239	247	5,3
		B4	410	52,93	106,17	8,13	4,3	7,75	24	10,2	5,9	10,5	10,2	5,9	0,251	0,155	0,264	0,106	0,159	0,133	124	4,2

Çizelge 4.18 devamı

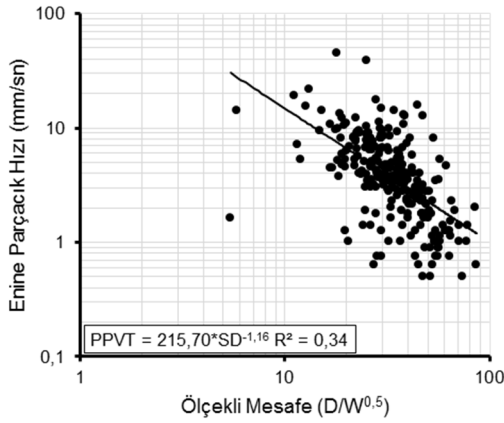
32	118	B1	241	31,11	62,41	4,57	8,1	4,95	30	4,57	7,3	6,37	4,95	30	0,086	0,053	0,089	0,080	0,093	0,080	56,8	5,4
		B6	191	24,66	49,46	6,73	9	9,52	34	8,25	16	10,5	9,52	34	0,106	0,048	0,082	0,106	0,199	0,146	68,5	5
		B2	167	21,56	43,24	8,13	6,6	9,02	20	11,8	6,7	13,3	11,8	6,7	0,187	0,136	0,192	0,133	0,146	0,119	108	12
		B5	256	33,05	66,29	4,44	14	4,95	12	5,33	15	6,98	5,33	15	0,095	0,054	0,075	0,066	0,080	0,080	59,8	11
		B3	208	26,85	53,86	7,62	12	9,14	24	12,7	10	13	12,7	10	0,134	0,081	0,167	0,106	0,146	0,133	78	9,1
		B7-1	204	26,34	52,83	4,83	7,4	6,98	18	8,64	27	9,43	8,64	27	0,077	0,062	0,064	0,093	0,093	0,146	67,3	4,7
		B7-2	248	32,02	64,22	1,02	18	4,06	18	4,44	21	6,02	4,44	21	0,017	0,051	0,033	0,040	0,066	0,066	57,3	3,2
		B4	160	20,66	41,43	6,86	27	5,84	19	6,48	15	8,99	6,86	27	0,081	0,046	0,087	0,119	0,106	0,093	106	13
33	123	B1	220	28,40	56,97	3,68	21	3,68	24	5,84	9,8	6,71	5,84	9,8	0,064	0,025	0,073	0,066	0,080	0,106	95,3	8,3
		B6	313	40,41	81,05	2,16	12	2,29	18	2,29	6,6	3,21	2,29	18	0,042	0,027	0,080	0,027	0,040	0,027	60	7
		B2	266	34,34	68,88	3,81	18	4,7	21	3,17	18	5,39	4,7	21	0,060	0,037	0,059	0,066	0,093	0,066	71	8,3
		B5	291	37,57	75,35	3,81	7	3,68	14	5,84	12	5,94	5,84	12	0,077	0,051	0,138	0,053	0,053	0,066	59,5	4,5
		B3	246	31,76	63,70	6,73	16	5,21	13	7,62	12	9,69	7,62	12	0,087	0,083	0,203	0,080	0,080	0,080	69,8	4,4
		B7-1	231	29,82	59,82	6,73	16	3,68	22	4,95	6	7,16	6,73	16	0,101	0,035	0,141	0,080	0,093	0,053	67,8	9,3
		B7-2	283	36,54	73,28	1,02	3,6	2,67	20	4,57	6,6	4,73	4,57	6,6	0,143	0,027	0,129	0,040	0,040	0,053	61	9,1
		B4	335	43,25	86,75	2,92	6,6	2,29	12	3,17	7,1	4,04	3,17	7,1	0,061	0,029	0,070	0,040	0,040	0,040	58	8,8
34	115	B1	274	35,37	70,95	4,32	12	7,24	21	3,43	16	7,76	7,24	21	0,054	0,047	0,038	0,066	0,119	0,053	68	9,8
		B6	306	39,50	79,24	7,37	39	6,86	37	7,75	27	8,88	7,75	27	0,036	0,035	0,047	0,159	0,186	0,133	57	10
		B2	361	46,60	93,48	2,92	20	3,17	23	3,94	28	4,41	3,94	28	0,027	0,027	0,027	0,053	0,080	0,080	44,8	10
		B5	228	29,43	59,04	8,64	28	6,73	39	10,5	27	13,4	10,5	27	0,047	0,042	0,061	0,172	0,146	0,186	75,5	9,1
		B7-1	290	37,44	75,09	2,79	8,1	3,3	24	5,59	11	5,8	5,59	11	0,063	0,034	0,099	0,066	0,066	0,106	41,5	11
		B7-2	336	43,38	87,01	0,762	20	2,79	23	3,81	9,8	3,9	3,81	9,8	0,015	0,020	0,048	0,040	0,066	0,066	33,8	10
		B4	256	33,05	66,29	3,81	30	5,08	24	5,33	20	5,58	5,33	20	0,034	0,029	0,042	0,093	0,119	0,080	14,3	10

Çizelge 4.18 devamı

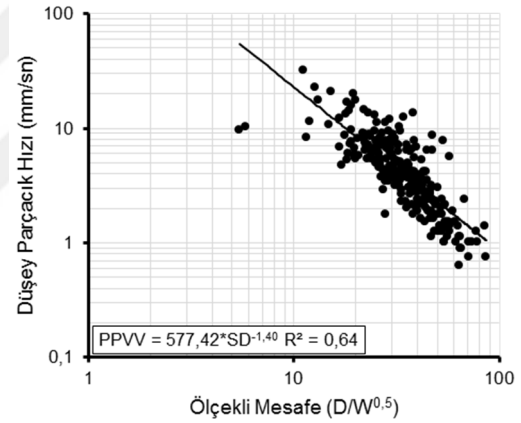
35	112	B1	230	29,69	59,56	15	24	7,37	26	16,9	21	17,8	16,9	21	0,088	0,044	0,118	0,278	0,133	0,305	94,8	6
		B6	325	41,96	84,16	4,44	7,1	3,68	20	5,46	27	6,44	5,46	27	0,085	0,031	0,086	0,040	0,066	0,093	60,5	8,5
		B2	277	35,76	71,73	5,59	27	4,95	20	8,64	34	10,7	8,64	34	0,056	0,038	0,086	0,133	0,106	0,199	81	6,7
		B5	278	35,89	71,99	5,59	17	4,19	27	6,6	20	7,39	6,6	20	0,052	0,026	0,049	0,093	0,066	0,093	68,5	6,8
		B3	227	29,31	58,78	8,25	27	11,9	30	9,91	28	13,3	11,9	30	0,050	0,061	0,058	0,212	0,292	0,199	125	8,7
		B7-1	241	31,11	62,41	4,83	21	8,25	32	6,22	23	9	8,25	32	0,043	0,040	0,051	0,106	0,186	0,119	74,8	8,4
		B7-2	291	37,57	75,35	1,4	19	6,6	30	5,33	21	7,12	6,6	30	0,017	0,032	0,037	0,040	0,172	0,080	50,5	8,5
		B4	345	44,54	89,34	15,9	26	6,48	27	6,6	27	16,6	15,9	26	0,094	0,039	0,040	0,265	0,133	0,146	57,8	5,3
36	119	B1	217	28,01	56,19	4,32	10	7,87	12	3,94	14	14	7,87	12	0,053	0,069	0,050	0,066	0,093	0,053	89,5	22
		B6	45	5,81	11,65	14,2	5,6	10,4	24	12,4	34	34	14,2	5,6	0,260	0,068	0,192	0,159	0,199	0,292	138	16
		B2	140	18,07	36,25	5,21	6,7	5,33	27	9,27	12	12	9,27	12	0,108	0,033	0,142	0,080	0,106	0,186	80,8	19
		B5	89	11,49	23,05	7,11	6,4	8,38	26	9,78	6	6	9,78	6	0,179	0,090	0,181	0,106	0,146	0,172	100	20
		B3	183	23,63	47,39	3,94	11	5,71	24	4,44	17	17	5,71	24	0,046	0,046	0,040	0,093	0,106	0,106	92,5	21
		B7-1	42	5,42	10,88	1,65	24	9,65	23	7,49	20	20	9,65	23	0,010	0,058	0,077	0,040	0,186	0,133	61	6,5
		B7-2	92	11,88	23,82	5,33	15	11,4	39	9,65	32	32	11,4	39	0,042	0,048	0,055	0,106	0,292	0,186	47,3	4,2
		B4	142	18,33	36,77	3,81	27	6,1	39	5,97	28	28	6,1	39	0,044	0,028	0,057	0,080	0,172	0,119	47,5	7,1

Ölçüm sonuçlarından elde edilen tüm parçacık hızı bileşenleri (enine, düşey, boyuna, tepe ve bileşke) ve hava şoku Eşitlik 2.19'da verilen parçacık hızı modeline göre değerlendirilmiş ve regresyon analizi yardımıyla saha sabitleri ( $K$  ve  $\beta$ ) belirlenmiştir (Şekil 4.26-4.31). Ayrıca parçacık hızı bileşenleri ve hava şoku değerleri literatürdeki 12 farklı tahmin yöntemlerine göre değerlendirilerek elde edilen saha sabitleri ve korelasyon katsayıları Çizelge 4.19'da sunulmuştur.

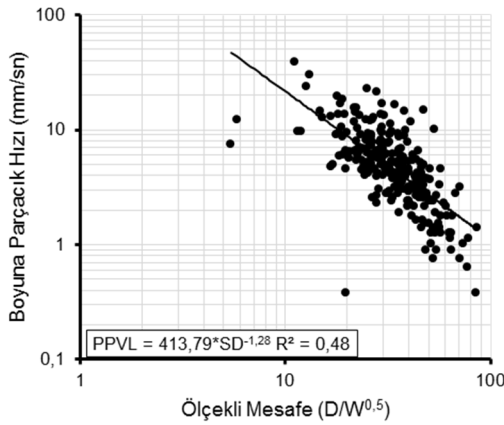
Şekil 4.26-4.31 ve Çizelge 4.18 birlikte değerlendirildiğinde Bigadiç Bor Açık İşletmesi için enine, düşey, boyuna ve tepe parçacık hız bileşenlerinin parçacık hız modellerine göre değerlendirilmesi sonucunda elde edilen eşitliklerin düşük-orta korelasyon ( $R^2=0.27-0.64$ ) sunduğu söylenebilir. Bu değerlendirmeler patlatma ölçerlerin tek sıra halinde ardışık sıralandığı dört farklı yöne ait atımlar için gerçekleştirildiğinde ise (Atım 12, Atım 16,17, Atım 18, 19, 23, 24, 25 ve Atım 28, 29) tüm verilere göre elde edilen sonuçlara kıyasla çok daha yüksek korelasyona ( $R^2=0,77-0,88$ ) sahip ilişkiler elde edilmiştir (Çizelge 4.20). Bununla beraber bu dört farklı yöndeki saha sabitleri, başka bir ifade ile ilerleme ve sönümlenme davranışları, birbirlerinden belirgin bir şekilde farklılık arz etmiştir (Şekil 4.32).



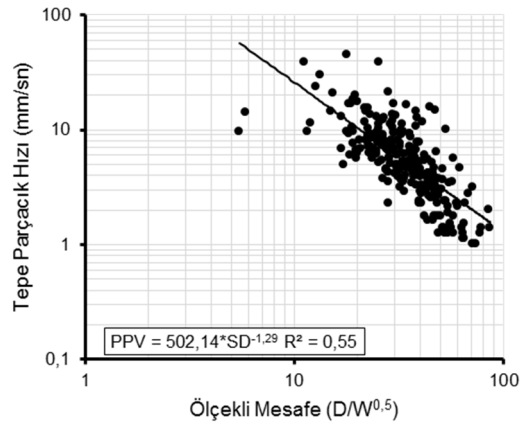
**Şekil 4.26** Enine tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.



**Şekil 4.28** Düşey tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.

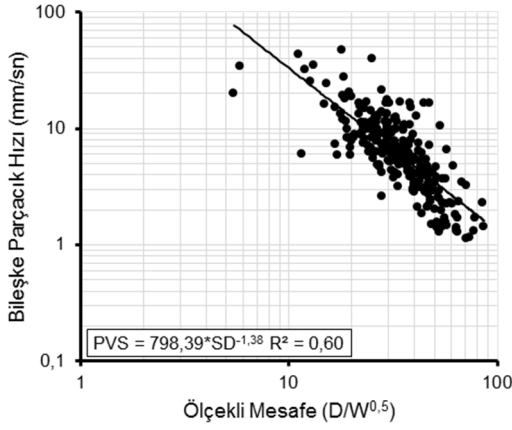


**Şekil 4.27** Boyuna tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.

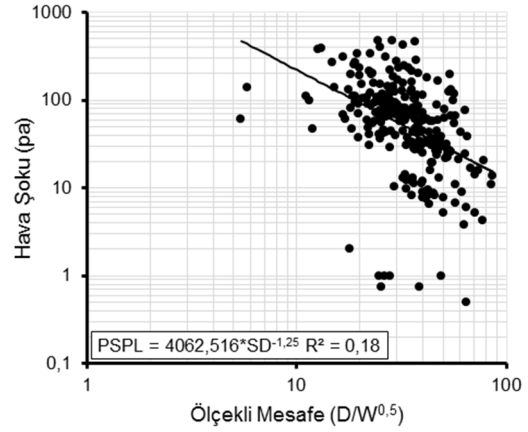


**Şekil 4.29** Tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.





**Şekil 4.30** Bileşke parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.



**Şekil 4.31** Hava şoku-ölçekli mesafe ilişkisi.

**Çizelge 4.19** Parçacık hızı bileşenleri ve hava şoku değerlerinin literatürdeki tahmin yöntemlerine göre değerlendirilmesi

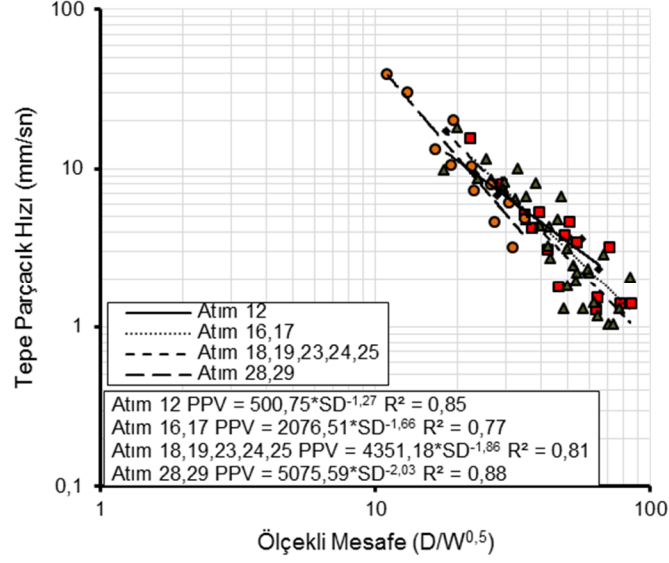
Eşitlik		$PPV = K \left( \frac{D}{\sqrt[3]{W}} \right)^\beta$					
1. Yöntem	PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL	
	K	496,8039	1569,6	1015,112	2135,718	1253,855	9359,984
	$\beta$	-1,168855	-1,413889	-1,284121	-1,391619	-1,296373	-1,24585
	R <sup>2</sup>	0,35	0,64	0,48	0,61	0,55	0,18
Eşitlik		$PPV = K \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^\beta$					
2. Yöntem	PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL	
	K	215,6979	577,4163	413,7944	798,3957	502,1461	4062,516
	$\beta$	-1,158424	-1,403885	-1,278113	-1,38186	-1,287713	-1,25024
	R <sup>2</sup>	0,34	0,64	0,48	0,60	0,55	0,18
Eşitlik		$PPV = K \left( \frac{W}{D^2} \right)^\beta$					
3. Yöntem	PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL	
	K	94,09339	212,8434	168,2473	299,0171	201,3237	1733,564
	$\beta$	1,526194	1,85304	1,691096	1,824084	1,70038	1,66769
	R <sup>2</sup>	0,34	0,63	0,48	0,60	0,54	0,18
Eşitlik		$PPV = K \left( \frac{W^2}{D} \right)^\beta$					
4. Yöntem	PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL	
	K	94,09339	212,8434	168,2473	299,0171	201,3237	1733,564
	$\beta$	1,144645	1,38978	1,268322	1,368063	1,275285	1,250767
	R <sup>2</sup>	0,34	0,63	0,48	0,60	0,54	0,18
Eşitlik		$PPV = K D^\alpha W^\beta$					
5. Yöntem	PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL	
	K	6367,235	10479,28	1406,634	13300,52	5662,276	123,897
	$\alpha$	-1,178431	-1,42101	-1,28534	-1,39848	-1,30203	-1,22962
	$\beta$	-0,220376	0,01726	0,350031	0,026476	0,071588	1,449528
R <sup>2</sup>	0,35	0,64	0,49	0,61	0,55	0,19	
Eşitlik		$PPV = K \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^\beta e^{\alpha D}$					
6. Yöntem	PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL	
	K	10,52625	37,22314	21,93643	81,35283	34,76801	765,3943
	$\beta$	0,102237	-0,259427	-0,05201	-0,428515	-0,17307	-0,55347
	$\alpha$	-0,004998	-0,004537	-0,004861	-0,00378	-0,00441	-0,00276
R <sup>2</sup>	0,40	0,69	0,54	0,64	0,60	0,19	

**Çizelge 4.19 Devamı**

Eşitlik		$PPV = K \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^\beta e^{\alpha D}$					
7. Yöntem	PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL	
	K	9,632797	45,13465	19,87042	116,3933	38,31918	840,7907
	$\beta$	0,1082	-0,264473	-0,010142	-0,449271	-0,16668	-0,46536
	$\alpha$	-0,00502	-0,004518	-0,005008	-0,003704	-0,00444	-0,00307
	$R^2$	0,40	0,69	0,54	0,64	0,60	0,19
Eşitlik		$PPV = K \left( \frac{W}{D^2} \right)^\beta e^{\alpha D}$					
8. Yöntem	PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL	
	K	11,43798	30,61413	22,51255	57,80424	30,97301	586,1179
	$\beta$	-0,126571	0,332233	0,113611	0,535157	0,232353	0,817198
	$\alpha$	-0,004972	-0,004575	-0,004745	-0,003877	-0,004416	-0,00256
	$R^2$	0,40	0,69	0,54	0,64	0,60	0,19
Eşitlik		$PPV = K \left( \frac{W^2}{D} \right)^\beta e^{\alpha D}$					
9. Yöntem	PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL	
	K	11,43798	30,61413	22,51255	57,80424	30,97301	586,1179
	$\beta$	-0,094929	0,249175	0,085209	0,401368	0,174265	0,612899
	$\alpha$	-0,004972	-0,004575	-0,004745	-0,003877	-0,004416	-0,00256
	$R^2$	0,40	0,69	0,54	0,64	0,60	0,19
Eşitlik		$PPV = K \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^\beta e^{\alpha \frac{D}{W}}$					
10. Yöntem	PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL	
	K	31,45852	113,1933	37,29222	223,3259	84,0432	96,69456
	$\beta$	-0,361479	-0,729363	-0,281901	-0,854496	-0,547748	0,297111
	$\alpha$	-0,185488	-0,156994	-0,231867	-0,122743	-0,172226	-0,36015
	$R^2$	0,36	0,65	0,52	0,62	0,57	0,22
Eşitlik		$PPV = n + K \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1}$					
11. Yöntem	PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL	
	K	104,1659	137,7804	139,9254	240,5529	163,0024	1484,326
	n	1,677403	0,836229	1,481518	0,229692	1,671767	37,27901
	$R^2$	0,15	0,38	0,28	0,43	0,27	0,09
Eşitlik		$PPV = K \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^\alpha B^\beta$					
12. Yöntem	PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL	
	K	183,6327	790,3467	480,0029	736,7283	526,0808	5141,054
	$\alpha$	-1,146045	-1,42803	-1,28953	-1,375677	-1,291295	-1,26836
	$\beta$	0,073056	-0,142492	-0,067374	0,036489	-0,021137	-0,10688
	$R^2$	0,34	0,64	0,48	0,60	0,55	0,18

**Çizelge 4.20 Tek sıra dizimli atımlara ait parçacık hız bileşenleri-ölçekli mesafe ilişkisi**

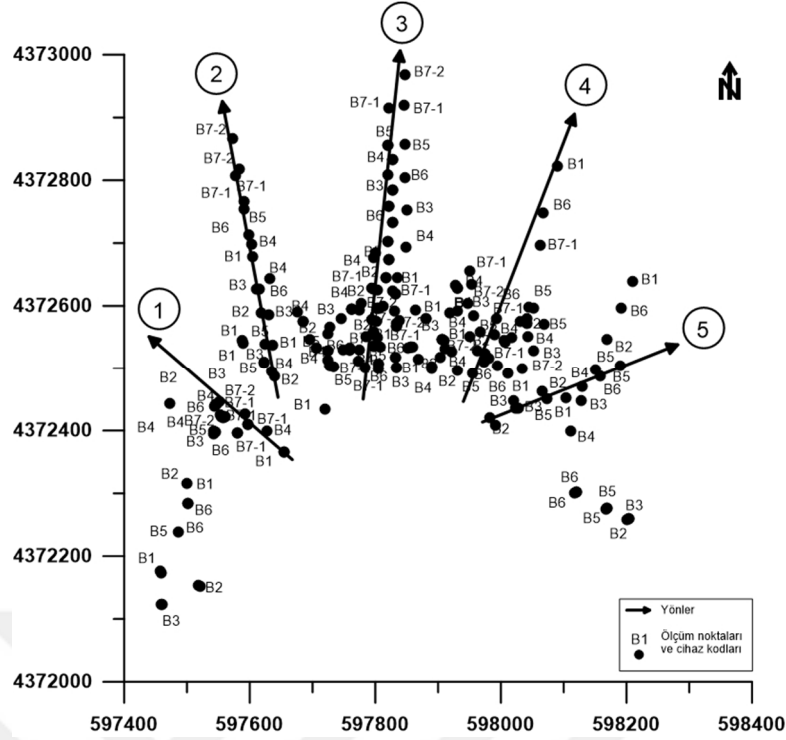
Atım No	Sabitler	$PPV = K * \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-\beta}$				
		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV
12	K	64,52	4476,78	548,75	800,02	500,75
	$\beta$	-0,80	-2,05	-1,32	-1,38	-1,27
	$R^2$	0,17	0,90	0,87	0,84	0,85
16, 17	K	2636,76	835,62	2665,66	2309,96	2076,51
	$\beta$	-1,80	-1,61	-1,74	-1,67	-1,66
	$R^2$	0,86	0,85	0,76	0,81	0,77
18, 19, 23, 24, 25	K	912,89	5947,75	3374,05	4745,43	4351,18
	$\beta$	-1,57	-1,96	-1,87	-1,85	-1,86
	$R^2$	0,69	0,83	0,75	0,82	0,81
28, 29	K	1713,14	1830,58	7732,86	5429,03	5075,59
	$\beta$	-1,79	-1,74	-2,19	-2,01	-2,03
	$R^2$	0,86	0,81	0,93	0,89	0,88



**Şekil 4.32** Tek sıra-farklı yön dizilimli atımlara ait tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.

Bu sahada yer sarsıntılarının yönlere bağlı değişiminin daha iyi ortaya konabilmesi amacıyla yönlere bağlı veri sınıflandırması ve değerlendirmesi yapılmıştır. Bu amaçla öncelikle tek sıra dizilimlerindeki yönlerle çakışan aynı yönlü veriler ve yönlü açılımlarda değerlendirilmeye alınabilecek sayıda ve aynı yönde sıralanan veriler yönere bağlı olarak sınıflandırılmış (Çizelge 4.21) ve sonuçta 5 farklı yön elde edilmiştir (Şekil 4.33). Bu sınıflandırmalarla yapılan değerlendirme sonucunda yönere bağlı olarak oldukça geniş bir aralıkta korelasyon katsayılı ( $R^2=0,43-0,86$ ) ilişkiler elde edilmiştir (Çizelge 4.22 Şekil 4.34). Parçacık hız bileşenleri bazında ilişkiler incelendiğinde bu karmaşık durumun bileşenler bazında da devam ettiği söylenebilir. Özellikle tepe parçacık hızı (PPV) bazında korelasyon katsayısının ( $R^2=0,72$ ) yüksek olduğu Yön 1'de boyuna tepe parçacık hızı (PPVL) anlamsız sayılacak bir ilişki ( $R^2=0,20$ ) verirken diğer yönlerde daha tutarlı ilişkiler söz konusu olmuştur.

Şekil 4.54 incelendiğinde düşük ölçekli mesafe değerlerinde bu iki yöne ait eşitlikler yakın tepe parçacık hız değerleri verirken daha yüksek ölçekli mesafelerde birbirlerinden belirgin bir şekilde ayrıştıkları görülmektedir. Bu durum uzak mesafelerde kaya kütle değerlerinin değiştiği şeklinde yorumlanabilir.



Şekil 4.33 Veri sınıflandırması sonucu oluşturulan yönler.

Çizelge 4.21 Tüm atımlardan yararlanılarak oluşturulan yönlere ait parçacık hız bileşenleri ölçekli mesafe ilişkisi ve saha sabitleri

Yönler	Sabitler	$PPV = K * \left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^{-\beta}$				
		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV
1	K	145,40	410,32	171,85	662,55	647,13
	$\beta$	-1,25	-1,34	-1,14	-1,42	-1,46
	$R^2$	0,27	0,72	0,20	0,72	0,72
2	K	403,36	1127,62	259,30	759,30	438,30
	$\beta$	-1,24	-1,60	-1,10	-1,31	-1,20
	$R^2$	0,40	0,59	0,37	0,49	0,43
3	K	155,61	516,13	579,75	1442,70	620,39
	$\beta$	-1,07	-1,33	-1,38	-1,52	-1,33
	$R^2$	0,30	0,62	0,55	0,67	0,55
4	K	213,16	302,36	184,90	330,44	211,25
	$\beta$	-1,17	-1,26	-1,02	-1,14	-1,04
	$R^2$	0,42	0,64	0,60	0,63	0,60
5	K	1540,31	1425,70	6600,79	4202,67	3671,13
	$\beta$	-1,74	-1,65	-2,12	-1,91	-1,90
	$R^2$	0,85	0,83	0,88	0,87	0,86

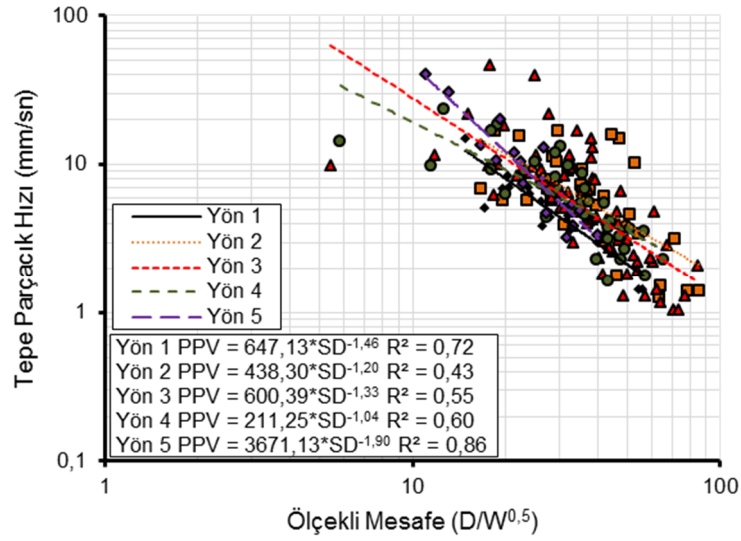
Bu saha için oluşturulan yönler bölgeler bazında incelendiğinde Yön 1 ve Yön 2'yi oluşturan cihazların tamamı 1. Bölgede yer almakta olup bu bölgedeki kaya kütlelerinin ortalama RMR (%) değeri 43,44 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.15). Yön 1 ve Yön 2'ye ait tepe parçacık hız denklemi Eşitlik 4.4 ve 4.5'de verilmiştir.

$$PPV = 647,13 \times SD^{-1,46} \quad (R^2=0,72). \quad [4.4]$$

$$PPV = 438,30 \times SD^{-1,20} \quad (R^2=0,43) \quad [4.5]$$

Yön 3'ü oluşturan cihazların tamamı 2. Bölgede yer almaktadır. Bu bölgedeki kaya kütlelerinin ortalama RMR (%) değeri 46,40 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.15). Bu yöne ait tepe parçacık hız denklemi Eşitlik 4.6'da sunulmuştur.

$$PPV = 600,39 SD^{-1,33} \quad (R^2=0,55) \quad [4.6]$$



**Şekil 4.34** 5 farklı yöne ait tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.

Yön 4'ü oluşturan cihazların tamamı 3. Bölgede yer almaktadır. Bu bölgedeki kaya kütlelerinin ortalama RMR (%) değeri 39,12 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.15). Bu yöne ait tepe parçacık hız denklemi Eşitlik 4.7'de sunulmuştur.

$$PPV = 211,25 SD^{-1,04} \quad (R^2=0,60) \quad [4.7]$$

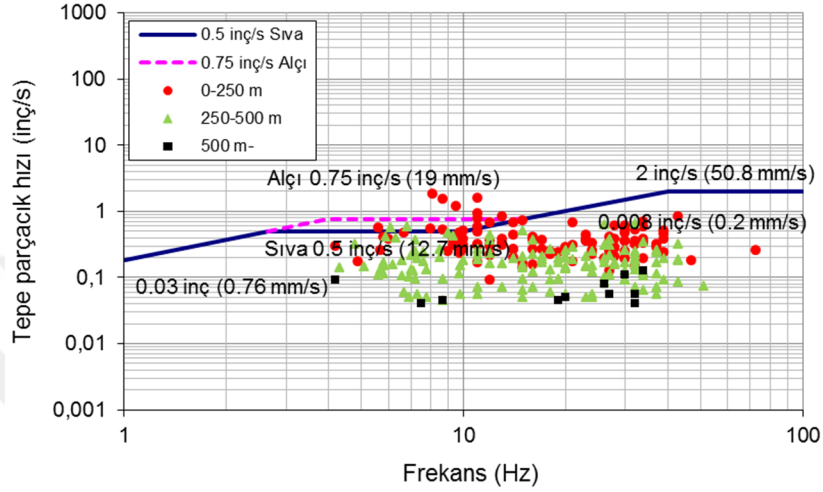
Yön 5'i oluşturan cihazların tamamı 4. Bölgede yer almaktadır. Bu bölgedeki kaya kütlelerinin ortalama RMR (%) değeri 66 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.15). Bu yöne ait tepe parçacık hız denklemi Eşitlik 4.8'de verilmiştir.

$$PPV = 3671,13 SD^{-1,90} \quad (R^2=0,86) \quad [4.8]$$

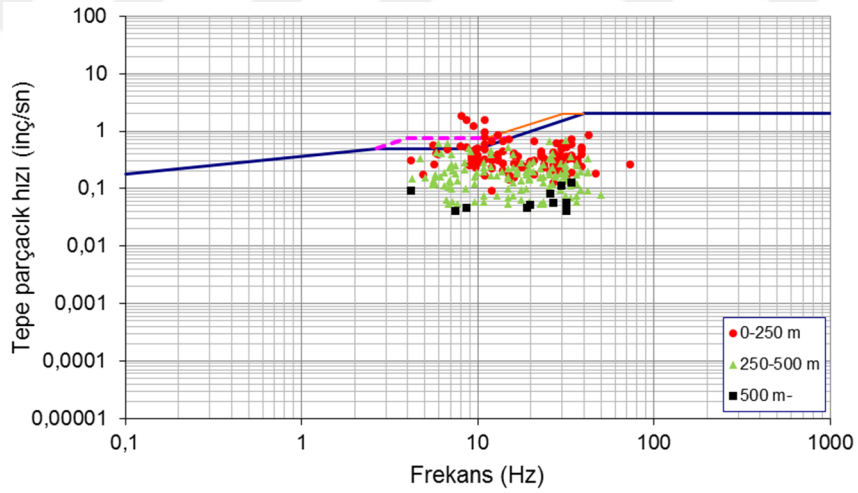
Bu durum değerlendirildiğinde, bölgeler bazında belirgin bir değişimin olduğu görülmekte olup RMR (%) değeri azaldıkça K ve  $\beta$  katsayılarının da azaldığı söylenebilir.

#### 4.2.2.4 Yer sarsıntılarının bazı hasar kriterlerine göre değerlendirilmesi

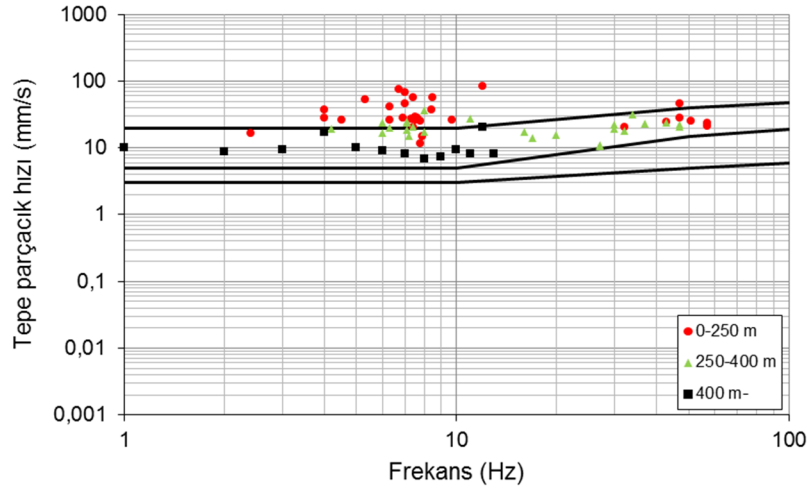
Bazı hasar kriterleri baz alınarak gerçekleştirilen değerlendirme sonucu Şekil 4.35-4.39'da gösterilmiştir. Değerlendirme için sarsıntı ölçer verileri kullanılmıştır. Şekiller incelendiğinde bazı atımların ölçüm noktasındaki olası yapılara zarar verebilir nitelikte olduğu görülmektedir. Özellikle gecikme başına fazla patlayıcı maddenin olduğu ve nispeten kısa mesafelerde (0-250 m) hasar potansiyelinin düşük-orta seviyede olduğu söylenebilir.



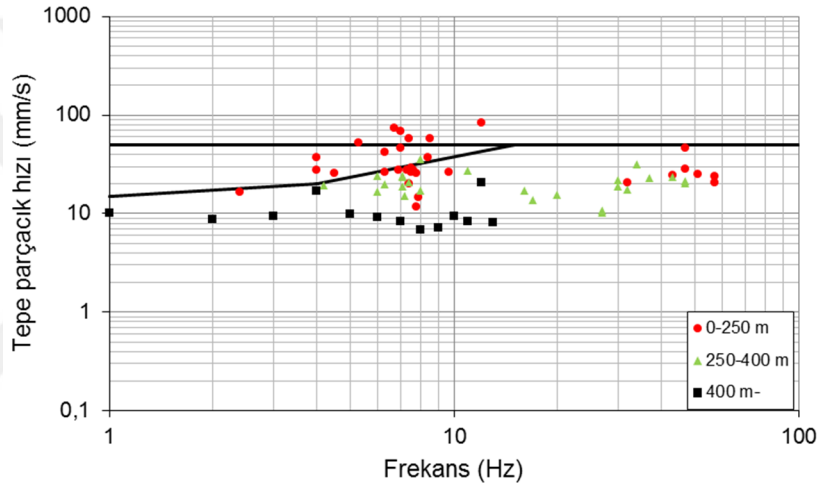
Şekil 4.35 Tepe parçacık hızının USBM 8507 hasar kriterine (1980) göre değerlendirilmesi.



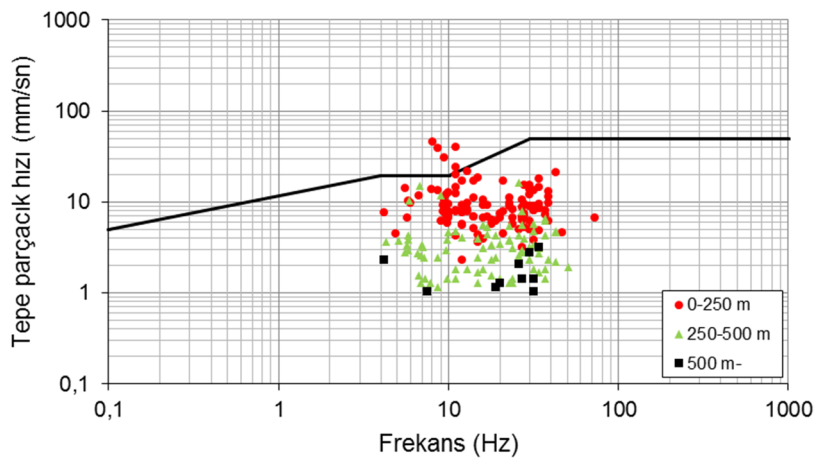
Şekil 4.36 Tepe parçacık hızının OSM hasar kriterine (1983) göre değerlendirilmesi.



Şekil 4.37 Tepe parçacık hızının Alman DIN 4150 hasar kriterine (1996) göre değerlendirilmesi.



Şekil 4.38 Tepe parçacık hızının İngiliz BS 7385 hasar kriterine (1993) göre değerlendirilmesi.



Şekil 4.39 Tepe parçacık hızının Türkiye hasar kriterine (2008) göre değerlendirilmesi.

### 4.3 Kırka Bor Açık İşletmesi

Eti Maden Kırka Bor Açık İşletmesi Eskişehir ilinin 70 km güneyindeki Kırka beldesi civarında yer almaktadır (Şekil 4.40). Sahada bor üretimi kamyon-ekskavatör uygulamalarına dayalı açık işletme yöntemiyle yapılmaktadır. Yıllık üretim 1-1,5 milyon ton arasında değişmekte, buna karşılık 4,5 milyon m<sup>3</sup> dekapaj kaldırılmaktadır. Sahadaki atımlar bor üretimi amacıyla yapılmaktadır. Delme işlemlerinde 10-16 cm çaplı matkaplar kullanılmakta, basamak yüksekliğine bağlı olarak delik boyları 3-12 m, dilim kalınlıkları 2,5-6,5 m ve delikler arası mesafe 5-7,45 m aralığında değişmektedir. Patlayıcı madde olarak ANFO kullanılmaktadır.



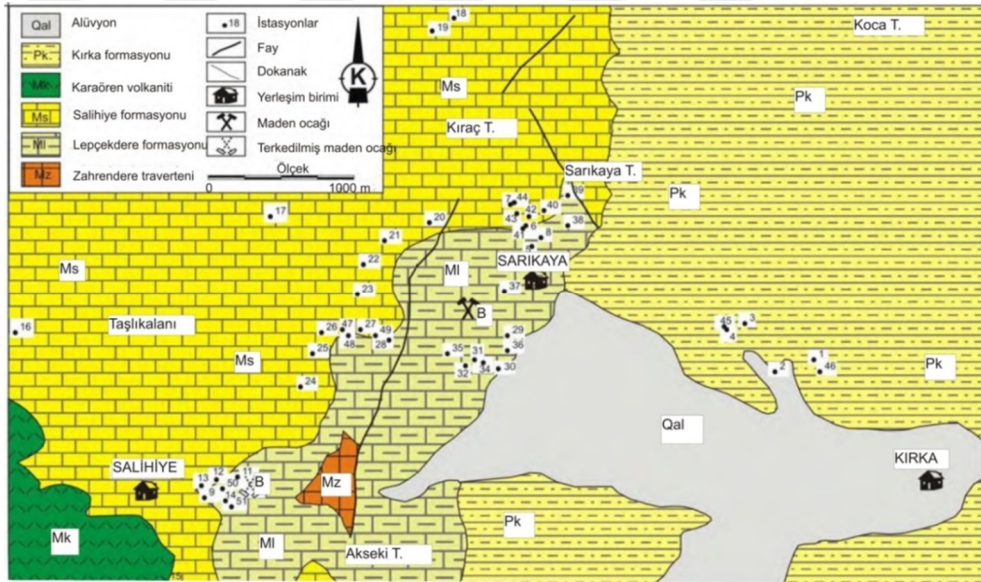
Şekil 4.40 Kırka Bor Açık İşletmesi'nin genel görünümü.

#### 4.3.1 Jeoloji

Kırka baseni ve yakın çevresinde, Miyosen öncesi temel kayaç (metamorfik, ofiyolit ve karbonatlar) ile Neojen yaşlı volkanik ve sedimanter birimler yer almaktadır. Bunlardan Neojen istifi Yalçın (1989) tarafından beş litostratigrafi birimine ayrılmıştır. Bu birimler, İdrisyayla volkanitleri (andezit, riyolit ve volkanik breş), Karaören formasyonu (zeolittli tüfler), Sarıkaya formasyonu, Türkmendağı bazaltı ve Fethiye formasyonudur (resedimante tuf) (Şekil 4.41). Çalışma alanında yer alan Sarıkaya formasyonu 150-300 m (ort. 230 m) arasında değişen kalınlığa sahiptir. Birim, 20-50 m (ort. 30 m) kalınlığında, yer yer santimetrik kiltası ve tuf bantları içeren, masif-kalın tabakalı ve travertene benzer lifsi yapıdaki kireçtaşları ile başlamaktadır. Bu seviyenin üzerinde ortalama 25 m (10-40 m) kalınlığa sahip ince tabakalı dolomitik kireçtaşları yer almaktadır. Üzerine gelen laminasyonlu kiltası/marn-dolomit aralanmasının kalınlığı ortalama 20 m olup 5-40 m arasında değişmektedir. Bozunmuş lifsi yapıda pomza parçaları içeren santimetrik tuf arakatlı, killikarbonatlı borat zonunun kalınlığı ise 20-160 m (ort. 80 m) arasındadır. Bu zonun üstündeki laminasyonlu kiltası/marn-dolomit aralanmasının kalınlığı 5-40 m (ort. 20 m) arasında değişim göstermektedir. Özellikle bu seviyede atımları milimetre-



metre arasında değişen yüzlerce sinsedimanter normal faylar, tabakalar arası kıvrım veya kayma yapılar ile büyük çökme yapıları bulunmaktadır. Formasyonun üst kesimini dolomitik kireçtaşları (10-40 m, ort. 25 m) ve bol çört yumru/bantlı, yer yer lifsi yapıdaki kireçtaşları (20-50 m, ort. 30 m) oluşturmaktadır. Kırka Bor Madeni ve civarında yer alan birimler yaşlıdan gence doğru; Zahrendere traverteni, Lepçekdere formasyonu, Salihiye formasyonu, Karaören formasyonu ve Kırka formasyonudur (Gök ve ark., 1979). Bölgenin en yaşlı kayaçlarını yeşil şistler ve kristalin kalkerlerden oluşan eski temel ihtiva eder. Temel üzerindeki neojen formasyonları taban volkanitleri ile başlayıp, bu zonu riylit, trake andezitler meydana getirmektedir. Kırka yöresinde gözlemlenen birimlerin boraks cevherleşmesi açısından en önemlisi Sarıkaya formasyonudur. Sarıkaya formasyonunda egemen kayaç türleri, karbonat kayaçları ile dolomitli kireçtaşı marnlarıdır. Killi karbonatlı kayaçlarda arakatlı olarak kristal kül tüfleri yer almaktadır. Bu formasyonda kil mineralleri, simetrik ve az miktarda illit ile temsil edilmektedir. Borat yatakları istifin orta düzeylerinde bulunmakta, alttan ve üstten karbonat kayaçlarla sınırlanmaktadır (Şekil 4.42)



**Şekil 4.41** Çalışma alanının jeoloji haritası (Helvacı ve Alaca, 1991).

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	SİMGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	KUVATERNER			Qal		Alüvyon
						PLİYOSEN
	KARAÖREN	Mk		Killeşmiş tüf, kilitaşı, kireçtaşı ve opal ardalanması		
				SALİHİYE	Ms	
	LEPÇEKDERE	Ml				
				ZAHRENDERE TRAVERTENİ	Mz	

Şekil 4.42 Çalışma alanının stratigrafik kesiti (Gök ve ark., 1979).

#### 4.3.2 Arazi çalışmaları

Kırka Bor Açık İşletmesine ait sismik profil (MASW ve Kırılma), ivmeölçer, yer sarsıntısı ölçer, DES, sondaj ve patlatma lokasyonları yaklaşık olarak Şekil 4.43'de verilmiştir.

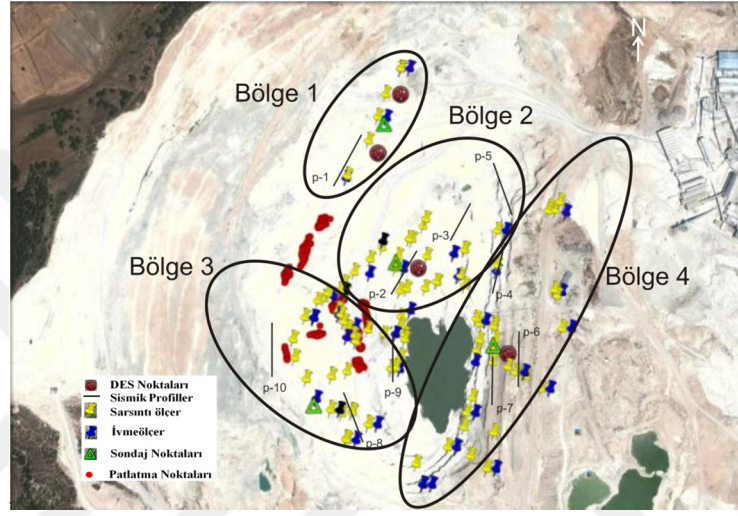
##### 4.3.2.1 Jeofizik ölçüm sonuçları

Sahada düşey elektrik sondaj (DES) ve sismik (çok kanallı yüzey dalgası analizi (MASW) ve kırılma yöntemleri) ölçümler yapılmış ve sonuçları Çizelge 4.22-4.25'de toplu olarak sunulmuştur. DES çalışmaları 12 noktada Schlumberger elektrot dizilimi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde kullanılan AB/2 değerleri 50-260 m aralığında alınmıştır.

Arazide gerçekleştirilen sismik ölçüm çalışmaları kapsamında; elde edilen sismik hız ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması ve değerlerin doğruluğunun kontrolünü sağlamak amacıyla, MASW ve ReMi Yüzey Dalgası analiz yöntemleri olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmıştır. MASW yönteminde; alıcı olarak 12 adet 4,5 Hz P (düşey-bileşenli) jeofon kullanılmış ve jeofon aralıkları 4 m ve ofset uzaklıkları 8 m olarak alınmıştır. Her bir atış istasyonunda sinyal/gürültü oranını arttırmak için 8 kg'lık bir balyoz ve demir plaka kullanılarak ardarda 5 vuruş gerçekleştirilmiş ve veriler 1024 ms kayıt uzunluğu ve 250 µs örnekleme aralığı kriterleri baz alınarak kaydedilmiştir. Sismik kırılma yönteminde; MASW yönteminde olduğu gibi, alıcı olarak

12 adet 14 Hz P (düşey-bileşenli) jeofon kullanılmış ve 512 ms kayıt uzunluğu ve 125 µs kayıt aralığı kriterleri baz alınarak kaydedilmiştir.

Çalışma alanına ait jeofiziksel ölçümler (MASW, sismik kırılma ve DES) aracılığıyla elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda her bir formasyon için birim tanımlaması, öz direnç ve sismik hız değerleri belirlenmiş ve ölçüm alanı jeolojik yapı itibarıyla 4 bölgeye ayrılmıştır (Şekil 4.43) (Çizelge 4.22-4.25). 1 numaralı bölge alüvyon, marn ve bor, 2 numaralı bölge alüvyon ve bor, 3 numaralı bölge alüvyon, kilitaşı ve bor, 4 numaralı bölge alüvyon, kilitaşı ve tuf birimlerinden oluşmaktadır.



Şekil 4.43 Çalışma alanı bölgeleri.

Çizelge 4.22 1.Bölge birimleri ve özellikleri (Görgülü ve ark, 2013)

Formasyon	Alüvyon	Marn	Bor
Kalınlık (m)	0,75	5	29,25
Özdirenç ( $\Omega m$ )	1,19	142	13,2
S-dalga hızı ( $V_s$ , km/s) (MASW yöntemi)	0,65	1,007	1,2
P-dalga hızı ( $V_p$ , km/s) (Sismik kırılma yöntemi)	1,2	1,54	2,017
Yoğunluk ( $kg/m^3$ )	1,84	1,908	2,003
Dinamik Poisson oranı	0,292	0,127	0,226
$V_p/V_s$ (güvenlik katsayısı)	1,85	1,53	1,68
Dinamik Young modülü ( $E_d$ , GPa)	2,009	4,359	7,074
Dinamik rijitide modülü ( $G_d$ , GPa)	0,777	1,935	2,885
Dinamik hacim modülü ( $K_d$ , GPa)	1,613	1,945	4,304
Tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma$ , MPa)	13,41	28,34	63,68
Kaya kalite belirteci (RQD, %)	55,57	81,15	-
Doğrusal çatlak yoğunluğu ( $L$ , $m^{-1}$ )	3,7	1,57	-
Çatlak yoğunluğu ( $C$ , $m/m^2$ )	0,14	0,06	-
Süreksizlik indeksi	1,48	0,63	-
Kaya kütlesi oranı (RMR, %)	13,4	26,25	33,2
Q sınıflaması	0,005	0,011	0,0329
Gözeneklilik ( $f$ , %)	31,92	27,56	22,84

**Çizelge 4.23** 2. Bölge birimleri ve özellikleri (Görgülü ve ark, 2013)

Formasyon	Alüvyon	Bor
Kalınlık (m)	1	34
Özdirenç ( $\Omega m$ )	3,5	19,6
S-dalga hızı ( $V_s$ , km/s) (MASW yöntemi)	0,3	1
P-dalga hızı ( $V_p$ , km/s) (Sismik kırılma yöntemi)	0,459	2,458
Yoğunluk ( $kg/m^3$ )	0,7	2,092
Dinamik Poisson oranı	0,127	0,401
$V_p/V_s$ (güvenlik katsayısı)	1,53	2,46
Dinamik Young modülü ( $E_d$ , GPa)	0,142	5,86
Dinamik rijitide modülü ( $G_d$ , GPa)	0,063	2,092
Dinamik hacim modülü ( $K_d$ , GPa)	0,063	9,848
Tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma$ , MPa)	0,75	115,24
Kaya kalite belirteci (RQD, %)	-	-
Doğrusal çatlak yoğunluğu ( $L$ , $m^{-1}$ )	-	-
Çatlak yoğunluğu ( $C$ , $m/m^2$ )	-	-
Süreksizlik indeksi	-	-
Kaya kütlesi oranı (RMR, %)	0,8	26
Q sınıflaması	0,0009	0,0908
Gözeneklilik ( $f$ , %)	48,74	19,38

**Çizelge 4.24** 3. Bölge birimleri ve özellikleri (Görgülü ve ark, 2013)

Formasyon	Alüvyon	Kiltaş	Bor
Kalınlık (m)	0,8	20	14,2
Özdirenç ( $\Omega m$ )	8,5	2,8	12,9
S-dalga hızı ( $V_s$ , km/s) (MASW yöntemi)	0,939	1,029	1,29
P-dalga hızı ( $V_p$ , km/s) (Sismik kırılma yöntemi)	1,352	2,181	2,94
Yoğunluk ( $kg/m^3$ )	1,87	2,036	2,188
Dinamik Poisson oranı	0,034	0,357	0,381
$V_p/V_s$ (güvenlik katsayısı)	1,44	2,12	2,28
Dinamik Young modülü ( $E_d$ , GPa)	3,411	5,851	10,055
Dinamik rijitide modülü ( $G_d$ , GPa)	1,649	2,156	3,641
Dinamik hacim modülü ( $K_d$ , GPa)	1,22	6,811	14,057
Tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma$ , MPa)	19,18	80,51	197,2
Kaya kalite belirteci (RQD, %)	68,41	-	-
Doğrusal çatlak yoğunluğu ( $L$ , $m^{-1}$ )	2,63	1,57	-
Çatlak yoğunluğu ( $C$ , $m/m^2$ )	0,1	0,06	-
Süreksizlik indeksi	1,05	0,63	-
Kaya kütlesi oranı (RMR, %)	23,8	27,04	36,44
Q sınıflaması	0,0071	0,048	0,2754
Gözeneklilik ( $f$ , %)	29,84	21,47	16,24

**Çizelge 4.25** 4. Bölge birimleri ve özellikleri (Görgülü ve ark, 2013)

Formasyon	Alüvyon	Kiltaşı	Tüf
Kalınlık (m)	0,85	16	18,15
Özdirenç ( $\Omega$ m)	8	3,31	11,7
S-dalga hızı ( $V_s$ , km/s) (MASW yöntemi)	0,523	0,871	1,336
P-dalga hızı ( $V_p$ , km/s) (Sismik kırılma yöntemi)	0,75	1,92	2,613
Yoğunluk ( $\text{kg/m}^3$ )	1,75	1,984	2,123
Dinamik Poisson oranı	0,027	0,37	0,323
$V_p/V_s$ (güvenlik katsayısı)	1,43	2,2	1,96
Dinamik Young modülü ( $E_d$ , GPa)	0,983	4,125	10,025
Dinamik rijitide modülü ( $G_d$ , GPa)	0,479	1,505	3,789
Dinamik hacim modülü ( $K_d$ , GPa)	0,346	5,307	9,441
Tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma$ , MPa)	3,27	54,92	138,45
Kaya kalite belirteci (RQD, %)	-	-	-
Doğrusal çatlak yoğunluğu ( $L$ , $\text{m}^{-1}$ )	-	-	-
Çatlak yoğunluğu ( $C$ , $\text{m/m}^2$ )	-	-	-
Süreksizlik indeksi	-	-	-
Kaya kütlesi oranı (RMR, %)	8,83	21,36	38,1
Q sınıflaması	0,0018	0,0263	0,1297
Gözeneklilik ( $f$ , %)	40,15	23,7	18,31

#### 4.3.2.2 Kaya mekaniği arazi ve laboratuvar deney sonuçları

Eti Maden Kırka Bor Açık İşletmesi'nde bölgelerin kaya kütle sınıflaması (RMR) ve jeolojik dayanım indeksi (GSI)'ne göre değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.26'da, kireçtaşı, killi kireçtaşı ve marn birimleri üzerinde gerek arazi gerek laboratuvar da gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.27'de verilmiştir.

**Çizelge 4.26** Eti Maden Kırka Bor Açık İşletmesi kaya kütle sınıflaması (RMR) ve jeolojik dayanım indeksine (GSI) göre sınıflama sonuçları

Bölge	Formasyon	RMR (%)	GSI
1	Marn	54,90	28-33
	Bor		36-45
2	Bor	49,50	28-45
3	Kiltaşı	35,25	25-30
	Bor		36-45
4	Kiltaşı-Tüf	28,00	20-25

**Çizelge 4.27** Eti Maden Kırka Bor Açık İşletmesi kaya mekaniği arazi ve laboratuvar deney sonuçları

Özellikler Kaya Birimi	Min. Tane (Tabii) Yoğunluğu (gr/cm <sup>3</sup> )	Toplam (Etkili) Gözeneklilik (%)	Kuru Birim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Nem Oranı (%)	Dolaylı Çekme Dayanımı (MPa)*	Tek Eksenli Basınç Dayanımı* (MPa)	Ultrasonik P Dalga Hızı (m/s)	Elastisite Modülü* (GPa)	Poisson Oranı	Nokta Yüğü Day. (Is(50)) (MPa)	Schmidt Sertliği
Bor	2,17 1,98-2,26 (2,02) (1,94-2,09)	23,42 (17,22)	1,56 (1,22- 1,64)	36,28	5,94	128,64	3495,51 (3216,14- 3842,36)	8,25	-	3,58 ±0,52 (1,80-5,93)	15,79 ±5,15 (10-28)
Kiltaşı	2,01 1,99-2,03 (1,95) (1,88-2,01)	22,58 (18,96)	-	-	3,58	67,72	1540,54 (1236,42- 1759,12)	5,85		1,43 ±0,78 (0,67-2,81)	12,33 ±3,36 (9-20)
Marn	1,91 1,88-1,95 (1,82) (1,80-1,83)	19,01 (15,98)	-	-	1,63	28,34	647,31 (469,51- 832,218)	4,36		0,74 ±0,27 (0,43-1,21)	14,29 ±4,22 (10-22)

\*Sağlam karot alınamadığından jeofizik yöntemler aracılığıyla belirlenmiştir.

#### 4.3.2.3 Parçacık hızı ve hava şoku ölçüm sonuçları ve değerlendirilmesi

16 Haziran-27 Temmuz 2012 tarihleri arasında dekapaj faaliyetleri sırasında yapılan 32 adet atım (Çizelge 4.28) 7 adet InstanTEL marka patlatma sarsıntı ölçer cihazla (5 adet InstanTEL Minimate Blaster [B1-B5], 1 adet InstanTEL Minimate Plus [B6], 1 adet Çift kanallı InstanTEL Blastmate III [B7-1, B7-2]) ve 1 adet InstanTEL DS677 [B8]) değişik yön ve mesafelerde ölçülmüştür (Şekil 4.44). Bu ölçümlerde 230 patlatma sarsıntı verisi üç eksenli (boyuna, enine ve düşey) olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.29).

**Çizelge 4.28** Kırka Bor Açık İşletmesi'nde yapılan atımlar

Atım No	Delik Sayısı	Sıra Sayısı	Ortalama Dilim Kalınlığı (m)	Ortalama Delikler Arası Mesafe (m)	Ortalama Delik Boyu (m)	Ortalama Sıklama Miktarı (m)	Toplam Patlayıcı Madde Miktarı (kgAnfo)	Gecikme Başına Maksimum Patlayıcı Miktarı (kgAnfo)
1	15	6	5,20	6,54	5,6	1,64	616	175
2	9	2	5,10	7,08	10,5	3,57	915	400
3	7	1	5,37	5,93	12	4,00	875	250
4	21	2	4,72	7,44	8,14	2,51	1626	313
5	23	9	4,83	6,89	5,76	1,99	1177	212,5
6	12	4	4,23	7,32	11	3,31	1374,5	240
7	18	4	3,91	6,19	8,08	2,53	1407,5	315
8	25	6	4,78	6,21	8,5	2,22	1847,5	235
9	19	5	4,36	6,51	9,76	3,32	1840	375
10	40	4	4,90	6,19	5,04	1,64	1451,5	250
11	10	2	3,98	6,70	10,75	3,60	1100	335
12	87	4	5,63	5,54	6,39	1,23	1768	695
13	12	2	3,20	5,50	11	3,00	1260	315
14	20	1	3,82	5,00	6,5	2,73	1200	240
15	13	2	4,02	5,66	11	3,34	1443	222
16	7	1	4,68	6,54	7,25	2,56	495	145
17	12	2	4,31	5,88	10,58	2,44	1315	240
18	37	3	3,52	6,36	2,82	1,44	787	297
19	18	2	4,97	6,56	9,66	3,63	1720	390
20	15	3	4,55	6,64	5,92	2,07	799	300
21	13	2	4,13	6,17	10,5	2,55	715	165
22	19	4	6,56	5,86	9,36	3,02	1740	400
23	12	2	5,00	6,00	11	4,00	1202,5	200
24	27	3	4,84	7,07	7,7	2,21	2097	975
25	21	7	9,38	6,11	3,5	1,56	580	150
26	32	5	4,43	5,58	7,23	1,84	2015	515
27	10	4	3,40	6,07	8,75	2,59	773	235
28	15	5	4,23	6,56	5	2,47	660	270
29	22	3	3,23	6,18	4,93	2,08	950	360
30	24	8	4,56	5,53	3,75	1,70	675	225
31	8	3	3,90	7,25	11	3,41	955	250
32	12	2	4,77	6,27	11,5	3,54	1395	235

**Çizelge 4.29** Kırka Bor Açık İşletmesi'nde yapılan atımlara ait sarsıntı verileri

Atım No	Cihaz Kodu	Atım Kotu	Ölçekli Mesafe	Parçacık Hızı ve Frekansı										Deplasman			İvme			Hava Şoku ve Frekansı			
				Ölçüm Mesafesi (R) (m)		Enine (PPVT)		Düşey (PPVV)		Boyuna (PPVL)		Bileşke (PVS)		Maksimum (PPV)		Enine	Düşey	Boyuna	Enine	Düşey	Boyuna	pa(L)	Hz
				SD <sub>1</sub> R/W <sup>0.5</sup>	SD <sub>2</sub> R/W <sup>0.33</sup>	mm/sn	Hz	mm/sn	Hz	mm/sn	Hz	mm/sn	Hz	mm/sn	Hz	mm	mm	mm	mm/sn <sup>2</sup>	mm/sn <sup>2</sup>	mm/sn <sup>2</sup>		
1	1109	B1	113	8,54	20,54	39,2	>100	21,5	85	38	57	43	39,2	>100	0,055	0,077	0,117	4,440	1,620	4,520	105	57	
		B2	180	13,58	32,69	8,25	73	7,37	27	10	26	11,1	10	26	0,018	0,065	0,044	0,451	0,331	0,477	81,8	14	
		B3	228	17,25	41,50	10,2	64	8,64	23	7,11	34	10,4	10,2	64	0,024	0,041	0,035	0,398	0,292	0,265	104	13	
		B4	292	22,04	53,02	2,79	28	4,06	26	2,67	22	4,3	4,06	26	0,015	0,039	0,021	0,093	0,080	0,093	35	5,3	
		B6	358	27,05	65,08	1,02	27	2,54	21	3,3	19	3,33	3,3	19	0,007	0,025	0,027	0,287	0,207	0,194	25,3	5,4	
		B8	440	33,26	80,03	1,14	27	1,65	19	2,16	17	2,24	2,16	17	0,007	0,013	0,020	0,040	0,027	0,040	21	5	
2	1095	B1	425	21,24	58,81	2,16	32	3,3	19	4,19	18	4,36	4,19	18	0,011	0,026	0,033	0,146	0,080	0,172	9,25	17	
		B2	492	24,58	68,08	1,78	21	1,78	20	3,68	20	3,76	3,68	20	0,013	0,014	0,026	0,040	0,040	0,066	6	2,9	
		B3	533	26,63	73,75	1,4	19	1,02	22	1,9	16	2,31	1,9	16	0,010	0,009	0,016	0,040	0,027	0,040	11,5	6,6	
		B4	595	29,74	82,37	0,889	27	0,889	23	1,78	17	1,87	1,78	17	0,006	0,006	0,016	0,027	0,027	0,040	7	6	
		B6	662	33,09	91,62	0,508	19	1,14	27	0,889	18	1,18	1,14	27	0,005	0,008	0,009	0,027	0,027	0,027	5,25	12	
		B8	741	37,07	102,64	0,889	24	0,889	21	1,27	18	1,3	1,27	18	0,006	0,007	0,011	0,027	0,013	0,027	5	5	
3	1116	B1	133	8,41	21,51	11,6	47	11,4	43	17	27	18	17	27	0,036	0,066	0,066	0,742	0,451	0,915	94,8	27	
		B2	156	9,87	25,22	10	39	11,2	39	12,2	23	13,1	12,2	23	0,040	0,069	0,046	0,504	0,530	0,451	73,8	27	
		B3	194	12,30	31,44	4,57	39	7,75	20	6,35	18	8,35	7,75	20	0,022	0,051	0,043	0,212	0,225	0,265	27,3	11	
		B4	219	13,88	35,48	4,7	24	6,6	20	4,32	34	8,2	6,6	20	0,021	0,034	0,036	0,212	0,239	0,159	46,5	20	
		B6	261	16,51	42,22	2,67	22	4,06	21	4,06	18	4,21	4,06	21	0,016	0,027	0,030	0,066	0,093	0,106	45	19	
		B8	319	20,19	51,61	3,05	19	3,81	18	4,06	23	5,31	4,06	23	0,024	0,026	0,037	0,119	0,080	0,146	42	20	
B8	365	23,09	59,03	4,19	26	4,45	23	2,92	23	5,06	4,45	26	0,028	0,025	0,023	0,225	0,146	0,199	37	22			



Çizelge 4.29 Devamı

	B1	114	6,45	17,12	50,5	39	55,1	51	48,4	39	68,7	55,1	51	0,204	0,159	0,174	1,760	3,100	1,640	86	5,8
	B2	169	9,53	25,32	16,4	43	12,8	30	15,4	39	18,1	16,4	43	0,045	0,079	0,070	0,689	0,742	0,915	59,5	4,3
	B3	185	10,43	27,71	15,7	47	16,3	32	13,1	20	18,6	16,3	32	0,045	0,065	0,081	0,663	0,716	0,583	47	4,2
4	B4 1105	228	12,90	34,26	6,35	37	5,33	37	10,2	22	10,2	10,2	22	0,031	0,035	0,062	0,146	0,318	0,358	54,5	4,4
	B6	205	11,57	30,73	11,6	37	17,5	>100	13,5	26	19,9	17,5	>100	0,045	0,062	0,068	0,292	1,230	0,650	53,3	5,4
	B5	250	14,11	37,47	7,62	39	4,83	18	10,7	26	10,9	10,7	26	0,030	0,043	0,056	0,384	0,186	0,398	50,3	5,7
	B8	269	15,21	40,39	4,95	30	3,56	19	8,38	20	8,78	8,38	20	0,023	0,031	0,034	0,199	0,199	0,490	37	6
	B1	264	18,12	45,07	4,19	64	5,08	23	5,71	21	6,97	5,71	21	0,016	0,030	0,042	0,172	0,225	0,186	152	21
	B2	318	21,78	54,17	3,68	85	3,56	17	4,95	23	5,71	4,95	23	0,008	0,031	0,033	0,451	0,159	0,345	101	20
	B3	373	25,58	63,61	2,16	37	3,43	16	4,06	19	4,21	4,06	19	0,009	0,025	0,029	0,080	0,080	0,133	82	21
5	B4 1091	429	29,45	73,23	1,27	39	2,29	19	2,79	20	2,89	2,79	20	0,008	0,018	0,022	0,053	0,040	0,066	69	20
	B6	484	33,18	82,52	2,16	39	0,889	19	2,03	20	2,21	2,16	39	0,008	0,009	0,015	0,175	0,048	0,057	65,5	12
	B5	550	37,70	93,76	0,889	37	0,889	30	1,9	21	2,01	1,9	21	0,004	0,005	0,014	0,053	0,027	0,053	54,3	20
	B8	599	41,11	102,24	0,508	24	1,14	22	1,14	21	1,21	1,14	22	0,001	0,008	0,009	0,013	0,027	0,027	46,5	4
	B1	109	7,01	17,79	45,1	57	49,7	73	101	85	113	101	85	0,103	0,251	1,140	0,238	0,003	0,003	50,8	6,7
	B2	167	10,80	27,41	12,4	47	14,7	16	20,4	47	22,7	20,4	47	0,042	0,077	0,097	0,703	0,597	0,941	30,8	7,3
	B3	227	14,66	37,23	13,5	57	8	57	13,5	37	16,4	13,5	37	0,038	0,029	0,051	0,981	0,358	0,822	20,5	6,1
6	B4 1109	294	18,99	48,21	5,21	32	4,57	37	6,6	19	7,24	6,6	19	0,020	0,031	0,037	0,305	0,252	0,265	15,8	5,8
	B6	363	23,43	59,50	1,9	24	2,92	20	2,41	19	2,98	2,92	20	0,013	0,025	0,020	0,066	0,066	0,066	15,5	5,8
	B5	444	28,65	72,73	2,67	22	2,29	17	3,94	18	3,98	3,94	18	0,016	0,019	0,033	0,066	0,053	0,093	13,5	3,5
	B8	507	32,75	83,15	0,889	21	1,14	21	1,91	16	1,98	1,91	16	0,005	0,007	0,018	0,040	0,027	0,040	9,5	7
	B1	139	7,85	20,87	31	>100	22,9	32	57,1	>100	58,8	57,1	>100	0,036	0,172	0,069	4,330	2,080	6,150	79,3	6,6
	B2	187	10,53	28,00	19,3	>100	28,6	>100	41,4	>100	46,4	41,4	>100	0,106	0,130	0,054	2,320	3,590	4,390	58,5	6,4
	B3	235	13,26	35,26	5,46	30	12,8	27	9,91	16	14	12,8	27	0,026	0,111	0,070	0,252	0,358	0,384	50	6,2
7	B4 1092	293	16,48	43,83	3,3	30	6,22	13	6,48	19	6,66	6,48	19	0,019	0,063	0,049	0,093	0,119	0,172	39,8	9
	B6	336	18,94	50,35	1,78	32	5,59	17	3,56	21	5,72	5,59	17	0,014	0,051	0,029	0,053	0,093	0,119	35,8	9
	B5	390	22,00	58,49	1,14	16	3,17	16	2,03	19	3,31	3,17	16	0,010	0,030	0,015	0,027	0,053	0,040	43	6,4
	B8	465	26,22	69,71	0,762	27	1,4	16	1,78	20	1,83	1,78	20	0,004	0,013	0,014	0,027	0,027	0,040	28	7

Çizelge 4.29 Devamı

	B1	226	14,74	37,29	12,8	43	10,3	43	13,5	37	16,4	13,5	37	0,049	0,034	0,051	0,570	0,517	0,809	472	21
	B2	268	17,51	44,29	5,84	30	5,59	34	6,98	32	7,61	6,98	32	0,032	0,037	0,032	0,225	0,278	0,318	434	20
	B3	293	19,11	48,35	5,97	37	5,33	32	5,59	23	7,98	5,97	37	0,024	0,039	0,035	0,186	0,172	0,252	206	20
8	B4 1103	314	20,50	51,85	5,21	34	4,83	23	5,57	22	6,99	5,57	22	0,028	0,042	0,035	0,146	0,106	0,106	328	21
	B6	348	22,67	57,35	4,32	32	4,83	24	3,68	22	5,39	4,83	24	0,025	0,038	0,026	0,093	0,119	0,106	362	23
	B5	364	23,73	60,02	2,54	28	3,3	16	2,67	19	3,53	3,3	16	0,015	0,032	0,021	0,080	0,106	0,119	269	23
	B8	398	25,99	65,76	1,91	32	2,92	26	2,92	24	3,43	2,92	26	0,011	0,027	0,018	0,093	0,159	0,106	-	22
	B1	123	6,33	17,35	54,7	64	58,8	>100	96,1	>100	98,8	96,1	>100	0,404	0,231	0,298	5,200	4,600	9,390	60,8	12
	B2	162	8,38	22,96	28,4	>100	47,8	>100	50,7	>100	64,3	50,7	>100	0,060	0,085	0,117	3,460	4,980	6,770	35,8	15
	B3	208	10,72	29,36	18	73	16,4	18	24,8	>100	26,9	24,8	>100	0,032	0,106	0,086	1,420	0,570	2,210	30,3	11
9	B4 1095	262	13,54	37,10	9,02	34	7,37	64	7,11	28	9,75	9,02	34	0,038	0,056	0,044	0,265	0,331	0,331	24,3	9,7
	B6	313	16,18	44,33	3,43	24	4,19	17	7,24	34	7,76	7,24	34	0,017	0,036	0,026	0,212	0,119	0,305	17,8	9,7
	B5	365	18,86	51,66	1,4	30	2,54	18	2,67	20	2,68	2,67	20	0,009	0,022	0,018	0,040	0,053	0,066	19,5	8,7
	B8	446	23,03	63,07	0,762	27	1,02	21	1,91	22	2	1,91	22	0,005	0,011	0,013	0,027	0,027	0,040	16,5	13
	B1	204	12,93	33,06	6,6	28	6,73	13	6,98	26	8,75	6,98	26	0,036	0,072	0,050	0,358	0,252	0,437	306	17
	B2	283	17,88	45,72	3,3	43	4,57	17	5,59	14	5,89	5,59	14	0,016	0,038	0,044	0,305	0,398	0,292	174	17
	B3	330	20,86	53,33	3,3	32	5,08	11	3,68	20	5,15	5,08	11	0,018	0,054	0,032	0,093	0,080	0,080	130	20
10	B4 1080	379	23,99	61,33	2,41	34	3,56	10	2,67	18	3,77	3,56	10	0,010	0,040	0,028	0,053	0,040	0,053	145	24
	B6	436	27,59	70,53	1,52	24	2,92	9	2,16	18	3,36	2,92	9	0,009	0,036	0,019	0,027	0,040	0,040	158	27
	B5	489	30,90	79,00	0,635	20	1,78	9,3	1,65	20	1,8	1,78	9,3	0,006	0,028	0,012	0,027	0,027	0,027	146	32
	B8	548	34,63	88,54	0,508	23	1,14	12	1,4	16	1,49	1,4	16	0,002	0,024	0,013	0,027	0,027	0,027	128	14
	B1	98	5,34	14,35	27,6	43	62,5	51	40,9	26	64	62,5	51	0,117	0,168	0,253	1,070	2,440	1,430	87,5	22
	B2	161	8,80	23,66	11,9	47	16	15	14,1	20	17,1	16	15	0,029	0,088	0,063	0,623	0,769	0,981	39	20
	B3	215	11,73	31,53	6,1	>100	6,98	28	10,3	>100	10,5	10,3	>100	0,031	0,049	0,041	0,464	0,225	0,703	53,8	24
11	B4 1107	279	15,24	40,95	5,08	>100	4,7	27	8,25	>100	8,48	8,25	>100	0,014	0,026	0,017	0,358	0,119	0,676	33	18
	B6	255	13,91	37,37	4,06	37	4,83	27	5,71	27	5,83	5,71	27	0,021	0,022	0,023	0,292	0,212	0,398	38,8	21
	B8	308	16,81	45,16	5,97	>100	6,1	57	5,59	>100	7,33	6,1	57	0,021	0,021	0,009	0,451	0,239	0,411	20	16

Çizelge 4.29 Devamı

12	B1	155	5,90	17,93	8,89	39	10,3	26	16,5	32	17,5	16,5	32	0,042	0,056	0,082	0,292	0,384	0,358	116	14	
	B2	211	8,00	24,34	4,06	47	5,08	17	4,44	23	6,22	5,08	17	0,021	0,043	0,027	0,252	0,119	0,252	71,5	13	
	B3	242	9,18	27,93	3,17	37	4,95	22	8,13	30	8,59	8,13	30	0,012	0,032	0,035	0,133	0,106	0,358	70,3	7,1	
	B4	1104	271	10,26	31,22	3,05	85	3,81	22	3,43	32	4,53	3,81	22	0,009	0,026	0,027	0,186	0,080	0,159	56,3	7,9
	B6	299	11,33	34,47	2,16	18	3,17	20	3,05	30	3,9	3,17	20	0,010	0,022	0,018	0,066	0,066	0,106	61,3	14	
	B7-1	320	12,13	36,91	0,254	>100	0,254	>100	0,254	>100	0,359	0,254	>100	0,000	0,000	0,000	0,040	0,040	0,040	3,25	10	
	B8	358	13,56	41,25	1,78	28	2,92	20	2,29	18	3,44	2,92	20	0,008	0,024	0,019	0,080	0,119	0,146	57	28	
13	B1	375	21,12	56,14	2,03	27	2,16	27	3,43	17	3,61	3,43	17	0,008	0,018	0,024	0,159	0,106	0,133	64,5	10	
	B2	387	21,81	57,99	2,41	17	2,54	13	2,29	18	2,92	2,54	13	0,019	0,030	0,022	0,040	0,053	0,066	34,8	8,7	
	B3	372	20,98	55,79	2,29	17	3,3	17	2,29	9,7	3,52	3,3	17	0,020	0,031	0,032	0,040	0,053	0,119	33	8,8	
	B4	1083	356	20,06	53,34	3,05	>100	4,06	18	5,33	>100	5,57	5,33	>100	0,016	0,039	0,037	0,252	0,265	0,371	33,8	7
	B6	378	21,32	56,70	3,68	18	2,41	15	3,43	17	4,42	3,68	18	0,030	0,027	0,039	0,053	0,066	0,053	39,8	8,8	
	B8	341	19,24	51,15	3,3	20	3,43	20	4,57	11	5,37	4,57	11	0,031	0,020	0,054	0,066	0,146	0,106	30,5	8	
14	B2	594	38,34	97,35	0,762	34	1,02	17	1,14	15	1,37	1,14	15	0,006	0,011	0,012	0,027	0,027	0,027	58,3	8,5	
	B4	1148	523	33,76	85,71	1,27	18	1,52	85	1,52	14	1,88	1,52	14	0,013	0,012	0,016	0,040	0,080	0,040	71,5	11
	B6	596	38,47	97,67	0,508	30	1,52	18	1,02	18	1,55	1,52	18	0,004	0,013	0,008	0,027	0,027	0,027	40,5	11	
15	B1	633	42,51	106,50	3,3	15	4,44	14	3,94	16	5,88	4,44	14	0,035	0,051	0,041	0,040	0,053	0,053	17,5	12	
	B2	677	45,42	113,79	0,635	14	1,4	17	1,27	18	1,93	1,4	17	0,008	0,013	0,011	0,013	0,027	0,027	11,8	12	
	B3	696	46,71	117,04	0,889	11	0,635	16	1,9	17	1,95	1,9	17	0,011	0,009	0,020	0,027	0,027	0,027	11,8	11	
	B4	1098	669	44,88	112,44	1,14	20	0,635	15	1,65	15	1,66	1,65	15	0,010	0,009	0,017	0,027	0,027	0,027	13,5	9,8
	B6	581	39,01	97,73	0,635	30	0,889	17	0,508	20	1,03	0,889	17	0,004	0,009	0,005	0,027	0,027	0,027	13,3	9,3	
	B8	539	36,20	90,69	1,52	23	1,65	19	1,52	20	1,92	1,65	19	0,012	0,013	0,013	0,040	0,027	0,040	16,5	9,1	
16	B1	450	37,37	87,10	0,889	17	0,762	16	1,4	13	1,44	1,4	13	0,013	0,009	0,016	0,013	0,027	0,027	21,3	8,1	
	B2	447	37,08	86,42	0,762	27	2,03	16	1,78	14	2,51	2,03	16	0,005	0,022	0,018	0,027	0,027	0,027	32,3	9,8	
	B3	466	38,70	90,19	1,4	16	1,4	13	1,02	16	1,75	1,4	13	0,015	0,018	0,010	0,027	0,027	0,027	28,5	13	
	B4	446	37,04	86,32	0,762	39	0,889	19	0,889	26	1,06	0,889	19	0,004	0,008	0,006	0,027	0,027	0,027	37,5	9,8	
	B6	1077	418	34,70	80,87	1,27	22	1,14	22	1,27	18	1,68	1,27	22	0,011	0,013	0,011	0,040	0,027	0,040	39	11
	B5	455	37,76	88,00	1,27	26	1,4	18	1,27	12	1,78	1,4	18	0,012	0,012	0,017	0,027	0,040	0,027	25,8	10	
	B7-1	379	31,46	73,31	0,508	32	2,54	22	2,54	14	2,83	2,54	22	0,003	0,014	0,022	0,027	0,053	0,053	19	8,5	
	B7-2	401	33,33	77,68	3,56	15	3,05	23	2,29	18	3,92	3,56	15	0,039	0,018	0,025	0,053	0,066	0,040	19,8	8,5	
B8	470	39,00	90,89	0,635	18	1,02	19	0,762	14	1,08	1,02	19	0,005	0,009	0,008	0,013	0,027	0,013	20	9,1		

Çizelge 4.29 Devamı

17	B1	297	19,19	48,71	5,97	32	7,11	30	9,4	30	10,2	9,4	30	0,025	0,029	0,059	0,358	0,278	0,530	18,8	4	
	B2	299	19,27	48,93	6,6	>100	6,73	27	10	26	10,9	10	26	0,021	0,047	0,041	0,517	0,186	0,676	21	5,8	
	B3	302	19,47	49,43	2,92	39	5,33	57	5,46	26	6,96	5,46	26	0,013	0,039	0,030	0,318	0,292	0,292	18	3,5	
	B4	1084	299	19,27	48,92	3,94	>100	4,83	28	6,22	26	7,15	6,22	26	0,020	0,027	0,033	0,265	0,186	0,331	17,8	3,7
	B6	298	19,26	48,89	3,94	27	3,94	23	6,86	23	7,78	6,86	23	0,016	0,034	0,046	0,225	0,239	0,265	16	3,9	
	B5	297	19,16	48,65	8,13	>100	5,71	>100	7,37	>100	9,35	8,13	>100	0,019	0,021	0,039	0,795	0,689	0,676	21	3,4	
	B8	291	18,78	47,69	2,41	39	5,97	73	5,59	20	6,56	5,97	73	0,009	0,024	0,038	0,133	0,331	0,159	18,5	14	
	18	B1	150	8,73	22,98	9,27	37	12,6	>100	9,78	34	14,4	12,6	>100	0,039	0,053	0,072	0,292	0,676	0,384	251	7,2
B2		115	6,69	17,60	0,635	15	1,14	12	0,762	7,1	1,31	1,14	12	0,007	0,016	0,020	0,027	0,013	0,027	9,25	2,7	
B3		95	5,49	14,44	17,1	34	23,5	47	14,5	32	24,5	23,5	47	0,064	0,074	0,108	0,593	0,901	0,663	-	7,5	
B4		1066	75	4,36	11,49	58,8	51	103	73	71,6	21	114	103	73	1,520	0,294	1,040	2,470	7,610	2,970	-	6,7
B6		55	3,21	8,45	27,6	57	44,3	73	34,4	64	46,8	44,3	73	0,442	0,096	0,466	1,700	2,890	2,360	489	7,4	
B5		131	7,62	20,05	15,9	39	14,5	57	23,5	43	23,6	23,5	43	0,054	0,048	0,077	0,689	0,703	1,110	-	12	
B8		132	7,66	20,16	19,1	34	17,3	85	18,4	51	24,6	19,1	34	0,073	0,075	0,061	0,915	0,954	0,636	-	16	
19		B1	561	28,42	78,36	0,508	32	0,889	16	0,508	27	1,03	0,889	16	0,006	0,009	0,008	0,027	0,027	0,027	32	10
	B2	585	29,60	81,62	0,508	15	1,02	18	0,889	13	1,16	1,02	18	0,007	0,010	0,012	0,027	0,027	0,027	27,5	10	
	B3	330	16,71	46,09	2,41	16	4,57	18	7,62	16	8,15	7,62	16	0,020	0,037	0,069	0,133	0,119	0,265	41,8	9,1	
	B4	1164	300	15,17	41,83	4,83	20	8,25	17	12,3	17	12,9	12,3	17	0,045	0,080	0,112	0,080	0,146	0,146	32,5	8,8
	B6	214	10,85	29,91	11,4	>100	10,3	16	12,2	23	14,2	12,2	23	0,036	0,103	0,082	0,968	0,411	0,901	53,8	12	
	B5	368	18,65	51,42	2,67	22	4,19	15	5,21	15	5,67	5,21	15	0,018	0,049	0,051	0,080	0,066	0,119	29,8	9,7	
	B8	651	32,94	90,83	0,762	28	0,762	14	0,889	20	0,968	0,889	20	0,004	0,007	0,005	0,027	0,013	0,027	23	9,1	
	20	B1	152	8,79	23,18	11,2	>100	18,2	30	23	30	24,8	23	30	0,013	0,098	0,100	1,380	0,570	1,680	196	10
B2		155	8,93	23,54	14,4	>100	14,7	32	14,4	39	15,4	14,7	32	0,011	0,066	0,069	1,660	0,676	1,330	178	5,6	
B3		151	8,70	22,94	12,2	57	11,6	32	12,2	30	17	12,2	30	0,023	0,061	0,064	1,230	0,636	0,875	175	5,9	
B4		1068	143	8,25	21,75	15	34	25,4	47	23,9	37	27,5	25,4	47	0,067	0,087	0,117	1,050	1,010	0,742	199	8,8
B6		147	8,48	22,37	12,3	32	13,2	85	13,6	27	17,6	13,6	27	0,052	0,057	0,083	0,305	0,795	0,504	88,5	9,3	
B5		141	8,16	21,52	13	26	19	30	16,1	26	20,2	19	30	0,054	0,087	0,081	1,140	0,689	1,020	143	6,6	
B8		133	7,70	20,30	35,4	32	27,9	37	19,8	34	38,8	35,4	32	0,119	0,103	0,091	1,130	0,663	1,130	159	8	
B7-1		135	7,81	20,60	46,6	30	26,5	30	43,7	28	51,7	46,6	30	0,244	0,120	0,215	1,310	0,782	1,170	155	7,4	

Çizelge 4.29 Devamı

21	1106	B1	210	16,35	38,94	5,71	73	7,62	85	8,25	>100	11	8,25	>100	0,023	0,049	0,037	0,490	0,437	0,888	59,5	13
		B2	370	28,81	68,62	1,14	30	3,56	16	3,05	20	4,07	3,56	16	0,011	0,038	0,025	0,027	0,066	0,066	41,8	8,5
		B3	527	41,01	97,69	0,508	24	0,762	22	0,889	18	0,967	0,889	18	0,004	0,007	0,008	0,027	0,027	0,027	16,5	18
		B4	371	28,89	68,83	1,14	24	1,9	21	1,9	20	2,57	1,9	20	0,008	0,019	0,015	0,027	0,040	0,040	29,3	12
		B6	478	37,18	88,58	0,508	23	1,14	20	0,889	18	1,28	1,14	20	0,004	0,009	0,008	0,027	0,027	0,027	21,5	13
		B5	335	26,10	62,18	1,4	32	2,54	23	3,17	22	3,3	3,17	22	0,007	0,027	0,019	0,066	0,053	0,106	47,8	15
		B8	520	40,47	96,40	0,381	73	0,508	32	0,381	37	0,524	0,508	32	0,000	0,001	0,000	0,013	0,013	0,013	24,5	11
		B7-1	580	45,12	107,49	0,254	>100	0,635	20	1,02	18	1,05	1,02	18	0,000	0,005	0,008	0,040	0,040	0,040	32,8	18
22	1070	B1	67	3,33	9,22	30,2	>100	18,8	47	27,4	>100	31,7	30,2	>100	0,054	0,079	0,071	2,860	1,220	2,470	93,8	7,6
		B2	137	6,83	18,93	8,64	47	7,24	19	11,8	39	12,5	11,8	39	0,041	0,049	0,063	0,437	0,384	0,424	60,5	5,4
		B3	339	16,97	47,01	1,4	34	3,43	37	3,05	34	3,91	3,43	37	0,009	0,021	0,018	0,066	0,080	0,106	130	9,1
		B4	206	10,30	28,53	4,06	43	4,7	13	9,14	24	9,31	9,14	24	0,016	0,049	0,054	0,106	0,119	0,159	47,5	6,2
		B6	377	18,85	52,21	1,78	39	1,9	26	3,3	17	3,33	3,3	17	0,007	0,015	0,022	0,053	0,053	0,066	33,8	6,8
		B5	128	6,42	17,77	25,5	>100	20,3	37	83,3	39	84,6	83,3	39	0,062	0,099	0,306	2,250	0,981	2,740	120	4,3
		B8	403	20,15	55,80	1,65	32	3,05	17	2,16	20	3,25	3,05	17	0,008	0,021	0,014	0,106	0,106	0,119	35,5	12
		23	1072	B1	123	8,66	21,32	18,4	>100	19,8	57	30,7	47	34,3	30,7	47	0,044	0,067	0,089	1,680	1,390	1,600
B2	82			5,82	14,32	16,4	51	21,1	39	31,7	43	32,1	31,7	43	0,052	0,069	0,123	0,901	0,994	1,140	114	11
B3	226			15,96	39,28	8,38	64	5,84	28	9,91	34	10,7	9,91	34	0,021	0,034	0,049	0,530	0,305	0,557	24,3	11
B4	304			21,48	52,88	1,27	>100	2,67	17	1,65	12	2,71	2,67	17	0,003	0,024	0,018	0,106	0,053	0,106	51,8	10
B6	359			25,42	62,57	1,65	>100	2,29	19	3,17	>100	3,53	3,17	>100	0,005	0,018	0,014	0,212	0,080	0,384	42,8	11
B5	408			28,86	71,03	1,27	14	2,03	14	2,54	13	3,3	2,54	13	0,014	0,025	0,029	0,027	0,040	0,040	41,3	15
B8	432			30,55	75,20	1,52	85	1,4	18	1,52	22	1,89	1,52	22	0,005	0,012	0,009	0,080	0,027	0,093	36	9,1
24	1067			B1	106	3,38	10,89	23	43	24,4	39	28,1	23	33,8	28,1	23	0,107	0,139	0,178	1,070	1,350	0,968
		B2	120	3,83	12,33	22	73	18,8	21	25,8	37	31,3	25,8	37	0,039	0,122	0,109	1,500	1,110	1,590	135	16
		B3	364	11,65	37,54	3,3	>100	4,7	19	4,7	26	7,21	4,7	26	0,011	0,043	0,032	0,345	0,106	0,358	29,3	6,6
		B4	232	7,44	23,96	9,52	51	10,2	43	13,1	24	15,8	13,1	24	0,034	0,051	0,076	0,703	0,278	0,583	84,3	7,4
		B6	513	16,44	52,96	3,68	13	3,68	14	4,83	20	4,87	4,83	20	0,035	0,038	0,042	0,066	0,053	0,066	49,8	5,7
		B5	390	12,50	40,28	2,03	39	3,05	17	3,17	24	4,3	3,17	24	0,014	0,026	0,028	0,172	0,066	0,252	77,3	6,9
		B8	469	15,02	48,39	1,27	34	1,78	20	1,91	14	2	1,91	14	0,006	0,016	0,018	0,053	0,040	0,053	62	6

Çizelge 4.29 Devamı

	B1	169	13,78	32,29	10,5	>100	7,49	85	10,3	85	13,4	10,5	85	0,015	0,024	0,021	1,010	0,636	0,875	184	30	
	B2	174	14,20	33,29	6,98	>100	6,6	85	8	>100	8,73	8	>100	0,012	0,022	0,014	0,795	0,437	0,901	176	30	
	B3	246	20,06	47,02	18,2	>100	28,7	>100	22,1	>100	39,5	28,7	>100	0,011	0,017	0,022	2,030	3,050	2,520	150	32	
	B4	158	12,89	30,22	15,5	>100	11	73	10,4	>100	18,9	15,5	>100	0,022	0,019	0,015	1,560	0,928	1,180	174	30	
25	B6	1085	325	26,51	62,14	0,889	57	2,16	64	1,65	26	2,25	2,16	64	0,004	0,007	0,010	0,040	0,093	0,066	107	22
	B5	255	20,79	48,73	4,95	85	3,94	64	5,71	>100	7,05	5,71	>100	0,009	0,011	0,021	0,305	0,225	0,331	110	26	
	B8	486	39,65	92,93	1,65	>100	0,889	37	1,91	85	2,05	1,91	85	0,002	0,002	0,004	0,106	0,053	0,133	103	20	
	B7-1	227	18,57	43,53	2,03	57	2,67	20	1,9	34	2,78	2,67	20	0,007	0,014	0,010	0,066	0,080	0,066	118	34	
	B7-2	300	24,52	57,47	1,27	6,6	1,78	21	1,65	20	1,99	1,78	21	1,120	0,014	0,011	0,040	0,053	0,080	91,3	34	
	B1	126	5,56	16,08	15,2	47	23,5	20	29,7	30	32,1	29,7	30	0,055	0,160	0,129	1,550	0,716	1,670	211	22	
	B2	351	15,45	44,65	3,05	>100	1,78	23	5,97	>100	5,99	5,97	>100	0,013	0,017	0,026	0,331	0,053	0,490	244	20	
	B3	95	4,19	12,12	39	>100	36,1	22	42,5	>100	49,9	42,5	>100	0,054	0,217	0,150	4,510	1,180	3,290	446	57	
	B4	105	4,62	13,35	32,1	>100	26,2	21	46	>100	46	46	>100	0,116	0,107	0,091	2,800	0,954	3,830	-	43	
26	B6	1076	264	11,61	33,57	2,41	32	5,08	13	4,19	17	5,45	5,08	13	0,013	0,043	0,033	0,106	0,133	0,119	169	11
	B5	202	8,92	25,78	6,48	20	11	16	12,2	17	13	12,2	17	0,045	0,098	0,086	0,278	0,278	0,358	204	47	
	B8	414	18,23	52,68	1,65	47	1,52	20	2,03	12	2,33	2,03	12	0,010	0,020	0,017	0,133	0,053	0,093	164	9,1	
	B7-1	222	9,77	28,24	5,08	30	6,22	12	5,71	24	7,3	6,22	12	0,025	0,079	0,046	0,119	0,119	0,146	106	22	
	B7-2	270	11,90	34,39	1,14	8,7	4,95	17	5,08	21	5,52	5,08	21	0,067	0,058	0,046	0,040	0,106	0,186	106	27	
	B1	140	9,10	23,02	7,37	43	10,2	43	11,7	32	14,4	11,7	32	0,021	0,055	0,053	0,517	0,358	0,650	339	64	
	B2	127	8,30	21,01	9,78	39	20,2	43	25,7	37	28	25,7	37	0,050	0,068	0,091	0,583	0,636	0,729	397	57	
	B3	146	9,53	24,11	10,2	>100	8	73	15,6	>100	16,3	15,6	>100	0,009	0,043	0,039	0,994	0,517	1,520	404	64	
	B4	366	23,87	60,39	2,67	>100	1,27	27	2,03	>100	3,16	2,67	>100	0,003	0,010	0,008	0,305	0,053	0,225	97,5	47	
27	B6	1074,5	465	30,36	76,81	0,635	18	1,27	14	1,02	12	1,53	1,27	14	0,008	0,015	0,014	0,027	0,040	0,027	48,3	15
	B5	375	24,44	61,84	1,52	>100	1,52	34	1,78	>100	2,19	1,78	>100	0,003	0,015	0,010	0,106	0,053	0,106	86	57	
	B8	467	30,44	77,02	1,27	18	1,02	20	1,78	20	1,98	1,78	20	0,010	0,009	0,017	0,027	0,027	0,027	58	47	
	B7-1	331	21,61	54,67	0,254	>100	0,381	>100	0,381	>100	0,458	0,381	>100	0,000	0,000	0,000	0,040	0,040	0,040	108	37	
	B7-2	374	24,42	61,78	1,78	9,1	0,508	24	0,508	22	1,79	1,78	9,1	0,052	0,003	0,004	0,053	0,027	0,040	99	14	

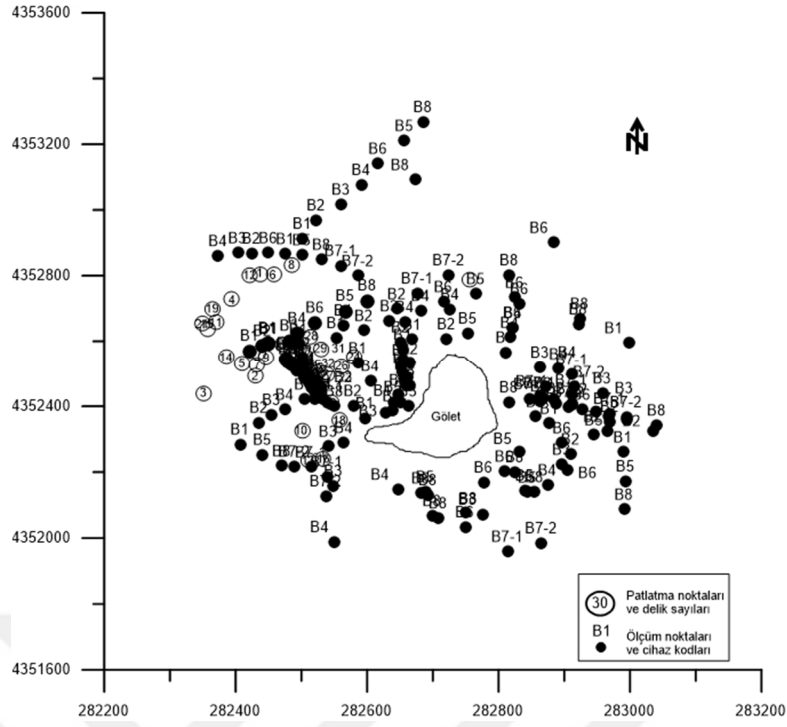
Çizelge 4.29 Devamı

28	B1	154	9,35	24,22	18,5	>100	14	57	39	51	39,1	39	51	0,025	0,074	0,094	1,830	0,915	3,050	130	7,1	
	B2	203	12,37	32,03	5,46	22	6,35	14	11,3	20	11,6	11,3	20	0,029	0,054	0,102	0,252	0,212	0,252	67,8	6	
	B3	125	7,58	19,63	17,5	34	26,5	85	32,5	23	35	32,5	23	0,074	0,148	0,126	1,060	1,550	1,260	81,3	9,7	
	B4	1083	332	20,22	52,38	2,29	28	7,11	13	6,22	26	7,31	7,11	13	0,012	0,057	0,039	0,080	0,133	0,172	78,8	10
	B6	569	34,60	89,62	1,4	16	1,02	11	1,4	13	1,98	1,4	13	0,018	0,016	0,018	0,027	0,027	0,027	23,5	5	
	B5	497	30,25	78,34	0,635	27	1,14	27	1,02	16	1,35	1,14	27	0,004	0,014	0,009	0,053	0,027	0,053	30,8	5,2	
	B8	397	24,17	62,61	0,381	6	0,508	5	0,381	8	0,746	0,508	5	0,000	0,009	0,000	0,013	0,013	0,013	11,5	2	
29	B1	117	6,15	16,74	21	34	25,1	26	31,6	28	37,4	31,6	28	0,087	0,153	0,141	1,110	0,875	1,760	213	4,9	
	B2	144	7,61	20,70	6,35	16	13,7	20	19,6	28	19,7	19,6	28	0,036	0,090	0,104	0,265	0,278	0,437	126	4,9	
	B3	166	8,73	23,76	6,22	34	10,8	37	1,14	23	11,7	10,8	37	0,030	0,040	0,063	0,278	0,371	0,252	82,8	4,4	
	B4	283	14,90	40,52	2,67	73	3,94	39	6,1	47	6,11	6,1	47	0,009	0,039	0,030	0,093	0,106	0,172	163	6,2	
	B6	1086	462	24,34	66,21	1,14	24	0,889	26	0,889	39	1,31	1,14	24	0,007	0,011	0,009	0,066	0,027	0,040	40,3	4,3
	B5	516	27,21	74,02	1,78	11	1,14	11	1,9	15	2,36	1,9	15	0,025	0,019	0,029	0,027	0,027	0,027	49,8	4,5	
	B8	391	20,62	56,08	1,14	26	1,78	24	2,41	32	2,59	2,41	32	0,006	0,024	0,014	0,027	0,053	0,066	140	6	
	B7-1	340	17,92	48,75	0,762	8,4	1,65	32	1,52	43	1,93	1,65	32	0,055	0,018	0,014	0,040	0,053	0,053	80	4	
B7-2	404	21,30	57,93	3,56	27	3,3	18	3,94	6,3	4,26	3,94	6,3	0,035	0,026	0,062	0,066	0,053	0,066	78,5	5,7		
30	B1	143	9,55	23,98	7,11	>100	5,71	26	6,1	28	7,32	7,11	>100	0,009	0,032	0,027	0,650	0,331	0,451	111	16	
	B2	220	14,67	36,83	4,7	43	7,75	27	9,91	24	10,1	9,91	24	0,026	0,029	0,067	0,331	0,345	0,371	101	3,9	
	B3	133	8,84	22,20	19,3	47	18,4	51	28,4	34	29,7	28,4	34	0,053	0,042	0,093	1,880	1,190	1,900	197	3,8	
	B4	307	20,45	51,36	1,02	27	3,05	18	3,3	34	3,33	3,3	34	0,005	0,028	0,018	0,027	0,040	0,066	69,3	6,2	
	B6	1087	541	36,06	90,54	1,4	37	0,762	17	1,27	22	1,77	1,4	37	0,006	0,010	0,010	0,040	0,027	0,040	45,8	3,3
	B5	486	32,38	81,31	1,14	43	1,4	20	1,4	34	1,6	1,4	34	0,007	0,011	0,007	0,080	0,040	0,106	54,3	4,1	
	B8	443	29,55	74,19	0,635	34	1,14	34	1,14	23	1,44	1,14	23	0,002	0,007	0,010	0,027	0,027	0,027	36	6	
	B7-1	361	24,04	60,36	0,635	30	1,78	32	2,16	30	2,47	2,16	30	0,007	0,008	0,010	0,040	0,066	0,080	69,8	5,2	
B7-2	399	26,59	66,78	1,02	5,3	0,762	17	1,27	20	1,36	1,27	20	0,031	0,007	0,011	0,040	0,040	0,040	47,5	4		

Çizelge 4.29 Devamı

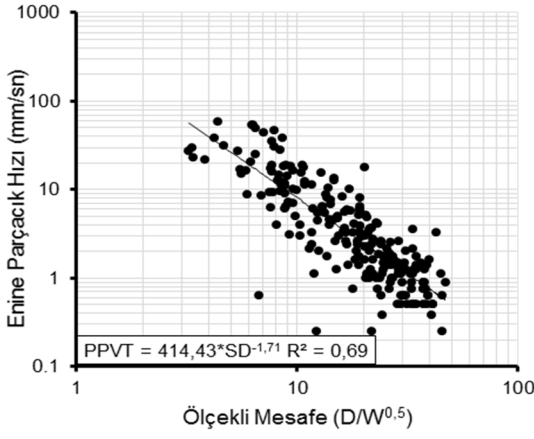
31	B1	98	6,21	15,88	54,6	64	39,4	22	68,2	43	69,3	68,2	43	0,434	0,199	0,156	3,840	1,670	5,700	220	9,7
	B2	335	21,17	54,13	1,02	37	1,65	34	1,27	37	1,92	1,65	34	0,006	0,015	0,009	0,040	0,053	0,040	64	10
	B3	359	22,69	58,01	1,02	37	1,4	23	1,65	11	1,81	1,65	11	0,013	0,011	0,018	0,040	0,040	0,040	70,3	10
	B4	391	24,71	63,16	1,52	21	2,92	18	2,16	14	2,96	2,92	18	0,017	0,025	0,023	0,040	0,040	0,027	41,3	10
	B6	431	27,24	69,63	1,65	16	1,65	15	1,65	19	2,1	1,65	19	0,017	0,016	0,019	0,027	0,027	0,027	31,3	10
	B5	456	28,83	73,70	1,52	13	2,79	15	1,65	14	3,03	2,79	15	0,017	0,027	0,022	0,027	0,040	0,027	34	11
	B8	488	30,85	78,88	2,03	11	2,03	12	1,65	13	2,35	2,03	12	0,028	0,028	0,031	0,027	0,027	0,027	32,5	10
	B7-1	537	33,93	86,75	0,508	>100	1,02	18	0,889	17	1,16	1,02	18	0,020	0,010	0,016	0,040	0,040	0,040	24,3	10
32	B1	119	7,78	19,68	9,4	34	22,2	34	22,7	27	23,2	22,7	27	0,049	0,153	0,172	0,742	0,689	0,769	489	15
	B2	362	23,58	59,66	1,02	14	1,65	10	2,67	11	2,9	2,67	11	0,009	0,023	0,032	0,027	0,040	0,053	157	17
	B3	337	21,99	55,62	1,65	43	2,29	27	2,92	34	3,31	2,92	34	0,009	0,022	0,022	0,066	0,066	0,080	77,8	18
	B6	406	26,45	66,92	2,54	15	3,17	11	3,68	11	4,84	3,68	11	0,025	0,045	0,056	0,027	0,066	0,040	91,3	9,8
	B8	529	34,53	87,34	1,78	15	1,65	16	3,05	9	3,22	3,05	9	0,033	0,019	0,050	0,027	0,027	0,040	49	10
	B7-1	449	29,32	74,17	1,14	2,7	3,17	11	3,68	11	3,74	3,68	11	0,244	0,044	0,044	0,040	0,053	0,040	90,3	13
	B7-2	477	31,10	78,67	1,27	11	3,94	9	4,95	8,8	5,06	4,95	8,8	0,021	0,064	0,092	0,040	0,040	0,040	57	13



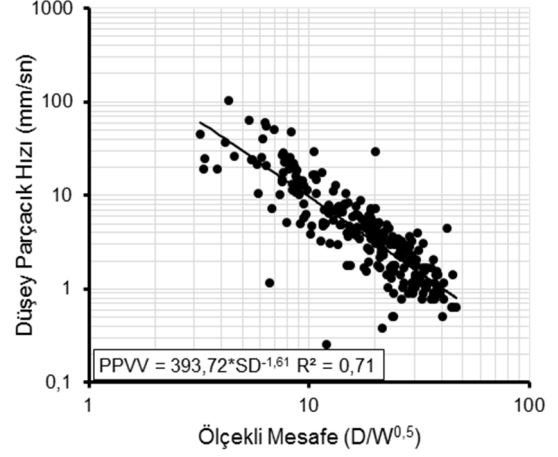


**Şekil 4.44** Kırka Bor Açık İşletmesi atım ve ölçüm noktaları.

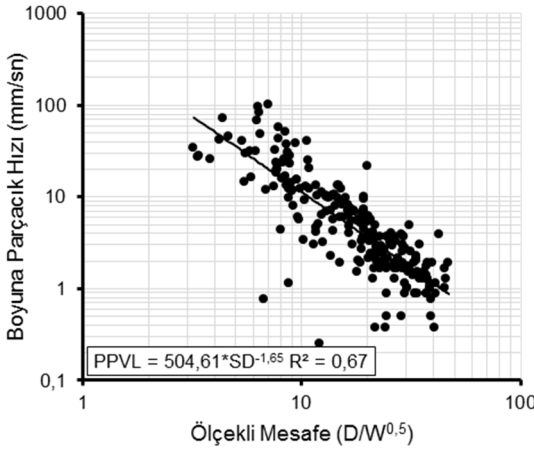
Ölçüm sonuçlarından elde edilen tüm parçacık tüm parçacık hızı bileşenleri (enine, düşey, boyuna, tepe ve bileşke) ve hava şoku Eşitlik 2.19'da verilen parçacık hızı modeline göre değerlendirilmiş ve regresyon analizi yardımıyla saha sabitleri ( $K$  ve  $\beta$ ) belirlenmiştir (Şekil 4.45-4.50). Ayrıca parçacık hızı bileşenleri ve hava şoku değerleri literatürdeki 12 farklı tahmin yöntemlerine göre değerlendirilerek elde edilen saha sabitleri ve korelasyon katsayıları Çizelge 4.30'da sunulmuştur. Şekil 4.85-4.90 ve Çizelge 4.30 birlikte değerlendirildiğinde Kırka Bor Açık İşletmesi için enine, düşey, boyuna ve tepe parçacık hız bileşenlerinin parçacık hız modellerine göre değerlendirilmesi sonucunda elde edilen eşitliklerin iyi korelasyon ( $R^2=0,50-0,76$ ) sunduğu görülmektedir. Bu sahada ölçümlerin çoğunluğu 4 yönde alınmış, bu dört yönle çakışan diğer ölçüm verileri ile veri sayıları artırılarak değerlendirme yapılmıştır (Şekil 4.51).



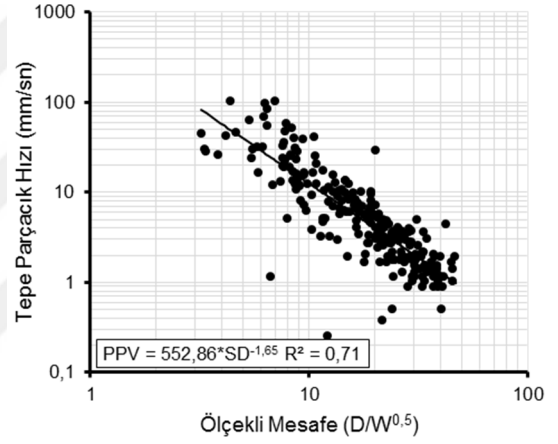
**Şekil 4.45** Enine tepe parçacık hızı- ölçekli mesafe ilişkisi.



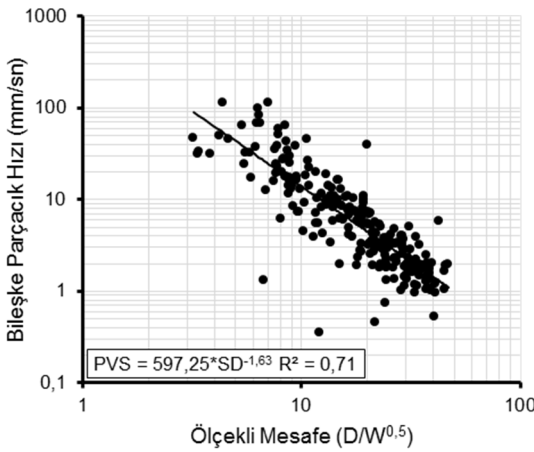
**Şekil 4.46** Düşey tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.



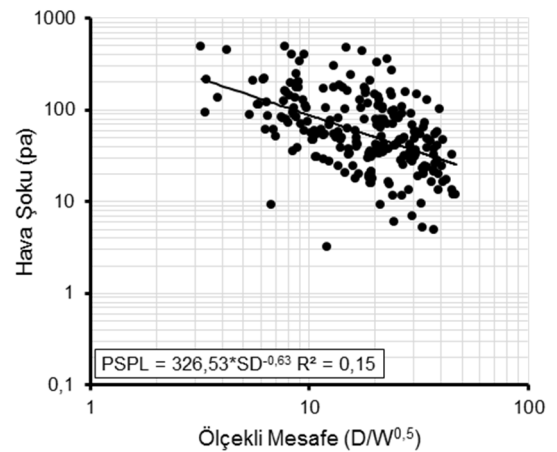
**Şekil 4.47** Boyuna tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.



**Şekil 4.48** Tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.



**Şekil 4.49** Bileşke parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.



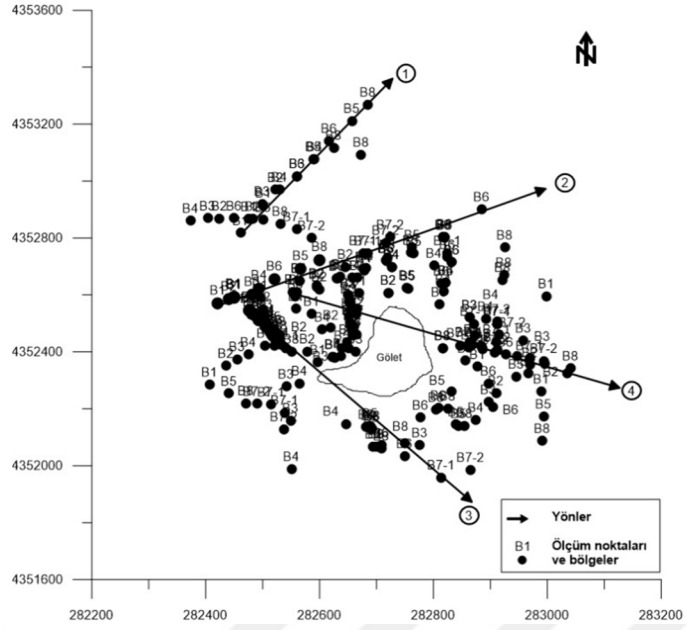
**Şekil 4.50** Hava şoku-ölçekli mesafe ilişkisi.

**Çizelge 4.30** Parçacık hızı bileşenleri ve hava şoku değerlerinin literatürdeki tahmin yöntemlerine göre değerlendirilmesi

Eşitlik		$PPV = K\left(\frac{D}{\sqrt[3]{W}}\right)^\beta$					
1. Yöntem	PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL	
	K	3424,657	2863,56	3794,064	4447,169	4183,119	757,178
	$\beta$	-1,844943	-1,736034	-1,774827	-1,760394	-1,773439	-0,70092
	R <sup>2</sup>	0,72	0,75	0,70	0,74	0,74	0,17
Eşitlik		$PPV = K\left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^\beta$					
2. Yöntem	PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL	
	K	414,4296	393,7156	504,6145	597,2511	552,8563	326,5344
	$\beta$	-1,711117	-1,611166	-1,651106	-1,635312	-1,647024	-0,63638
	R <sup>2</sup>	0,69	0,71	0,67	0,71	0,71	0,15
Eşitlik		$PPV = K\left(\frac{W}{\frac{D^2}{3}}\right)^\beta$					
3. Yöntem	PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL	
	K	62,95518	66,88408	82,56848	99,04962	90,45463	158,4185
	$\beta$	2,08604	1,965415	2,018687	1,996648	2,010476	0,75997
	R <sup>2</sup>	0,64	0,67	0,64	0,67	0,66	0,14
Eşitlik		$PPV = K\left(\frac{W^{\frac{2}{3}}}{D}\right)^\beta$					
4. Yöntem	PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL	
	K	62,95518	66,88408	82,56848	99,04962	90,45463	158,4185
	$\beta$	1,56453	1,474061	1,514015	1,497486	1,507857	0,569978
	R <sup>2</sup>	0,64	0,67	0,64	0,67	0,66	0,14
Eşitlik		$PPV = KD^\alpha W^\beta$					
5. Yöntem	PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL	
	K	99597,03	61185,68	57821,13	84633,58	84857,2	11203,5
	$\alpha$	-1,985761	-1,86397	-1,888644	-1,883493	-1,899206	-0,8135
	$\beta$	0,158198	0,163679	0,222413	0,187493	0,183187	-0,13155
	R <sup>2</sup>	0,74	0,77	0,72	0,76	0,76	0,19
Eşitlik		$PPV = K\left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^\beta e^{\alpha D}$					
6. Yöntem	PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL	
	K	126,2697	122,302	181,9897	203,7551	189,9939	92,88765
	$\beta$	-0,860425	-0,774323	-0,921122	-0,86555	-0,882495	0,263461
	$\alpha$	-0,00378	-0,003719	-0,003244	-0,003421	-0,003398	-0,004
	R <sup>2</sup>	0,72	0,75	0,70	0,75	0,74	0,22
Eşitlik		$PPV = K\left(\frac{D}{\sqrt[3]{W}}\right)^\beta e^{\alpha D}$					
7. Yöntem	PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL	
	K	745,893	584,1954	1120,946	1163,24	1136,913	61,02662
	$\beta$	-1,222742	-1,08713	-1,277097	-1,212945	-1,241632	0,3271
	$\alpha$	-0,002547	-0,002656	-0,002037	-0,002241	-0,002177	-0,00421
	R <sup>2</sup>	0,73	0,76	0,71	0,75	0,75	0,22

Çizelge 4.30 Devamı

	Eşitlik	$PPV = K \left( \frac{W}{3} \right)^\beta e^{\alpha D}$					
8. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	46,95123	50,40408	63,70183	75,69628	69,12843	124,0187
	$\beta$	0,836541	0,760325	0,913595	0,851183	0,865053	-0,2829
	$\alpha$	-0,004585	-0,004422	-0,004055	-0,004203	-0,004203	-0,00383
	R <sup>2</sup>	0,72	0,75	0,70	0,74	0,73	0,22
	Eşitlik	$PPV = K \left( \frac{W^{\frac{2}{3}}}{D} \right)^\beta e^{\alpha D}$					
9. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	46,95123	50,40408	63,70183	75,69628	69,12843	124,0187
	$\beta$	0,627406	0,570244	0,685196	0,638387	0,64879	-0,21217
	$\alpha$	-0,004585	-0,004422	-0,004055	-0,004203	-0,004203	-0,00383
	R <sup>2</sup>	0,72	0,75	0,70	0,74	0,73	0,22
	Eşitlik	$PPV = K \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^\beta e^{\alpha \frac{D}{W}}$					
10. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	745,685	674,879	830,2522	1049,867	957,201	401,6916
	$\beta$	-2,042914	-1,915571	-1,932369	-1,953938	-1,957083	-0,75339
	$\alpha$	0,275909	0,25313	0,233886	0,264956	0,257832	0,097301
	R <sup>2</sup>	0,69	0,72	0,68	0,72	0,71	0,16
	Eşitlik	$PPV = n + K \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1}$					
11. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	150,6283	170,8132	205,4907	246,9758	227,0016	681,3509
	n	-3,652998	-4,054942	-4,638371	-5,682712	-5,369896	36,40935
	R <sup>2</sup>	0,55	0,52	0,47	0,50	0,50	0,15
	Eşitlik	$PPV = K \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^\alpha B^\beta$					
12. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	281,2913	324,515	345,9333	462,1481	438,1663	133,1566
	$\alpha$	-1,710973	-1,611095	-1,650967	-1,635218	-1,646938	-0,63605
	$\beta$	0,255225	0,12731	0,248663	0,168906	0,15313	0,590793
	R <sup>2</sup>	0,69	0,71	0,67	0,71	0,71	0,17



**Şekil 4.51** Veri sınıflandırması sonucu oluşturulan yönler.

Değerlendirme sonucunda yönlere bağlı olarak oldukça geniş bir aralıkta korelasyon katsayılı ( $R^2=0,46-0,95$ ) ilişkiler elde edilmiştir (Çizelge 4.31 Şekil 4.52). Parçacık hız bileşenleri bazında ilişkiler incelendiğinde sonuçların diğer sahalardan çok daha istikrarlı olduğu söylenebilir.

Yönler bölgeler bazında incelendiğinde, Yön 1'i oluşturan cihazların tamamı 1. Bölgede yer almakta olup bu bölgedeki kaya kütlelerinin ortalama RMR (%) değeri 54,90 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.26). Yön 1'e ait tepe parçacık hız denklemi Eşitlik 4.9'da verilmiştir.

$$PPV = 5955,74 SD^{-2,32} \quad (R^2=0,95) \quad [4.9]$$

Yön 2'yi oluşturan cihazların tamamı 2. bölgede yer almaktadır. Bu bölgedeki kaya kütlelerinin ortalama RMR (%) değeri 49,50 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.26). Bu yöne ait tepe parçacık hız denklemi Eşitlik 4.10'da sunulmuştur.

$$PPV = 2210,50 SD^{-2,11} \quad (R^2=0,84) \quad [4.10]$$

Yön 3'ü oluşturan cihazların çoğunluğu 3. bölgede (4. bölgeye doğru) yer almakta olup bu bölgedeki kaya kütlelerinin ortalama RMR (%) değeri 35,25 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.26). Yön 3'e ait tepe parçacık hız denklemi Eşitlik 4.11'de verilmiştir.

$$PPV = 267,96 SD^{-1,43} \quad (R^2=0,46) \quad [4.11]$$

Yön 4'ü oluşturan cihazların çoğunluğu 4. Bölgede (2 ve 3. Bölgelerden 4. Bölgeye doğru) yer almaktadır. Bu bölgedeki kaya kütesinin ortalama RMR (%) değeri 28,00 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.26). Bu yöne ait tepe parçacık hız denklemi Eşitlik 4.12'de sunulmuştur.

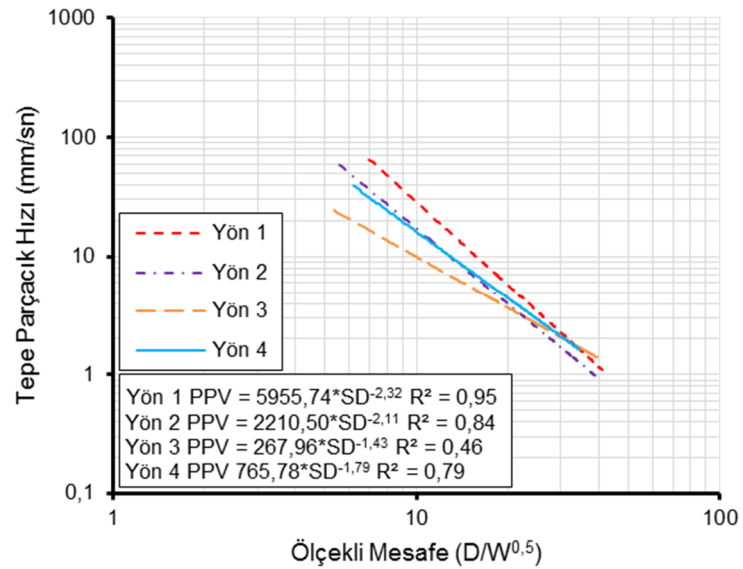
$$PPV = 765,78 SD^{-1,79}$$

$$(R^2=0,79)$$

[4.12]

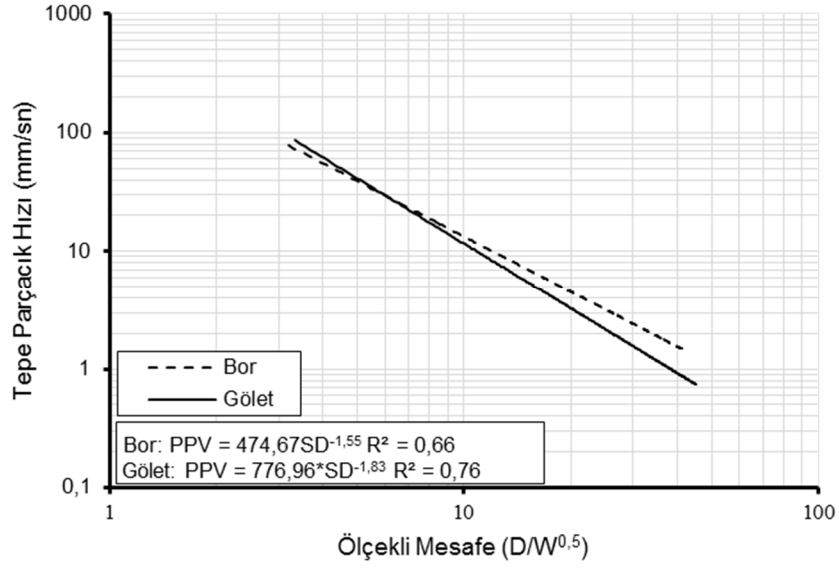
**Çizelge 4.31** Tüm atımlardan yararlanılarak oluşturulan yönlere ait parçacık hız bileşenleri-ölçekli mesafe ilişkisi ve saha sabitleri

Yönler	Sabitler	$PPV = K \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^\beta$				
		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV
1	K	7849,82	3326,03	5639,77	7698,60	5955,74
	$\beta$	-2,56	-2,25	-2,32	-2,38	-2,32
	$R^2$	0,91	0,92	0,93	0,95	0,95
2	K	2313,02	1155,64	2632,15	2514,74	2210,50
	$\beta$	-2,33	-1,93	-2,23	-2,13	-2,11
	$R^2$	0,82	0,84	0,85	0,84	0,84
3	K	155,03	259,47	222,17	289,96	267,96
	$\beta$	-1,35	-1,51	-1,39	-1,41	-1,43
	$R^2$	0,41	0,49	0,45	0,47	0,46
4	K	480,15	416,52	928,09	733,06	765,78
	$\beta$	-1,84	-1,65	-1,89	-1,74	-1,79
	$R^2$	0,76	0,79	0,77	0,79	0,79
Gölet	K	457,28	408,74	748,22	770,08	776,96
	$\beta$	-1,83	-1,70	-1,86	-1,78	-1,83
	$R^2$	0,73	0,74	0,70	0,75	0,76
Bor	K	390,82	325,18	428,75	535,93	474,67
	$\beta$	-1,65	-1,50	-1,55	-1,56	-1,55
	$R^2$	0,65	0,67	0,62	0,67	0,66



**Şekil 4.52** 4 farklı yöne ait tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.

Bu sahada suların açık işletme içinde toplandığı bir gölet mevcuttur (Şekil 4.40 ve Şekil 4.43). Gölet'in önüne ve arkasına (tesisler tarafına) yerleştirilen cihazlarla alınan ölçümler ile sahanın diğer taraflarında alınan veriler de ayrıca değerlendirmeye alınmış ve sonuçları Çizelge 4.31 ve Şekil 4.53'de sunulmuştur. Şekil 4.53 incelendiğinde düşük ölçekli mesafe değerlerinde bu iki yöne ait eşitlikler yakın tepe parçacık hız değerleri verirken daha yüksek ölçekli mesafelerde birbirlerinden belirgin bir şekilde ayrıştıkları görülmektedir. Gölet tarafında parçacık hız değerindeki düşüş daha fazla olmaktadır. Bu durum suyun sarsıntıyı bor birimine göre daha fazla sönümlemesi ile açıklanabilir.

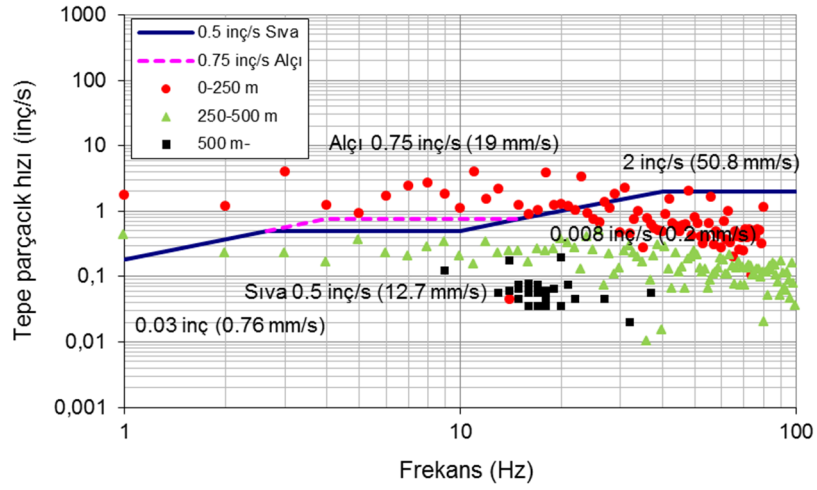


**Şekil 4.53** Bor sahası ve gölet tarafına ait verilerden elde edilen tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.

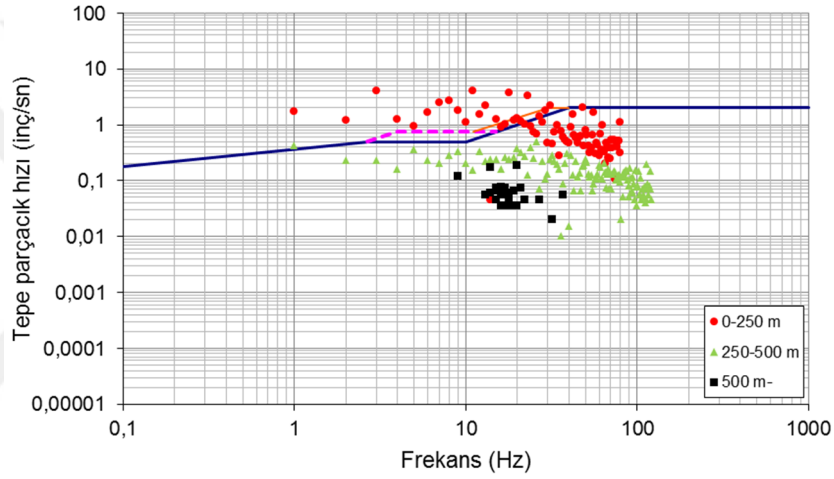
Yön 4 hariç (suyun etkisinden dolayı) diğer bölgelerdeki tepe parçacık hız eşitlikleri değerlendirildiğinde; bölgeler bazında belirgin bir değişimin olduğu, RMR (%) değeri azaldıkça K ve  $\beta$  katsayılarının da azaldığı görülmektedir.

#### 4.3.2.4 Yer sarsıntılarının bazı hasar kriterlerine göre değerlendirilmesi

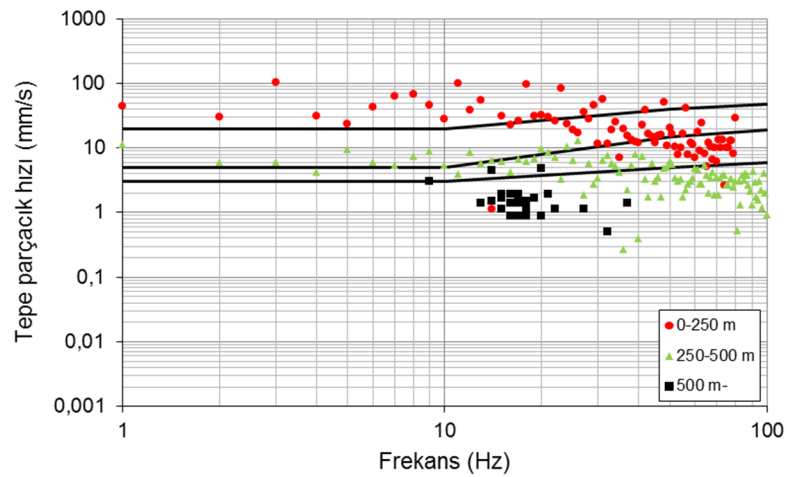
Bazı hasar kriterleri baz alınarak gerçekleştirilen değerlendirme sonucu Şekil 4.54-4.58 gösterilmiştir. Değerlendirme için sarsıntı ölçer verileri kullanılmıştır. Şekiller incelendiğinde bazı atımların ölçüm noktasındaki olası yapılara zarar verebilir nitelikte olduğu görülmektedir. Özellikle gecikme başına fazla patlayıcı maddenin olduğu ve nispeten kısa mesafelerde (0-250 m) hasar potansiyelinin yüksek olduğu söylenebilir.



Şekil 4.54 Tepe parçacık hızının USBM 8507 hasar kriterine (1980) göre değerlendirilmesi.

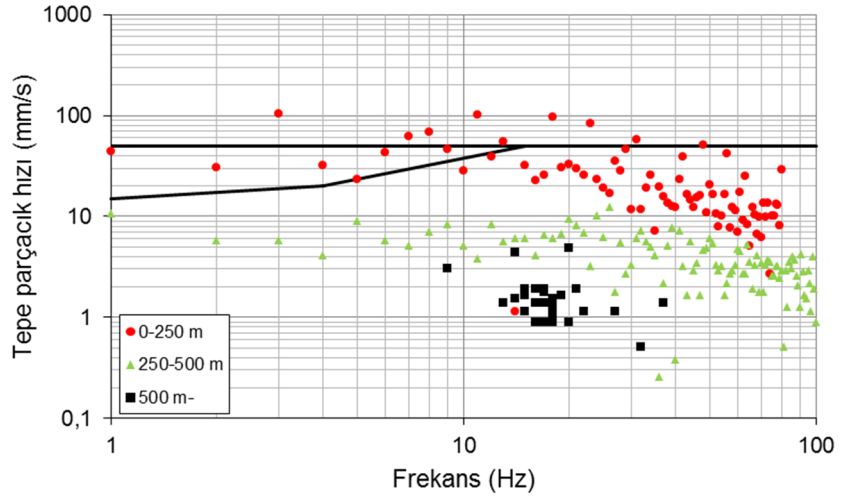


Şekil 4.55 Tepe parçacık hızının OSM hasar kriterine (1983) göre değerlendirilmesi.

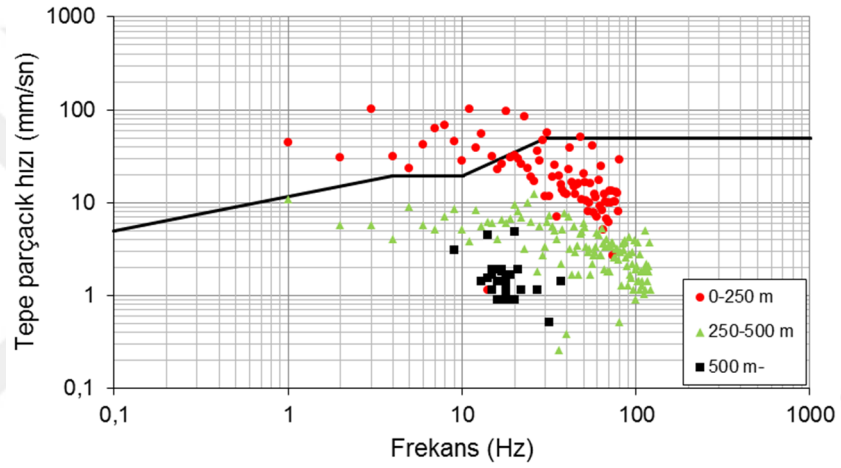


Şekil 4.56 Tepe parçacık hızının Alman DIN 4150 hasar kriterine (1996) göre değerlendirilmesi.





**Şekil 4.57** Tepe parçacık hızının İngiliz BS 7385 hasar kriterine (1993) göre değerlendirilmesi.



**Şekil 4.58** Tepe parçacık hızının Türkiye hasar kriterine (2008) göre değerlendirilmesi.

#### 4.4 TKİ Çan Kömür Açık İşletmesi

TKİ Çan Kömür Açık İşletmesi Çan ilçe merkezinin bitişiğinde, Çanakkale il merkezine 79 km civarında yer almaktadır (Şekil 4.59). Sahada kömür üretimi kamyon-ekskavatör uygulamalarına dayalı açık işletme yöntemiyle yapılmaktadır. Yıllık üretim 1,5-2 milyon ton arasında değişmekte, buna karşılık 4,8 milyon m<sup>3</sup> dekapaj kaldırılmaktadır. Sahadaki atımlar bor üretimi amacıyla yapılmaktadır. Delme işlemlerinde 7-15 cm çaplı matkaplar kullanılmakta, basamak yüksekliğine bağlı olarak delik boyları 6-15 m, dilim kalınlıkları 7-11,5 m ve delikler arası mesafe 7,2-11,5 m aralığında değişmektedir. Patlayıcı madde olarak ANFO kullanılmaktadır.

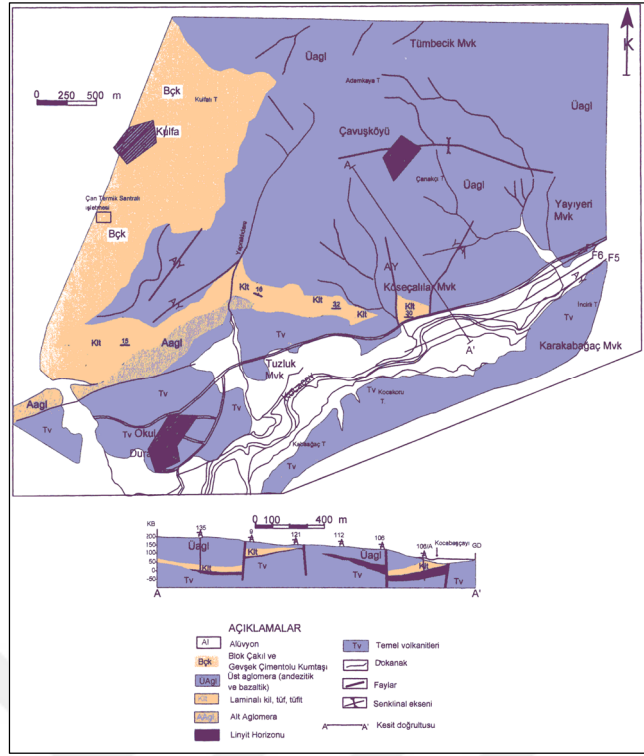


**Şekil 4.59** TKİ Çan Kömür Açık İşletmesi'nin genel görünümü.

#### **4.4.1 Jeoloji**

TKİ Çan Kömür Açık İşletmesi formasyonlarının genel durumu ve özellikleri Şekil 4.60'da verilmiştir (Parlak, 1997). Çan ve çevresinde gözlenen bitümlü şeyl, silttaşı, kumtaşı, tuf ve kömür seviyeleri içeren karasal istifeye Siyako ve ark. (1989) Çan Formasyonu adını vermişlerdir. 250 m kalınlığa sahip bu formasyon, Miyosen'in andezitik volkanitleri üzerinde bulunur ve Biga Yarımadası'nın iç kesimlerinde Erken-Orta Miyosen'deki volkanizma ile eş zamanlı olarak çökelmiştir. Çan Formasyonu'nun benzeri olan ancak yayılımı ve kalınlığı çok olmayan birçok kırıntılı seviye Miyosen volkanitleri arasında yer alır. Bu seviyeler faylarla sınırlanmış birbirinden izole ufak gölgesel havza tortullarını temsil eder ve bu tortullar ekonomik miktarda kömürlü seviyeler içerir (Siyako ve ark., 1989). Çan ilçe merkezinde bulunan Türkiye Kömür İşletmeleri'ne ait linyit ocağı bu tortullardaki kömürlü seviyelerde çalışmaktadır.

Çalışmaların yapıldığı TKİ Çan Kömür Açık İşletmesi stratigrafik dizilimi üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar, Neojen öncesi, Neojen ve Neojen sonrası dönemlerine ait formasyonlardır. Formasyonların genel durumu ve özellikleri Şekil 4.61'de verilmiştir.



Şekil 4.60 Çalışma alanının jeolojik haritası (Gökmen ve ark., 1993).

Dönem	Formasyon	Kalınlık (m)	Litoloji	Açıklama
PLİYOSEN	KULFA	8-10	Gevşek çakıl, kum, kırıntı ve bloklar	Uyumsuzluk düzlemi
		70	Aglomera, bazalt ve andezit blokları	Uyumsuzluk düzlemi
ERKEN-ORTA MİYOSEN	ÇAN	60	Kiltaş, tuf	Kumlu silttaş, kiltaş
		25-30	Zayıf tabakanmalı ve laminallı silttaş ve organik kiltaş	
		17	Linyit	
		8	Koyu gri organik şeyl	
		2	Konglomera	Uyumsuzluk düzlemi
ÇAN VOLKANİKLERİ			Başkalaşım göstermemiş volkanik kayalar	

Şekil 4.61 Çan Linyit Havzasına Ait Stratigrafik kesit (Gürdal ve Bozcu, 2011).

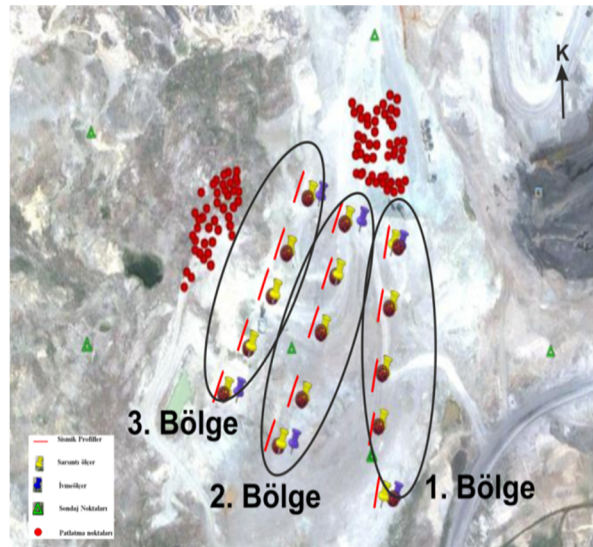
#### 4.4.2 Arazi çalışmaları

TKİ Çan Kömür Açık İşletmesi'ne ait sismik profil (MASW ve Sismik kırılma), ivmeölçer, yer sarsıntısı ölçer, DES (düşey elektrik sondaj) ölçümleri yapılmıştır (Şekil 4.62).

##### 4.4.2.1 Jeofizik ölçüm sonuçları

Sahada düşey elektrik sondaj (DES) ve sismik (çok kanallı yüzey dalgası analizi (MASW) ve kırılma yöntemleri) ölçümler yapılmış ve sonuçları Çizelge 4.32-34'de toplu olarak sunulmuştur. DES çalışmaları 13 noktada Schlumberger elektrot dizilimi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde kullanılan AB/2 değerleri 50-260 m aralığında alınmıştır. Arazide gerçekleştirilen sismik ölçüm çalışmaları kapsamında; elde edilen sismik hız ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması ve değerlerin doğruluğunun kontrolünü sağlamak amacıyla, MASW ve ReMi Yüzey Dalgası analiz yöntemleri olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmıştır. MASW yönteminde; alıcı olarak 12 adet 4,5 Hz P (düşey-bileşenli) jeofon kullanılmış ve jeofon aralıkları 5 m ve ofset uzaklıkları 5 ve 10 m olarak alınmıştır. Her bir atış istasyonunda sinyal/gürültü oranını arttırmak için 8 kg'lık bir balyoz ve demir plaka kullanılarak ardarda 5 vuruş gerçekleştirilmiş ve veriler 1024 ms kayıt uzunluğu ve 250 µs örnekleme aralığı kriterleri baz alınarak kaydedilmiştir. Sismik kırılma yönteminde; MASW yönteminde olduğu gibi, alıcı olarak 12 adet 14 Hz P (düşey-bileşenli) jeofon kullanılmış ve 512 ms kayıt uzunluğu ve 125 µs kayıt aralığı kriterleri baz alınarak kaydedilmiştir.

Çalışma alanına ait jeofiziksel ölçümler (MASW, sismik kırılma ve DES) aracılığıyla elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda her bir formasyon için birim tanımlaması, öz direnç ve sismik hız değerleri belirlenmiş ve ölçüm alanı 3 bölgeye ayrılmıştır (Şekil 4.62) (Çizelge 4.32-4.34). 1 numaralı bölge alüvyon, aglomera ve tuf, 2 numaralı bölge alüvyon, aglomera ve tuf, 3 numaralı bölge alüvyon, kıltaşı ve tuf birimlerinden oluşmaktadır.



Şekil 4.62 Çalışma sahası bölgeleri.

**Çizelge 4.32 1. Bölge birimleri ve özellikleri (Koçaslan, 2013)**

Formasyon	Alüvyon	Aglomera	Tüf
Kalınlık (m)	1,5	20	19
Özdirenç ( $\Omega m$ )	0,47	3,51	64
S-dalga hızı ( $V_s$ , km/s) (MASW yöntemi)	0,34	0,47	0,6
P-dalga hızı ( $V_p$ , km/s) (Sismik kırılma yöntemi)	0,7	1,305	1,99
Yoğunluk ( $kg/m^3$ )	1,74	1,861	1,998
Dinamik Poisson oranı	0,346	0,425	0,45
$V_p/V_s$ (güvenlik katsayısı)	2,06	2,78	3,32
Dinamik Young modülü ( $E_d$ , GPa)	0,541	1,172	2,086
Dinamik rijitide modülü ( $G_d$ , GPa)	0,201	0,411	0,719
Dinamik hacim modülü ( $K_d$ , GPa)	0,584	2,621	6,953
Tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma$ , MPa)	2,66	17,25	61,15
Kaya kalite belirteci (RQD, %)	-	64,77	-
Doğrusal çatlak yoğunluğu ( $L$ , $m^{-1}$ )	-	2,94	-
Çatlak yoğunluğu ( $C$ , $m/m^2$ )	-	0,11	-
Süreksizlik indeksi	-	1,17	-
Kaya kütlesi oranı (RMR, %)	2,24	6,92	11,6
Q sınıflaması	0,0016	0,0064	0,0309
Gözeneklilik ( $f$ , %)	41,36	30,46	23,07

**Çizelge 4.33 2. Bölge birimleri ve özellikleri (Koçaslan, 2013)**

Formasyon	Alüvyon	Aglomera	Tüf
Kalınlık (m)	1	11	23
Özdirenç ( $\Omega m$ )	0,62	3,17	62
S-dalga hızı ( $V_s$ , km/s) (MASW yöntemi)	0,38	0,531	0,68
P-dalga hızı ( $V_p$ , km/s) (Sismik kırılma yöntemi)	0,53	1,011	1,5
Yoğunluk ( $kg/m^3$ )	1,706	1,802	1,9
Dinamik Poisson oranı	-	0,31	0,371
$V_p/V_s$ (güvenlik katsayısı)	1,39	1,9	2,21
Dinamik Young modülü ( $E_d$ , GPa)	0,478	1,331	2,408
Dinamik rijitide modülü ( $G_d$ , GPa)	0,246	0,508	0,879
Dinamik hacim modülü ( $K_d$ , GPa)	0,151	1,165	3,104
Tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma$ , MPa)	1,16	8,02	26,19
Kaya kalite belirteci (RQD, %)	-	30,3	78,64
Doğrusal çatlak yoğunluğu ( $L$ , $m^{-1}$ )	-	5,81	1,78
Çatlak yoğunluğu ( $C$ , $m/m^2$ )	-	0,22	0,07
Süreksizlik indeksi	-	2,32	0,71
Kaya kütlesi oranı (RMR, %)	3,68	9,12	14,48
Q sınıflaması	0,0011	0,0032	0,01
Gözeneklilik ( $f$ , %)	46,22	34,92	28,02

**Çizelge 4.34** 3. Bölge birimleri ve özellikleri (Koçaslan, 2013)

Formasyon	Alüvyon	Kiltaş	Tüf
Kalınlık (m)	1,5	27	28
Özdirenç ( $\Omega m$ )	0,42	3,7	67
S-dalga hızı ( $V_s$ , km/s) (MASW yöntemi)	0,35	0,453	0,66
P-dalga hızı ( $V_p$ , km/s) (Sismik kırılma yöntemi)	0,54	1,069	1,6
Yoğunluk ( $kg/m^3$ )	1,708	1,814	1,92
Dinamik Poisson oranı	0,138	0,391	0,397
$V_p/V_s$ (güvenlik katsayısı)	1,54	2,36	2,42
Dinamik Young modülü ( $E_d$ , GPa)	0,476	1,035	2,338
Dinamik rijitide modülü ( $G_d$ , GPa)	0,209	0,372	0,836
Dinamik hacim modülü ( $K_d$ , GPa)	0,219	1,576	3,8
Tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma$ , MPa)	1,22	9,48	31,78
Kaya kalite belirteci (RQD, %)	-	40,39	84,76
Doğrusal çatlak yoğunluğu ( $L$ , $m^{-1}$ )	-	4,97	1,27
Çatlak yoğunluğu ( $C$ , $m/m^2$ )	-	0,19	0,05
Süreksizlik indeksi	-	1,99	0,51
Kaya kütlesi oranı (RMR, %)	2,6	6,31	13,76
Q sınıflaması	0,0011	0,0037	0,0126
Gözeneklilik ( $f$ , %)	45,9	33,95	26,89

#### 4.4.2.2 Kaya mekaniği arazi ve laboratuvar deney sonuçları

TKİ Çan Kömür Açık İşletmesi çalışma bölgelerinin kaya kütle sınıflaması (RMR) ve jeolojik dayanım indeksine (GSI) göre değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.35'de, aglomera, tüf ve kiltaş birimleri üzerinde gerek arazi gerek laboratuvar da gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.36'da verilmiştir.

**Çizelge 4.35** TKİ Çan Kömür Açık İşletmesi kaya kütle sınıflaması (RMR) ve jeolojik dayanım indeksine (GSI) göre sınıflama sonuçları

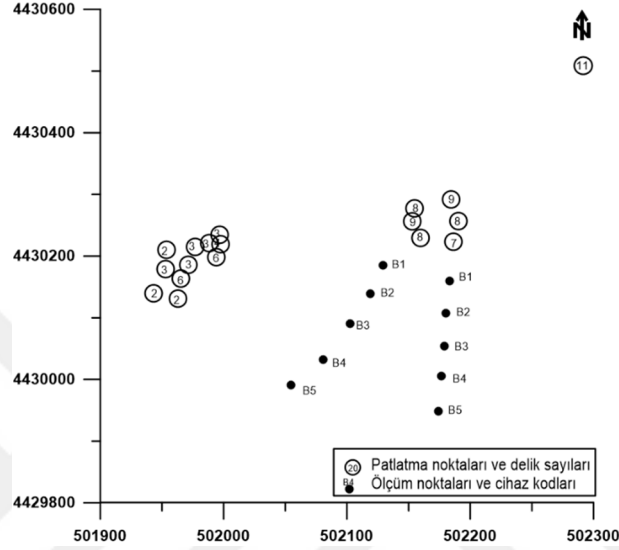
Bölge	Formasyon	RMR (%)	GSI
1	Aglomera Tüf	34,0	20-25
2	Aglomera Tüf	34,0	22-36
3	Kiltaş Tüf	38,5	25-33

**Çizelge 4.36** TKİ Çan Kömür Açık İşletmesi kaya mekaniği laboratuvar ve arazi deney sonuçları

Özellikler Kaya Birimi	Min. Tane (Tabii) Yoğunluğu (gr/cm <sup>3</sup> )	Kuru Birim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Nem Oranı (%)	Dolaylı Çekme Dayanımı (MPa)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	Ultrasonik P Dalga Hızı (m/s)	Elastisite Modülü (GPa)	Poisson Oranı	Nokta Yüğü Day. (Is(50)) (MPa)	Schmidt Sertliğı
Aglomera	2,61 (2,16-3,01) 3,05 (2,27-4,19)	2,56 (2,12- 2,94)	0,72	-	17,25	1926 (1420,77- 2464,79)	-	-	5,1	21,6
Tüf	1,96 (1,72-2,16) 3,23 (2,53-4,19)	1,38 (1,37- 1,39)	0,52	-	26,19	1635 (1438,52- 1750,6)	-	-	2,49	45,30
Kiltaşı	2,59 (2,26-2,88)	-	-	-	55	1575 (985,69- 2164,95)	-	-	1,26	15

#### 4.4.2.3 Parçacık hızı ve hava şoku ölçüm sonuçları ve değerlendirilmesi

15 Haziran-14 Temmuz 2013 tarihleri arasında dekapaj faaliyetleri sırasında yapılan 18 adet atım (Çizelge 4.37) 5 adet InstanTEL marka patlatma sarsıntı ölçer cihazla (5 adet InstanTEL Minimate Blaster [B1-B5]) değişik yön ve mesafelerde ölçülmüştür (Şekil 4.63). Bu ölçümlerde 79 patlatma sarsıntı verisi üç eksenli (boyuna, enine ve düşey) olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.38).



Şekil 4.63 Çan Kömür Açık İşletmesi atım ve ölçüm noktaları.

Çizelge 4.37 Çan Kömür Açık İşletmesi'nde yapılan atımlar

Atım No	Delik Sayısı	Sıra Sayısı	Ortalama Dilim Kalınlığı (m)	Ortalama Delikler Arası Mesafe (m)	Ortalama Delik Boyu (m)	Ortalama Sıkılama Miktarı (m)	Toplam Patlayıcı Madde Miktarı (kgAnfo)	Gecikme Başına Maksimum Patlayıcı Miktarı (kgAnfo)
1	11	2	7,24	7,22	7,5	4,35	775	75
2	9	3	9,27	9,40	15	4,53	1525	225
3	8	2	6,13	8,50	15	4,08	1800	225
4	9	2	9,71	8,53	15	4,53	1800	200
5	8	3	9,92	8,75	15	4,45	1650	225
6	7	2	2,50	7,74	15	4,53	1600	200
7	7	2	5,76	8,80	15	4,53	1400	200
8	6	2	7,00	9,36	7,33	4,10	470	80
9	6	2	5,15	8,80	7	3,85	450	75
10	4	2	4,93	9,43	7,5	4,33	320	80
11	3	1	5,67	8,00	7,5	4,10	250	85
12	3	1	5,09	8,25	7,16	3,97	250	85
13	3	1	5,25	9,55	7,16	4,03	250	85
14	3	1	4,20	9,50	7,5	4,06	255	85
15	3	1	11,50	9,95	6	3,76	250	85
16	2	1	4,55	11,50	7	4,05	140	70
17	2	1	4,03	6,70	7,5	4,15	165	85
18	2	1	3,50	9,90	7	4,05	150	75



**Çizelge 4.38 Çan Kömür Açık İşletmesi'nde yapılan atımlara ait sarsıntı verileri**

Atım No	Cihaz kodu	Ölçüm mesafesi (R, m)	SD <sup>0,5</sup>	SD <sup>0,33</sup>	Parçacık hızı ve frekansı								Deplasman			İvme			Hava şoku (PSPL)		
					Enine (PPVT)		Düşey (PPVV)		Boyuna (PPVL)		Bileşke (PVS)	Maksimum (PPV)		Enine (PPVT)	Düşey (PPVV)	Boyuna (PPVL)	Enine (PPVT)	Düşey (PPVV)	Boyuna (PPVL)	pa(L)	Hz
					mm/sn	Hz	mm/sn	Hz	mm/sn	Hz	mm/sn	mm/sn	Hz	mm	mm	mm	mm/sn <sup>2</sup>	mm/sn <sup>2</sup>	mm/sn <sup>2</sup>		
1	B1	343	39,59	82,47	1,27	4,5	0,889	5,2	1,14	4,3	1,5	1,27	4,5	0,0412	0,0264	0,0415	0,0265	0,0265	0,0265	14,30	3,8
	B2	394	45,47	94,74	1,27	5,3	0,762	4,5	1,4	4,8	1,45	1,4	4,8	0,0350	0,0255	0,0396	0,0265	0,0265	0,0265	11,00	6
	B3	443	51,11	106,49	1,02	4,8	0,635	7,8	1,14	3,9	1,36	1,14	3,9	0,0369	0,0172	0,0381	0,0265	0,0265	0,0265	12,80	6,3
	B4	494	57,00	118,75	1,02	5,6	0,635	6,6	1,27	12	1,57	1,27	12	0,0312	0,0195	0,0383	0,0265	0,0265	0,0265	12	6
	B5	550	63,52	132,34	1,14	4,7	0,762	6,6	1,27	5,1	1,68	1,27	5,1	0,0391	0,0261	0,0428	0,0265	0,0265	0,0265	8,75	3,5
2	B1	125	8,35	20,96	9,4	8	18,7	6,6	10,2	9,3	21,5	18,7	6,6	0,1680	0,3500	0,1870	0,0663	0,1590	0,1190	26,8	12
	B2	177	11,81	29,66	5,84	7,5	11,2	10	11	7,6	11,4	11,2	10	0,1470	0,1850	0,2520	0,0398	0,1460	0,0795	10,5	12
	B3	228	15,20	38,17	4,06	5,9	4,95	8,8	5,21	6,7	6,96	5,21	6,7	0,0939	0,1050	0,2120	0,0265	0,0398	0,0265	21,3	10
	B4	279	18,61	46,72	3,68	6,6	5,97	8,3	6,6	6	8,04	6,6	6	0,0899	0,1120	0,1950	0,0265	0,0398	0,0398	17,3	11
	B5	336	22,39	56,22	4,95	6,1	3,05	3,7	5,84	5,6	7,01	5,84	5,6	0,1360	0,1050	0,1700	0,0398	0,0398	0,0398	10,3	11
3	B1	116	7,75	19,46	10,3	4,6	21,8	14	13,7	2,6	22,5	21,8	14	0,3390	0,3560	0,5390	0,1330	0,2650	0,1990	73,8	3
	B2	167	11,16	28,03	6,48	2,6	11,9	20	9,91	8,3	13,3	11,9	20	0,2630	0,3140	0,3260	0,1330	0,1990	0,1330	59,8	3
	B3	218	14,55	36,54	4,83	3,7	4,83	2,7	5,59	2,9	7,25	5,59	2,9	0,1940	0,2920	0,2960	0,0398	0,0530	0,0398	40,3	3,1
	B5	325	21,69	54,46	5,08	5,1	4,32	2,7	6,86	6	6,89	6,86	6	0,1500	0,2350	0,2344	0,0398	0,0530	0,0663	19	3
4	B2	145	10,23	25,17	10,2	27	13	5,1	11,4	8,5	15	13	5,1	0,2590	0,3530	0,3900	0,1860	0,2650	0,2120	41,3	6,7
	B5	302	21,35	52,55	3,68	4,2	4,95	3	7,62	4,6	7,83	7,62	4,6	0,1190	0,2290	0,2530	0,0398	0,0530	0,0530	17,5	6,6

Çizelge 4.38 Devamı

5	B2	129	8,6	21,6	7,87	9,1	14,7	4,9	10	5,7	15,3	14,7	4,9	0,1360	0,3500	0,2200	0,0530	0,1720	0,0795	37	6,8
	B5	290	19,32	48,51	3,81	4,8	3,3	5,8	5,46	5,8	5,86	5,46	5,46	0,1350	0,1040	0,1470	0,0265	0,0265	0,0398	12,5	10
6	B2	103	7,29	17,95	9,52	4,1	14,7	3,9	18,8	6,5	21,2	18,8	6,5	0,2590	0,4510	0,4980	0,0928	0,2250	0,1460	49	5,2
	B5	263	18,56	45,69	5,46	3,5	4,32	2,8	5,33	4,5	5,46	5,46	3,5	0,1980	0,2280	0,1630	0,0265	0,0265	0,0398	15,5	13
7	B1	53	3,74	9,21	27,2	8,8	47,6	21	36,8	3,7	50,3	47,6	21	0,5400	0,4860	1,1000	0,3580	0,7030	0,4770	69	15
	B2	99	7,00	17,24	17,9	8,8	22,5	17	22,7	7	24,7	22,7	7	0,2460	0,2630	0,3940	0,1590	0,0331	0,2120	34,5	12
	B3	150	10,62	26,15	6,86	8,5	11	8,8	8,64	6,8	11,8	11	8,8	0,1120	0,2000	0,2010	0,0663	0,0928	0,0530	25	5,2
	B4	212	15,01	36,95	3,3	7,4	6,98	13	5,46	11	8,45	6,98	13	0,0740	0,1600	0,1440	0,0398	0,0663	0,0530	18,5	4,4
	B5	260	18,37	45,21	2,41	5,1	4,32	3,5	4,06	9	4,48	4,32	3,5	0,0735	0,1580	0,1150	0,0265	0,0398	0,0265	13	4,9
8	B1	155	17,31	36,46	2,54	6,2	2,67	4,3	2,54	5,1	3,59	2,67	4,3	0,0666	0,0918	0,0711	0,0265	0,0398	0,0265	15,3	9,1
	B2	146	16,38	34,50	3,68	7	4,19	18	5,59	14	5,99	5,59	14	0,0975	0,1150	0,1270	0,0398	0,0530	0,0795	19	5,6
	B3	145	16,16	34,03	2,67	6,3	3,81	15	6,1	6,7	6,26	6,1	6,7	0,0615	0,1040	0,1120	0,0265	0,0530	0,0398	24,8	5
	B4	163	18,23	38,40	3,56	6,8	3,68	23	4,32	4,7	5,58	4,32	4,7	0,0876	0,1170	0,1500	0,0265	0,1060	0,0663	23,8	5,3
	B5	182	20,36	42,88	2,92	6	2,92	30	4,19	4,4	4,49	4,19	4,4	0,0785	0,0946	0,1370	0,0265	0,0663	0,0265	19,5	5,6
9	B1	128	14,73	30,69	5,33	8,4	4,06	4	6,35	5,2	6,77	6,35	5,2	0,1190	0,1580	0,1660	0,0398	0,0398	0,0398	55,5	4,6
	B2	134	15,43	32,14	5,08	5	5,33	7,2	6,1	3,7	7,4	6,1	3,7	0,1690	0,1730	0,2060	0,0398	0,0663	0,0398	108	6,2
	B3	146	16,89	35,19	3,43	5,3	4,06	4,3	5,08	4,4	5,48	5,08	4,4	0,0822	0,1210	0,1410	0,0265	0,0398	0,0530	75,8	6,2
	B4	179	20,70	43,12	3,05	5,8	4,7	17	3,56	4,5	5	4,7	17	0,0824	0,1550	0,1390	0,0265	0,0530	0,0265	43,3	12
	B5	207	23,86	49,70	1,78	3	3,43	3,4	2,79	3,5	3,72	3,43	3,4	0,0917	0,1380	0,1000	0,0265	0,0398	0,0265	27,8	8,8
10	B1	148	16,54	34,83	2,67	5,4	4,7	4,8	4,57	4,4	5,43	4,7	4,8	0,0785	0,1580	0,1730	0,0265	0,0265	0,0265	55,3	17
	B2	145	16,25	34,24	4,83	9	8,64	6,2	6,98	3,8	9,9	8,64	6,2	0,0809	0,2230	0,2180	0,0265	0,0398	0,0530	48,8	21
	B3	154	17,27	36,37	2,29	4,3	5,71	5,6	4,95	4,2	6,32	5,71	5,6	0,0571	0,1340	0,1520	0,0265	0,0398	0,0398	34	9,8
	B4	183	20,48	43,13	2,41	6	3,81	5,4	4,19	4,5	5,01	4,19	4,5	0,0677	0,0871	0,1190	0,0265	0,0398	0,0530	32,8	8,4
	B5	207	23,20	48,86	1,78	6,6	2,79	5,6	3,56	4,2	3,99	3,56	4,2	0,0672	0,0774	0,1220	0,0265	0,0398	0,0398	21,8	7,4

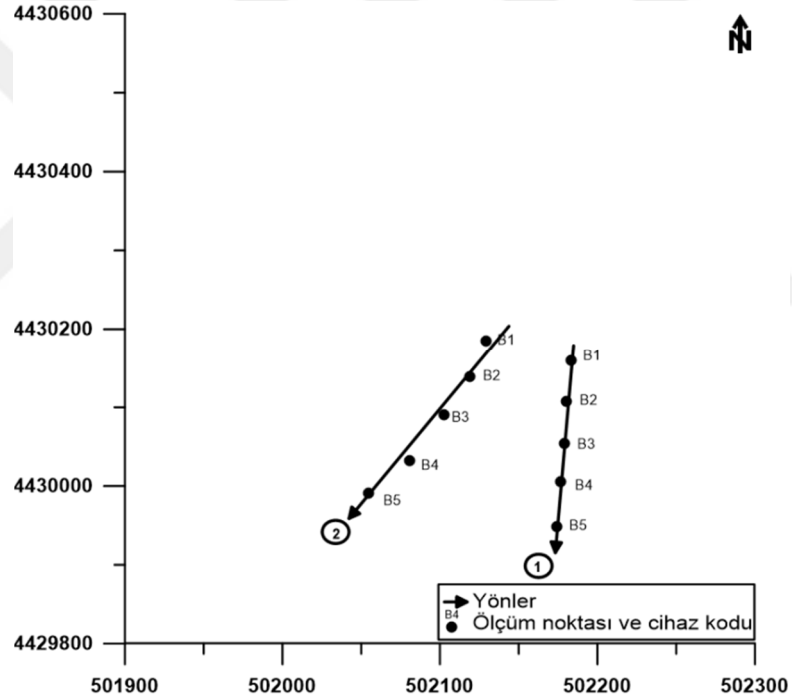
Çizelge 4.38 Devamı

11	B1	82	8,90	18,93	4,7	14	12,2	12	12,7	8,4	18	12,7	8,4	0,1200	0,1860	0,2310	0,0795	0,1590	0,1060	82,3	5,6
	B2	134	14,49	30,85	3,43	6,9	6,22	3,6	4,83	7,4	7,3	6,22	3,6	0,0832	0,3080	0,1440	0,0265	0,0530	0,0398	120	5,8
	B3	196	21,23	45,18	2,16	4,2	3,43	3,8	3,94	4,6	5,25	3,94	4,6	0,0807	0,1460	0,1420	0,0265	0,0398	0,0265	29,8	11
	B4	237	25,73	54,76	1,78	4,3	2,41	3,9	2,41	4,4	3,24	2,41	4,4	0,0787	0,1000	0,0917	0,0265	0,0265	0,0265	24	9,5
	B5	286	30,98	65,93	2,79	3,1	2,29	17	3,56	4,5	4,3	3,56	4,5	0,1170	0,1090	0,1230	0,0265	0,0398	0,0265	19,8	10
12	B1	89	9,67	20,58	5,59	12	13	14	9,65	18	14,6	13	14	0,1580	0,3240	0,2070	0,0663	0,1330	0,1060	85,5	3,9
	B2	139	15,08	32,10	3,17	5,3	7,75	4	3,43	5,6	8,13	7,75	4	0,0961	0,3340	0,1100	0,0265	0,0398	0,0398	58,5	4,6
	B3	214	23,19	49,34	1,9	20	4,44	19	2,92	4,1	4,97	4,44	19	0,0408	0,1270	0,1130	0,0398	0,0663	0,0398	20	4,3
	B4	253	27,48	58,48	1,14	5,8	2,29	19	2,29	4,3	2,73	2,29	4,3	0,0301	0,0751	0,0832	0,0265	0,0398	0,0265	15	12
	B5	300	32,57	69,32	1,65	4,6	3,68	18	3,68	4,3	3,9	3,68	4,3	0,0571	0,0781	0,1390	0,0265	0,0530	0,0265	10,5	16
13	B1	86	9,30	19,80	5,84	9,3	14,6	5,8	12,1	6,5	16,7	14,6	5,8	0,0974	0,3870	0,3040	0,0928	0,1860	0,1060	107	4,4
	B2	131	14,25	30,32	2,92	5,3	9,14	4,1	4,19	5,1	9,51	9,14	4,1	0,0953	0,3610	0,1120	0,0265	0,0398	0,0265	62,5	4
	B3	204	22,17	47,19	2,29	6,6	3,56	19	2,92	4,4	4,3	3,56	19	0,0579	0,1270	0,1140	0,0265	0,0530	0,0265	16,3	4,3
	B4	245	26,55	56,49	1,14	6,2	2,03	4,3	2,41	4,5	3,16	2,41	4,5	0,0290	0,0789	0,0884	0,0265	0,0398	0,0265	13,5	12
	B5	292	31,62	67,30	1,65	5,1	3,17	17	3,05	4	3,29	3,17	17	0,0520	0,0740	0,1230	0,0265	0,0530	0,0265	12	11
14	B1	106	11,52	24,52	6,1	5,3	10,2	4,3	8,38	19	11,2	10,2	4,3	0,1610	0,3420	0,1970	0,0663	0,1190	0,0928	45,8	4,5
	B2	147	15,91	33,85	3,43	5,1	14,6	4,6	6,6	4,8	15,1	14,6	4,6	0,1070	0,4990	0,2120	0,0265	0,0530	0,0398	55,5	3,9
	B3	193	20,90	44,48	3,43	28	5,84	3,9	6,1	4,5	7,19	6,1	4,5	0,0539	0,2350	0,2100	0,0530	0,0795	0,0398	24	3,6
	B4	230	24,92	53,03	1,78	5,3	3,81	4,1	4,32	4,7	5,08	4,32	4,7	0,0588	0,1470	0,1460	0,0265	0,0398	0,0265	21,5	7,1
	B5	276	29,91	63,64	3,17	4,8	3,68	3,6	6,35	4,4	6,99	6,35	4,4	0,1100	0,1600	0,2230	0,0265	0,0663	0,0265	18	6,4
15	B1	86	9,28	19,75	3,94	17	7,11	6,3	3,94	5,6	7,28	7,11	6,36	0,0817	0,1630	0,0910	0,0530	0,1060	0,0398	29	17
	B2	108	11,67	24,83	2,16	6,4	7,37	3,4	3,56	6,2	7,85	7,37	3,4	0,0622	0,3050	0,1350	0,0265	0,0530	0,0530	38,5	5,6
	B3	136	14,79	31,47	2,92	4,2	5,84	3,9	5,46	4,5	7,21	5,84	3,9	0,1050	0,2310	0,1830	0,0398	0,0663	0,0265	15,3	8,4
	B4	195	21,19	45,09	2,67	5,4	4,06	3,8	3,68	4,6	5,49	4,06	3,8	0,1010	0,1540	0,1360	0,0265	0,0530	0,0265	17,3	9,1
	B5	237	25,74	54,77	2,67	>100	1,9	43	4,44	73	5,13	4,44	73	0,00347	0,00434	0,0135	0,1990	0,0928	0,1860	0,75	12

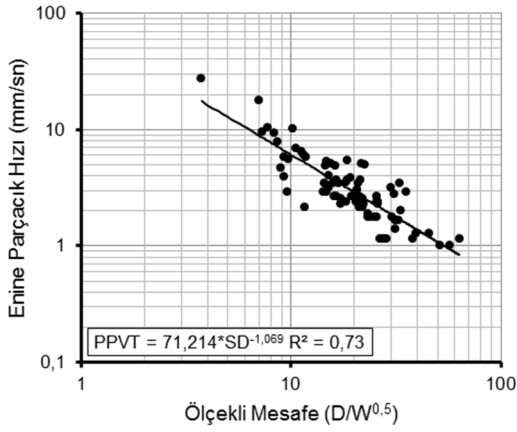
Çizelge 4.38 Devamı

16	B1	190	21,97	45,78	2,54	4,7	3,43	4,8	2,79	4,5	4,11	3,43	4,8	0,0935	0,1060	0,1190	0,0265	0,0398	0,0265	18,3	12
	B2	224	25,84	53,83	2,41	4,2	2,29	4,7	3,56	4,3	4,1	3,56	4,3	0,0809	0,0799	0,1310	0,0398	0,0398	0,0265	17,5	13
	B3	261	30,18	62,88	1,78	4,2	1,65	3,8	2,79	3,9	3,35	2,79	3,9	0,0644	0,0629	0,1140	0,0265	0,0265	0,0265	14,5	13
	B4	290	33,45	69,69	2,03	4,2	1,9	3,8	3,3	4,1	3,48	3,3	4,1	0,0773	0,0776	0,1380	0,0265	0,0265	0,0265	13	12
	B5	328	37,90	78,97	1,14	4,6	1,9	4	3,68	4,2	3,86	3,68	4,2	0,0465	0,0739	0,1380	0,0265	0,0265	0,0265	7,75	12
17	B1	197	21,42	45,58	2,29	5	2,67	4,5	3,3	5,8	3,56	3,3	5,8	0,0618	0,0920	0,0977	0,0265	0,0398	0,0265	19,5	13
	B2	238	25,85	55,00	2,29	20	3,43	22	3,05	5,3	3,79	3,43	22	0,0504	0,0784	0,1090	0,0398	0,0530	0,0265	20,5	10
	B3	264	28,60	60,86	1,14	4,7	2,29	18	2,41	5,4	2,62	2,41	5,4	0,0432	0,0668	0,0958	0,0265	0,0265	0,0265	16,5	13
	B4	290	31,45	66,92	1,4	4,4	1,78	16	3,05	5,1	3,08	3,05	5,1	0,0665	0,0735	0,1100	0,0265	0,0265	0,0398	13,3	12
	B5	327	35,43	75,40	2,92	>100	2,79	>100	3,94	85	4,71	3,94	85	0,00459	0,00236	0,00657	0,1990	0,2390	0,2780	0,75	16
18	B1	83	9,62	20,04	2,92	5,1	4,44	4,4	4,7	4,2	5,69	4,7	4,2	0,1100	0,1640	0,1690	0,0265	0,0265	0,0265	52,5	8,5
	B2	168	19,44	40,49	2,67	5,8	7,24	4,9	7,49	4,6	9,62	7,49	4,6	0,0794	0,2230	0,2460	0,0265	0,0398	0,0398	49	11
	B3	191	22,07	45,99	2,16	6,5	4,57	4,2	5,08	4,1	6,92	5,08	4,1	0,0623	0,1810	0,2060	0,0265	0,0398	0,0265	50,8	11
	B4	222	25,59	53,32	2,41	5,4	5,21	4,2	7,11	4,4	8,3	7,11	4,4	0,0707	0,1930	0,2520	0,0265	0,0398	0,0265	44,5	9,8
	B5	284	32,83	68,39	3,43	4,5	5,08	4,2	4,7	4,3	6,88	5,08	4,2	0,1200	0,1790	0,1760	0,0265	0,0265	0,0265	33,3	6,6

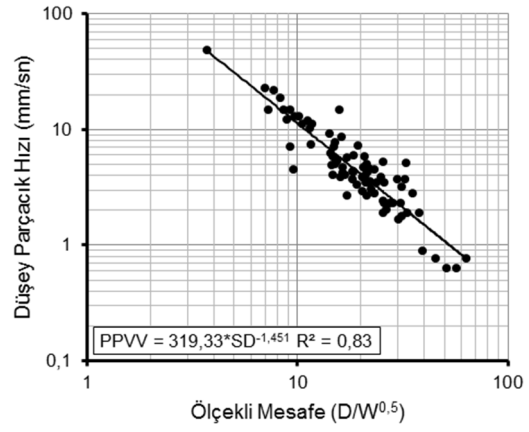
Sahada ölçümler 3 yönde alınmış ancak jeofizik ölçümleri sonucunda benzer özellikler taşıdığı tespit edilen 2 yöne ait ölçüm verileri ile veri sayıları artırılarak değerlendirme yapılmıştır (Şekil 4.64). Ölçüm sonuçlarından elde edilen tüm parçacık hızı bileşenleri (enine, düşey, boyuna, tepe ve bileşke) ve hava şoku Eşitlik 2.19'da verilen parçacık hızı modeline göre değerlendirilmiş ve regresyon analizi yardımıyla saha sabitleri ( $K$  ve  $\beta$ ) belirlenmiştir (Şekil 4.65-4.70). Çan Kömür Açık İşletmesi için enine, düşey, boyuna ve tepe parçacık hız bileşenlerinin parçacık hız modellerine göre değerlendirilmesi sonucunda elde edilen eşitliklerin iyi korelasyon ( $R^2=0,71-0,83$ ) sunduğu görülmektedir. Ayrıca parçacık hızı bileşenleri ve hava şoku değerleri literatürdeki 12 farklı tahmin yöntemlerine göre değerlendirilerek elde edilen saha sabitleri ve korelasyon katsayıları Çizelge 4.39'da sunulmuştur. Değerlendirme sonucunda yönlere bağlı olarak oldukça geniş bir aralıkta korelasyon katsayılı ( $R^2=0,31-0,87$ ) ilişkiler elde edilmiştir. Parçacık hız bileşenleri bazında ilişkiler incelendiğinde sonuçların diğer sahalardan çok daha istikrarlı olduğu söylenebilir.



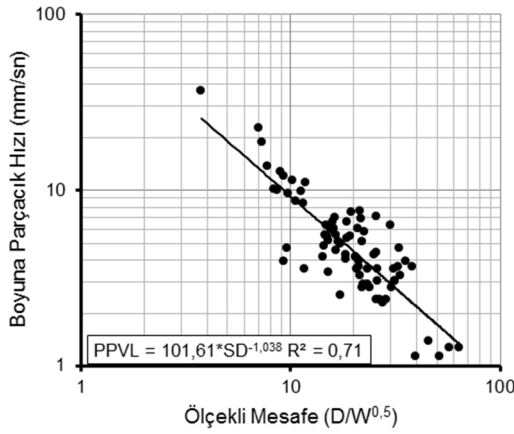
Şekil 4.64 Veri sınıflandırması sonucu oluşturulan yönler.



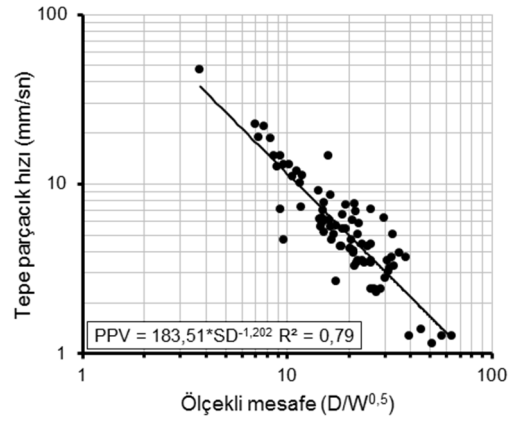
**Şekil 4.65** Enine tepe parçacık hızı- ölçekli mesafe ilişkisi.



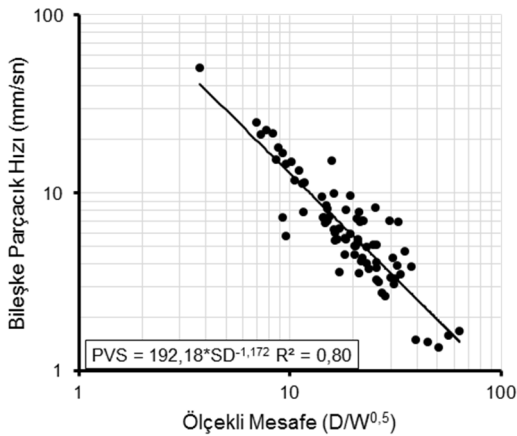
**Şekil 4.66** Düşey tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.



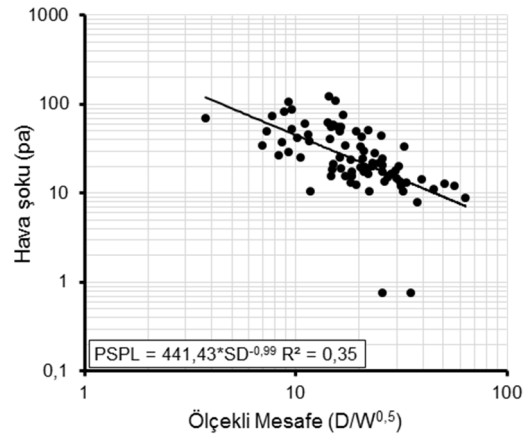
**Şekil 4.67** Boyuna tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.



**Şekil 4.68** Tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.



**Şekil 4.69** Bileşke parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.



**Şekil 4.70** Hava şoku-ölçekli mesafe ilişkisi.

**Çizelge 4.39** Parçacık hızı bileşenleri ve hava şoku değerlerinin literatürdeki tahmin yöntemlerine göre değerlendirilmesi

Eşitlik		$PPV = K \left( \frac{D}{\sqrt[3]{W}} \right)^\beta$					
1. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	176,28	1314,6	254,6	581,36	565,5	1556,6
	$\beta$	-1,086	-1,525	-1,068	-1,221	-1,25	-1,119
	R <sup>2</sup>	0,66	0,81	0,66	0,76	0,75	0,39
Eşitlik		$PPV = K \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^\beta$					
2. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	71,214	319,33	100,61	192,18	183,51	441,43
	$\beta$	-1,069	-1,451	-1,038	-1,172	-1,202	-0,99
	R <sup>2</sup>	0,73	0,83	0,71	0,8	0,79	0,35
Eşitlik		$PPV = K \left( \frac{W}{D^2} \right)^\beta$					
3. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	28,062	83,27	39,886	65,93	61,503	155,36
	$\beta$	1,3592	1,7966	1,307	1,46	-1,5005	1,1475
	R <sup>2</sup>	0,77	0,83	0,73	0,81	0,81	0,31
Eşitlik		$PPV = K \left( \frac{W^{\frac{2}{3}}}{D} \right)^\beta$					
4. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	28,06189	83,27035	39,88628	65,92992	61,50291	155,3606
	$\beta$	1,019396	1,34747	0,980213	1,094979	1,1254	0,8606
	R <sup>2</sup>	0,77	0,83	0,73	0,81	0,81	0,31
Eşitlik		$PPV = KD^\alpha W^\beta$					
5. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	5,477158	169,694	17,61387	66,56226	52,82164	27346,46
	$\alpha$	-0,885193	-1,405947	-0,913075	-1,095763	-1,112901	-1,28532
	$\beta$	0,880311	0,810857	0,753885	0,728813	0,76896	-0,06147
	R <sup>2</sup>	0,80	0,83	0,74	0,81	0,81	0,44
Eşitlik		$PPV = K \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^\beta e^{\alpha D}$					
6. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	167,0736	301,6506	155,9835	251,3069	251,2645	141,0506
	$\beta$	-1,598275	-1,415807	-1,31008	-1,338198	-1,39714	-0,2816
	$\alpha$	0,003346	-0,000223	0,001721	0,001052	0,001233	-0,00448
	R <sup>2</sup>	0,79	0,83	0,72	0,80	0,80	0,41
Eşitlik		$PPV = K \left( \frac{D}{\sqrt[3]{W}} \right)^\beta e^{\alpha D}$					
7. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	1593,139	2095,642	927,8476	1693,623	1810,97	331,3051
	$\beta$	-1,96521	-1,71906	-1,58684	-1,65273	-1,71932	-0,51417
	$\alpha$	0,004959	0,001103	0,00293	0,002438	0,00265	-0,0034
	R <sup>2</sup>	0,75	0,81	0,69	0,78	0,78	0,41

Çizelge 4.39 devamı

Eşitlik		$PPV = K \left( \frac{W}{3} \right)^\beta e^{\alpha D}$					
8. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	33,57043	73,49814	42,30383	65,35362	61,74705	98,75199
	$\beta$	1,726676	1,540684	1,4276	1,441971	1,508656	0,218401
	$\alpha$	0,001989	-0,00138	0,000653	-9,7E-05	4,4E-05	-0,00503
	R <sup>2</sup>	0,80	0,84	0,73	0,81	0,81	0,40
Eşitlik		$PPV = K \left( \frac{W^{\frac{2}{3}}}{D} \right)^\beta e^{\alpha D}$					
9. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	33,57043	73,49814	42,30383	65,35362	61,74705	98,75199
	$\beta$	1,295007	1,155513	1,0707	1,081478	1,131492	0,163801
	$\alpha$	0,001989	-0,001385	0,000653	-9,74E-05	4,4E-05	-0,00503
	R <sup>2</sup>	0,80	0,84	0,73	0,81	0,81	0,40
Eşitlik		$PPV = K \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^\beta e^{\alpha \frac{D}{W}}$					
10. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	64,00145	208,2221	68,77388	166,0766	150,5192	996,9509
	$\beta$	-1,015718	-1,239027	-0,849016	-1,099187	-1,10367	-1,39431
	$\alpha$	-0,021672	-0,086787	-0,077201	-0,029629	-0,040222	0,165345
	R <sup>2</sup>	0,73	0,84	0,71	0,80	0,79	0,36
Eşitlik		$PPV = n + K \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1}$					
11. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	89,85246	166,0333	122,9504	174,3745	162,2239	348,9519
	n	-1,547139	-3,77913	-1,545117	-2,761139	-2,908519	11,10186
	R <sup>2</sup>	0,80	0,87	0,81	0,87	0,86	0,27
	Eşitlik		$PPV = K \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{\alpha B \beta}$				
12. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	45,10558	276,6205	73,35802	141,1047	130,2761	411,752
	$\alpha$	-1,07088	-1,451862	-1,039243	-1,173093	-1,203631	-0,99046
	$\beta$	0,265659	0,083518	0,183737	0,179712	0,199304	0,040486
	R <sup>2</sup>	0,76	0,83	0,72	0,81	0,81	0,35

Yönlere bağlı olarak yeniden yapılan değerlendirme sonunda her iki yönde de anlamlı ve kabul edilebilir ( $R^2= 0,70-0,88$ ) ilişkiler elde edilmiştir (Çizelge 4.40, Şekil 4.71). Yön 1'e ait tepe parçacık hız denklemi Eşitlik 4.13'de verilmiştir.

$$PPV = 305,83 * SD^{-1,36} \quad (R^2=0,86). \quad [4.13]$$

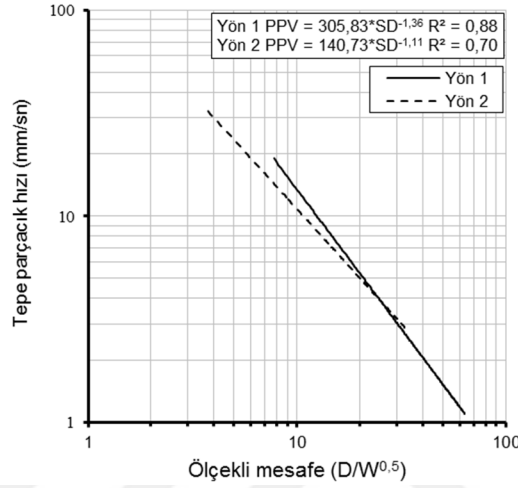
Yön 2'ye ait tepe parçacık hız denklemi Eşitlik 4.14'de sunulmuştur.

$$PPV = 140,73 * SD^{-1,11} \quad (R^2=0,70) \quad [4.14]$$



**Çizelge 4.40** Tüm atımlardan yararlanılarak oluşturulan yönlere ait parçacık hız bileşenleri-ölçekli mesafe ilişkisi ve saha sabitleri

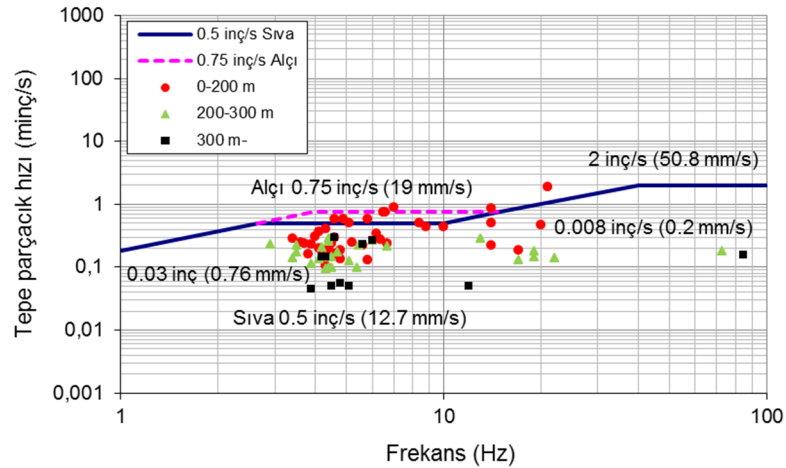
Yönler	Sabitler	$PPV = K\left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^\beta$				
		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV
1	K	123,3	674,52	170,76	323,92	305,83
	$\beta$	-1,202	-1,702	-1,193	-1,333	-1,36
	$R^2$	0,86	0,94	0,83	0,89	0,88
2	K	68,52	171,87	78,154	140,65	140,73
	$\beta$	-1,078	-1,069	-0,956	-1,064	-1,11
	$R^2$	0,67	0,73	0,59	0,69	0,70



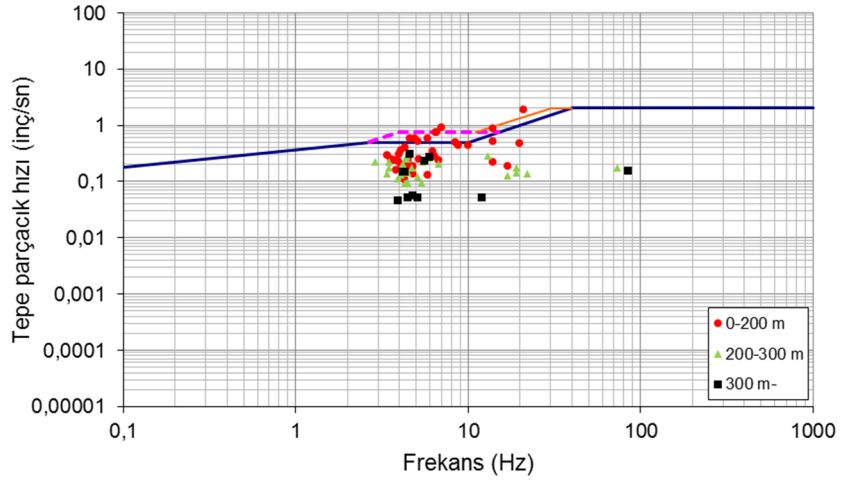
**Şekil 4.71** 2 farklı yöne ait tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.

#### 4.4.2.4 Yer sarsıntılarının bazı hasar kriterine göre değerlendirilmesi

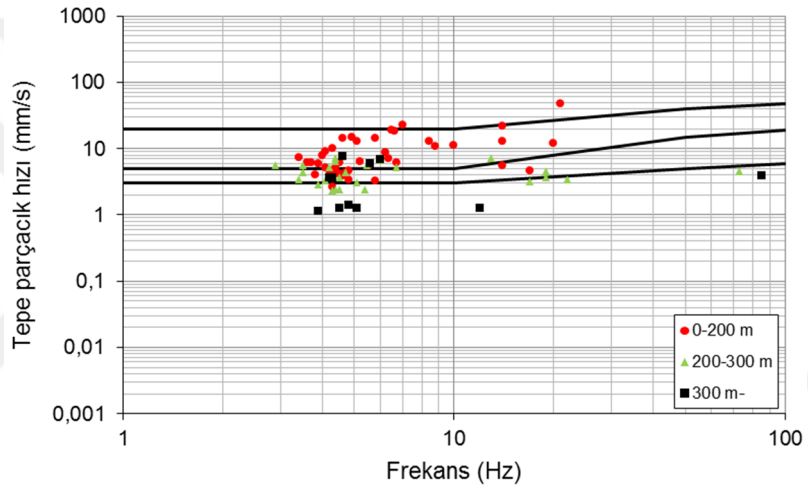
Bazı hasar kriterleri baz alınarak gerçekleştirilen değerlendirme sonucu Şekil 4.72-4.4.76'da gösterilmiştir. Değerlendirme için hem sarsıntı ölçer hem de ivmeölçer verileri birlikte kullanılmıştır. Şekil 4.72-4.76 incelendiğinde atımların ölçüm noktasındaki olası yapılara zarar verebilir nitelikte olmadığı görülmektedir.



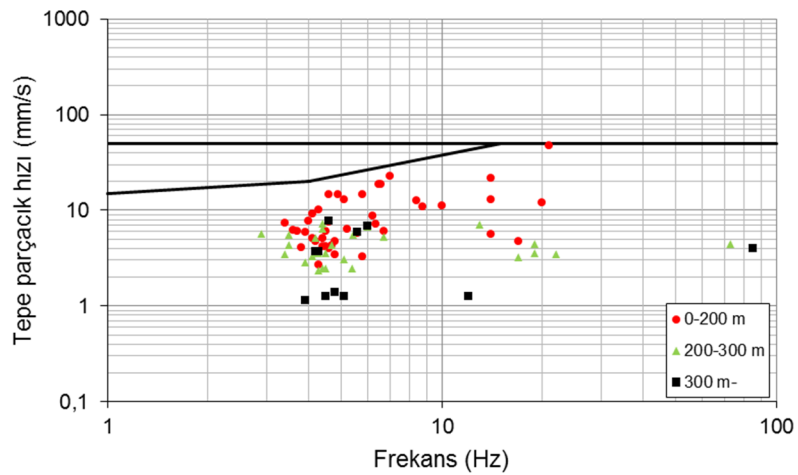
**Şekil 4.72** Tepe parçacık hızının USBM 8507 hasar kriterine (1980) göre değerlendirilmesi.



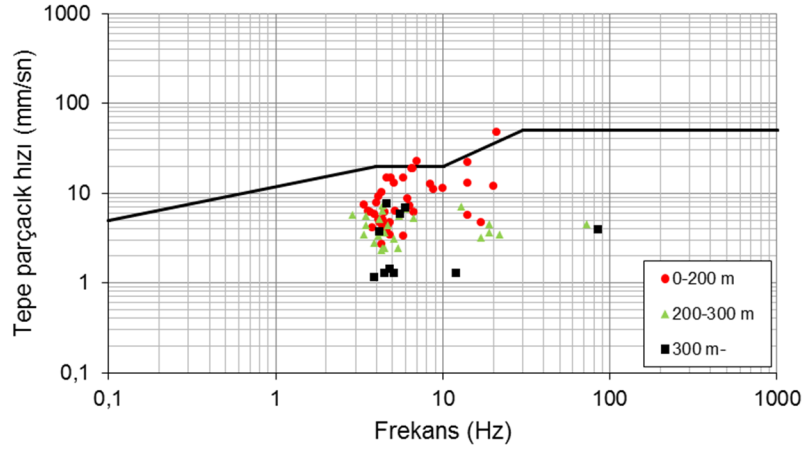
Şekil 4.73 Tepe parçacık hızının OSM hasar kriterine (1983) göre değerlendirilmesi.



Şekil 4.74 Tepe parçacık hızının Alman DIN 4150 hasar kriterine (1996) göre değerlendirilmesi.



Şekil 4.75 Tepe parçacık hızının İngiliz BS 7385 hasar kriterine (1993) göre değerlendirilmesi.



**Şekil 4.76** Tepe parçacık hızının Türkiye hasar kriterine (2008) göre değerlendirilmesi.

#### 4.5 TKİ Tunçbilek Kömür Açık İşletmesi

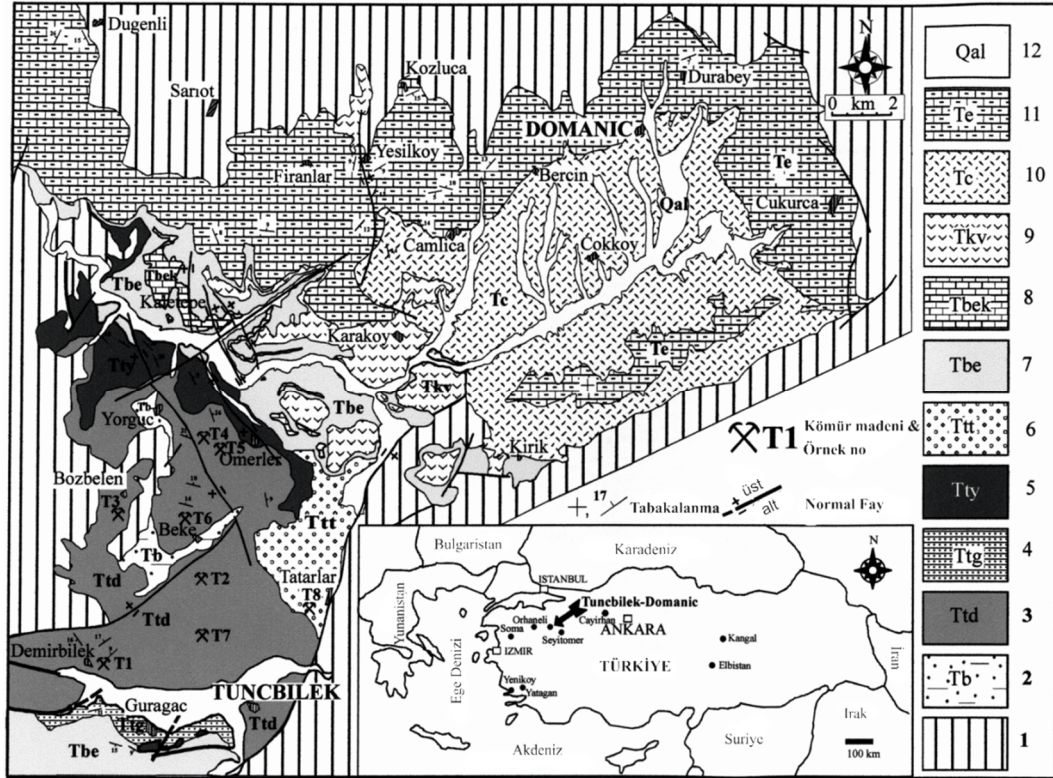
Tunçbilek Kömür Açık İşletmesi, Tavşanlı ilçesine 12 km, Kütahya il merkezine 64 km uzaklıkta yer almaktadır (Şekil 4.77). Sahada kömür üretimi kamyon-ekskavatör uygulamalarına dayalı açık işletme yöntemiyle yapılmaktadır. Yıllık 4.200.000 ton/yıl tüvenan linyit kömürü üretiminin yaklaşık % 80'ni açık işletme, %20'si ise yeraltı işletmelerinden gerçekleştirilmektedir. Sahadaki atımlar kömür üretimi amacıyla yapılmaktadır. Delme işlemlerinde 9" çaplı matkaplar kullanılmakta, basamak yüksekliğine bağlı olarak delik boyları 15-20 m, dilim kalınlıkları 4,5-8,5 m ve delikler arası mesafe 7-9 m aralığında değişmektedir. Patlayıcı madde olarak ANFO kullanılmaktadır.



**Şekil 4.77** Tunçbilek Kömür Açık İşletmesi'nin genel görünümü.

#### 4.5.1 Jeoloji

Tunçbilek havzasının temel kayaçlarını Paleozoyik yaşlı metamorfik şistler ile kristalize kireçtaşları ve mermerler oluşturmaktadır. Bu birimler üzerinde ise Kretase yaşlı ultrabazik kayaçlar ve radyolaritler yer almaktadır (Şekil 4.78). Baş (1983) 'e göre Paleosen'de granit sokulumu görülmekte olup, bu granit sokulumu tüm eski kayaçları kesmektedir. Havzanın güneyinde Yörgüç, Demirbilek ve Hamitabat dolaylarında yer alan kumtaşı-konglomera birimi kısmen gevşek kısmen de sıkı bir yapıya sahiptir. Birkaç milimetreden 5-6 cm'ye kadar değişen ve yuvarlak-yarı yuvarlak ve küt köşeli serpantin, kuvars ve kireçtaşı çakıllarından oluşmakta olup, orta kalınlıkta ve tabakaları belirgin bir yapı özelliğindedir. Marn birimi özellikle işletme sahasında geniş alanlar kaplamakta ve kalınlığı 400-450 metre civarındadır. Marn biriminin alt seviyelerinde ekonomik linyit oluşumları yer almaktadır. Bu birim genellikle marn, siltli marn, silttaşı, kiltası ve miltası ardalanmalarından oluşmakta olup, yer yer kumtaşı-konglomera ara katkıları da içermektedir (Taşkın, 1999) (Şekil 4.79).



Şekil 4.78 Çalışma alanının jeolojik haritası (Çelik, 1999).

\*(1) Neojen öncesi temel kaya birimleri (2) Beke Formasyonu (3) Tunçbilek üyesi Demirbilek kömür yatağı (4) Tunçbilek Formasyonu üyesi Güraç bölgesi (5) Tunçbilek Formasyonu üyesi Yeldeğirmen bölgesi (6) Tunçbilek Formasyonu üyesi Tatarlar bölgesi (7) Beşiktepe Formasyonu (8) Beşiktepe Formasyonu üyesi Kaletpe bölgesi (9) Karaköy volkanikleri (10) Çökköy Formasyonu (11) Emet Formasyonu (12) Alüvyon.

Kömür havzasını yapısal jeolojisini incelediğimizde; Neojende yapısal olarak önemli olabilecek fay ve kıvrım eksenlerine rastlanmamaktadır. Genelde havzanın belirli aralıklarla çökmesine bağlı olarak eğim atımlı normal faylar (gravite fayları) gelişmiştir. Bu gravitasyonel hareketler sonucunda havza içinde bazen senklinal yapılar gelişmiş olup kıvrım eksenlerinin kanat açıları

10-30° arasında değişmektedir. Sahanın tektoniğine yönelik jeofizik-rezistivite ve kömürlü zonun tavan kotuna göre yapılan yapı-kontur haritalarında fayların genelde kuzey-güney doğrultusunda gelişikleri gözlenmiştir.

Yaş	Formasyon	Kalınlık (m)	Litoloji	Açıklamalar
Pliyosen	Kuvaterner	0-50		Çakıl, silt, kil
	Emet	200		Gölsel kireçtaşı
				Gölsel kili kireçtaşı
	Çokköy	200		Bağlantılı nehir çökelleri (konglomera ve tüfit)
Karaköy volkanikleri	0-100		Bazalt ve andezit	
Miyosen	Beşiktepe	300		Beşiktepe formasyonu (Tbe): Kumtaşı ve tüfit
				Kaletepe üyesi (Tbek): Gölsel kireçtaşı
	Tunçbilek	300-400		Yel değirmeni üyesi (Tty): Gölsel kireçtaşı
				Tatarlar üyesi (Ttt): Yelpaze deltası konglomerası, kumtaşı ve çamurtaşı
Beke	0-150		Güragaç üyesi (Ttg): Delta konglomerası ve kumtaşı	
			Demirbilek üyesi (Ttd): Gölsel çökeller (çamurtaşı, kömür, kilitaşı ve marn)	
Neojen öncesi	Temel	?		Akarsu çökelleri (konglomera, kumtaşı ve çamurtaşı)
				Granit
				Ofiyolitik ve metamorfik kayalar

Şekil 4.79 Tunçbilek Linyit Havzasına Ait Stratigrafik kesit (Çelik ve Karayığit, 2004).

#### 4.5.2 Arazi çalışmaları

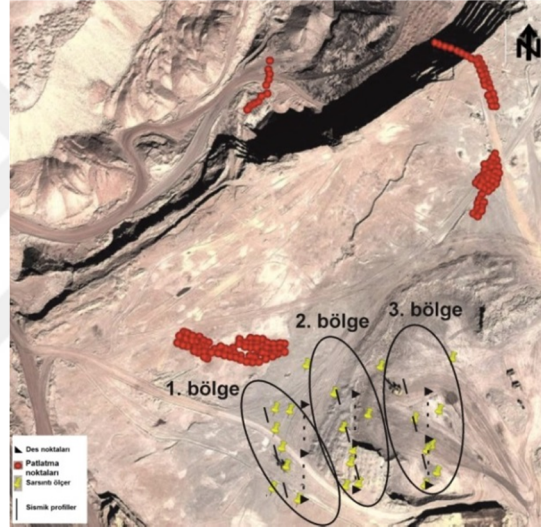
Çan Kömür Açık İşletmesine ait sismik profil (MASW ve kırılma), ivmeölçer, yer sarsıntısı ölçer, DES, sondaj ve patlatma lokasyonları yaklaşık olarak Şekil 4.80'de verilmiştir.

##### 4.5.2.1 Jeofizik ölçüm sonuçları

Sahada düşey elektrik sondaj (DES) ve sismik (çok kanallı yüzey dalgası analizi (MASW) ve kırılma yöntemleri) ölçümler yapılmış ve sonuçları Çizelge 4.41-4.43'de toplu olarak

sunulmuştur. DES çalışmaları 12 noktada Schlumberger elektrot dizilimi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde kullanılan AB/2 değerleri 50-260 m aralığında alınmıştır.

Arazide gerçekleştirilen sismik ölçüm çalışmaları kapsamında; elde edilen sismik hız ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması ve değerlerin doğruluğunun kontrolünü sağlamak amacıyla, MASW ve ReMi Yüzey Dalgası analiz yöntemleri olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmıştır. MASW yönteminde; alıcı olarak 12 adet 4,5 Hz P (düşey-bileşenli) jeofon kullanılmış ve jeofon aralıkları 4 m ve ofset uzaklıkları 8 m olarak alınmıştır. Her bir atış istasyonunda sinyal/gürültü oranını arttırmak için 8 kg'lık bir balyoz ve demir plaka kullanılarak ardarda 5 vuruş gerçekleştirilmiş ve veriler 1024 ms kayıt uzunluğu ve 250 µs örnekleme aralığı kriterleri baz alınarak kaydedilmiştir. Sismik kırılma yönteminde; MASW yönteminde olduğu gibi, alıcı olarak 12 adet 14 Hz P (düşey-bileşenli) jeofon kullanılmış ve 512 ms kayıt uzunluğu ve 125 µs kayıt aralığı kriterleri baz alınarak kaydedilmiştir.



Şekil 4.80 Çalışma alanı bölgeleri.

Çizelge 4.41 1. Bölge birimleri ve özellikleri

Formasyon	Alüvyon	Killi Kireçtaşı	Kil
Kalınlık (m)	3	13	-
Özdirenç ( $\Omega m$ )	3,46	48,2	0,11
S-dalga hızı ( $V_s$ , km/s) (MASW yöntemi)	0,355	0,659	0,87
P-dalga hızı ( $V_p$ , km/s) (Sismik kırılma yöntemi)	0,535	1,8	2,87
Yoğunluk ( $kg/m^3$ )	1,707	1,960	2,174
Dinamik Poisson oranı	0,107	0,423	0,449
$V_p/V_s$ (güvenlik katsayısı)	1,51	2,73	3,30
Dinamik Young modülü ( $E_d$ , GPa)	0,476	2,422	4,770
Dinamik rijitite modülü ( $G_d$ , GPa)	0,215	0,851	1,646
Dinamik hacim modülü ( $K_d$ , GPa)	0,202	5,215	15,713
Tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma$ , MPa)	1,19	45,26	183,45
Kaya kalite belirteci (RQD, %)	-	95,69	139,32
Doğrusal çatlak yoğunluğu ( $L$ , $m^{-1}$ )	-	14,60	18,24
Çatlak yoğunluğu ( $C$ , $m/m^2$ )	-	-	-
Süreksizlik indeksi	-	5,84	7,30
Kaya kütlesi oranı (RMR, %)	-	13,72	21,32
Q sınıflaması	-	0,0200	0,2344
Gözeneklilik (f, %)	46,06	24,83	16,66

**Çizelge 4.42** 2. Bölge birimleri ve özellikleri

Formasyon	Alüvyon	Killi Kireçtaşı	Kireçtaşı
Kalınlık (m)	3,5	53,5	-
Özdirenç ( $\Omega$ m)	2,79	11,4	775
S-dalga hızı ( $V_s$ , km/s) (MASW yöntemi)	0,467	0,676	1,2
P-dalga hızı ( $V_p$ , km/s) (Sismik kırılma yöntemi)	0,773	1,267	3,853
Yoğunluk ( $\text{kg/m}^3$ )	1,755	1,853	2,371
Dinamik Poisson oranı	0,213	0,301	0,446
$V_p/V_s$ (güvenlik katsayısı)	1,66	1,87	3,21
Dinamik Young modülü ( $E_d$ , GPa)	0,928	2,204	9,874
Dinamik rijitide modülü ( $G_d$ , GPa)	0,383	0,847	3,414
Dinamik hacim modülü ( $K_d$ , GPa)	0,538	1,846	30,641
Tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma$ , MPa)	3,58	15,78	30,641
Kaya kalite belirteci (RQD, %)	-	61,63	169,18
Doğrusal çatlak yoğunluğu ( $L$ , $\text{m}^{-1}$ )	-	11,76	20,73
Çatlak yoğunluğu ( $C$ , $\text{m/m}^2$ )	-	3,2	-
Süreksizlik indeksi	-	4,71	8,29
Kaya kütlesi oranı (RMR, %)	6,81	14,34	33,20
Q sınıflaması	0,0019	0,0058	2,2542
Gözeneklilik ( $f$ , %)	39,62	30,97	11,51

**Çizelge 4.43** 3. Bölge birimleri ve özellikleri

Formasyon	Alüvyon	Killi Kireçtaşı	Kil
Kalınlık (m)	2	35	-
Özdirenç ( $\Omega$ m)	3,07	6,3	1,63
S-dalga hızı ( $V_s$ , km/s) (MASW yöntemi)	0,381	0,464	0,92
P-dalga hızı ( $V_p$ , km/s) (Sismik kırılma yöntemi)	0,435	1,1	1,05
Yoğunluk ( $\text{kg/m}^3$ )	1,687	1,820	1,810
Dinamik Poisson oranı	-	0,392	-
$V_p/V_s$ (güvenlik katsayısı)	1,14	2,37	1,14
Dinamik Young modülü ( $E_d$ , GPa)	-	1,091	-
Dinamik rijitide modülü ( $G_d$ , GPa)	0,245	0,392	1,532
Dinamik hacim modülü ( $K_d$ , GPa)	-	1,680	-
Tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma$ , MPa)	0,64	10,33	8,98
Kaya kalite belirteci (RQD, %)	-	44,60	37,50
Doğrusal çatlak yoğunluğu ( $L$ , $\text{m}^{-1}$ )	-	10,35	9,75
Çatlak yoğunluğu ( $C$ , $\text{m/m}^2$ )	-	-	-
Süreksizlik indeksi	-	4,14	3,90
Kaya kütlesi oranı (RMR, %)	3,72	6,70	23,12
Q sınıflaması	0,0009	0,0040	0,0035
Gözeneklilik ( $f$ , %)	49,68	33,45	34,26

Çalışma alanına ait jeofiziksel ölçümler (MASW, sismik kırılma ve DES) aracılığıyla elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda her bir formasyon için birim tanımlaması, özdirenç ve sismik hız değerleri belirlenmiş ve ölçüm alanı jeolojik yapı itibarıyla 3 bölgeye ayrılmıştır (Şekil 4.80) (Çizelge 4.41-4.43). 1 numaralı bölge alüvyon, killi kireçtaşı, kil; 2 numaralı bölge alüvyon, killi kireçtaşı, kireçtaşı; 3 numaralı bölge alüvyon, killi kireçtaşı, kireçtaşı, kil birimlerinden oluşmaktadır.

#### 4.5.2.2 Kaya mekaniği arazi ve laboratuvar deney sonuçları

TKİ Tunçbilek Kömür Açık İşletmesi'nde bölgelerin kaya kütle sınıflaması (RMR) ve jeolojik dayanım indeksi (GSI)'ne göre değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge

4.44'de, kireçtaşı ve killi kireçtaşı birimleri üzerinde gerek arazi gerek laboratuvar da gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.45'de verilmiştir.

**Çizelge 4.44** TKİ Tunçbilek Kömür Açık İşletmesi kaya kütle sınıflaması (RMR) ve jeolojik dayanım indeksine (GSI) göre sınıflama sonuçları

Bölge	Formasyon	RMR (%)	GSI
1	Alüvyon Killi Kireçtaşı Kil	37,2	13-17
2	Alüvyon Killi Kireçtaşı Kireçtaşı	31,7	20-25
3	Alüvyon Killi Kireçtaşı Kil	24,8	25-30



**Çizelge 4.45** TKİ Tunçbilek Kömür Açık İşletmesi kaya mekaniği arazi ve laboratuvar deney sonuçları

Özellikler Kaya Birimi	Min. Tane Yoğunluğu (gr/cm <sup>3</sup> )	Toplam Gözeneklilik (%)	Kuru Birim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Nem Oranı (%)	Dolaylı Çekme Dayanımı (MPa)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	Ultrasonik P Dalga Hızı (m/s)	Elastisite Modülü (GPa)	Poisson Oranı	Nokta Yüğü Day. (Is(50)) (MPa)	Schmidt Sertliği
Kireçtaşı	2,31 (2,09-2,67) (2,11) (2,01-2,21)	11,36 (3,11-22,15)	2,1 (1,71-2,59)	4,65 (1,88-7,49)	2,31 ±1,22 (1,03-4,24)	40,72 ±21,5 (18,16-74,68)	2394,13 (1002,23- 3513,51)	-	-	1,85 ±0,98 (0,83-3,39)	39,2 ±5,44 (32-46)
Killi kireçtaşı	2,16 (2,13-2,2) (2,01) (1,99-2,03)	13,01 (7,29-19,04)	1,91 (1,84-1,98)	5,74 (4,6-7,05)	2,05 ±0,88 (0,64-3,89)	36 ±15,53 (11,27-68,55)	2740,63 (1929,46- 4234,69)	-	-	1,64 ±0,71 (0,51-3,12)	39,47 ±6,16 (30-48)

#### 4.5.2.3 Parçacık hızı ve hava şoku ölçüm sonuçları ve değerlendirilmesi

TKİ GLİ Tunçbilek Kömür İşletmesi'nde öngörülen arazi ölçümlerini gerçekleştirmek için gerekli hazırlıklar tamamlanmış ve 17 Ağustos-14 Eylül 2014 tarihleri ve 10 Mayıs-15 Mayıs 2015 tarihleri arasında 31 adet atım (Çizelge 4.46) 6 adet patlatma sarsıntı ölçer kullanılarak değişik yön ve mesafelerde ölçülmüştür (Şekil 4.81). Bu ölçümlerde 137 patlatma sarsıntı verisi üç eksenli (boyuna, enine ve düşey) olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.47).

**Çizelge 4.46** Tunçbilek Kömür Açık İşletmesi'nde yapılan atımlar

Atım No	Delik Sayısı	Sıra Sayısı	Ortalama Dilim Kalınlığı (m)	Ortalama Delikler Arası Mesafe (m)	Ortalama Delik Boyu (m)	Ortalama Sıkılama Miktarı (m)	Toplam Patlayıcı Madde Miktarı (kgAnfo)	Gecikme Başına Maksimum Patlayıcı Miktarı (kgAnfo)
1	17	3	4,7	7,38	15	8,05	3740	660
2	9	2	4,3	7,7	15	8,11	1980	660
3	1	1	4,75	7,32	15	8	220	220
4	1	1	5,3	7,8	15	8	220	220
5	1	1	3,8	7,45	15	8	220	220
6	1	1	4,5	7,5	15	8	220	220
7	1	1	5,1	7,3	15	8	220	220
8	1	1	4,5	7,2	15	8	220	220
9	6	1	6,5	7,43	20	6,1	220	220
10	5	1	6,4	7,34	20	6,1	1800	900
11	8	1	7,2	7,5	15	7,08	1500	900
12	7	1	6,22	8,28	15	6,08	1800	450
13	21	2	7,66	8,1	15	6,1	1575	675
14	4	1	8,5	7,7	20	7,1	4725	675
15	3	1	6,8	8,15	20	8,4	990	330
16	1	1	7	7,5	20	8,9	330	330
17	4	1	7,56	7,45	20	7,1	1320	330
18	3	1	8,03	8,3	20	8,4	990	330
19	4	1	8,4	8,95	20	7,1	1320	330
20	3	1	8,1	8,1	20	8,5	990	330
21	4	1	7,3	8,05	20	7,2	1320	330
22	3	1	6,92	8,3	20	8,4	990	330
23	4	1	7,3	7,76	20	7,5	1320	330
24	5	1	7,9	7,2	20	7,2	1650	330
25	4	1	7,92	7,06	20	7,6	1190	330
26	3	1	7,05	7,35	20	8,1	990	330
27	3	1	7	7,55	20	8,1	990	330
28	4	1	7,4	8,1	20	8,2	1320	330
29	4	1	9,25	8,4	20	7,6	1320	330
30	4	1	9	8,1	20	8,3	1060	330
31	5	1	7	7,3	20	7,3	1650	330

**Çizelge 4.47** Tunçbilek Kömür Açık İşletmesi'nde yapılan atımlara ait sarsıntı verileri

Atım No	Cihaz kodu	Ölçüm mesafesi (R, m)	SD <sup>0,5</sup>	SD <sup>0,33</sup>	Parçacık hızı ve frekansı								Deplasman			İvme			Hava şoku (PSPL)		
					Enine (PPVT)		Düşey (PPVV)		Boyuna (PPVL)		Bileşke (PVS)	Maksimum (PPV)	Enine (PPVT)	Düşey (PPVV)	Boyuna (PPVL)	Enine (PPVT)	Düşey (PPVV)	Boyuna (PPVL)	pa(L)	Hz	
					mm/sn	Hz	mm/sn	Hz	mm/sn	Hz	mm/sn	mm/sn	Hz	mm	mm	mm	mm/sn <sup>2</sup>	mm/sn <sup>2</sup>	mm/sn <sup>2</sup>		
1	B1	91	3,55	10,71	36,1	8,7	67,7	27	43,6	12	77,6	67,7	27	0,740	1,370	0,873	0,6760	1,4300	1,5100	-	5,9
	B2	120	4,67	14,08	26,2	8	36,3	6,2	23,2	6,1	41,9	36,3	6,2	0,627	1,080	0,649	0,2650	0,1860	0,2120	478	73
	B3	171	6,64	20,03	13,3	8,5	21,3	5,1	16,3	6	22,4	21,3	5,1	0,251	0,630	0,468	0,1060	0,1330	0,1060	476	9,5
	B4	218	8,48	25,56	7,75	6,2	13,3	4,3	14,6	4,2	16,2	14,6	6,2	0,214	0,504	0,484	0,1190	0,0795	0,1720	147	8,1
	B6	147	5,74	17,30	13,1	6,2	17,9	7,5	17,8	5,4	22,1	17,9	7,5	0,379	0,605	0,480	0,1190	0,1190	0,1060	124	28
	B5	193	7,53	22,71	10	5,6	17,3	4,7	12,1	4,4	17,7	17,3	4,7	0,249	0,551	0,480	0,0663	0,0928	0,0663	63,3	12
2	B1	84	3,28	9,88	48,8	7,3	52,7	10	54,5	7,4	70,3	54,5	7,4	0,832	0,882	1,310	0,3980	0,9280	1,6200	468	64
	B2	113	4,39	13,25	25	7,8	25,4	8	13,7	12	29,3	25,4	8	0,532	0,461	0,281	0,2390	0,2520	0,1330	479	6,9
	B3	163	6,35	19,14	11	7,9	12,1	7,2	8,51	7	13,8	12,1	7,2	0,210	0,194	0,171	0,9280	0,9280	0,0795	348	12
	B4	210	8,17	24,63	9,65	7,5	6,22	6	8,38	16	11,5	9,65	7,5	0,192	0,130	0,176	0,1720	0,1590	0,2120	353	11
	B6	139	5,41	16,32	13,5	6,9	12,3	8	9,65	7,2	14,3	13,5	6,9	0,295	0,238	0,217	0,1460	0,1190	0,0928	111	64
	B5	185	7,21	21,75	6,48	6,6	7,75	6,5	5,33	7,9	10,7	7,75	6,5	0,151	0,194	0,146	0,0663	0,0663	0,0530	59,8	>100
3	B1	170	11,44	28,61	5,59	5,2	3,56	5,4	7,11	5,8	8,76	7,11	5,8	0,138	0,117	0,148	0,0398	0,0398	0,0530	12,5	4,4
	B2	190	12,79	32,01	7,87	8	4,06	6	9,4	7,9	10,2	9,4	7,9	0,191	0,107	0,184	0,0530	0,0265	0,0663	10,8	11
	B3	238	16,07	40,20	5,71	7,2	2,79	7,3	3,43	5,9	6,44	5,71	7,2	0,125	0,0707	0,0996	0,0265	0,0265	0,0265	10	9,7
	B4	285	19,23	48,11	5,97	7,3	3,56	7,2	5,08	6,2	7,85	5,97	7,3	0,147	0,0761	0,122	0,0398	0,0265	0,0265	21	5,8
	B6	261	17,60	44,04	2,92	9,5	2,03	7,1	2,67	5,7	3,54	2,92	9,5	0,0628	0,0404	0,0547	0,0265	0,0265	0,0398	8	9,8
	B5	298	20,09	50,25	3,3	4,9	3,3	7,2	2,92	7,5	4,73	3,3	7,2	0,0946	0,0897	0,0696	0,0265	0,0265	0,0265	9	8,5
4	B1	164	11,07	27,69	5,08	4,3	3,94	5,4	5,46	5,9	6,41	5,46	5,9	0,1340	0,117	0,0935	0,0398	0,0265	0,0398	12,5	4,2
	B2	185	12,45	31,14	5,59	8,3	4,44	6,2	5,84	8,4	6,27	5,84	8,4	0,1380	0,109	0,109	0,0398	0,0265	0,0398	12,3	8,3
	B3	234	15,74	39,38	3,3	5,3	2,29	5,2	1,9	5,6	3,67	3,3	5,3	0,0849	0,0737	0,5999	0,0265	0,0265	0,0265	15,3	13
	B4	281	18,91	47,31	3,56	6	2,92	6,6	3,17	6,6	4,6	3,56	6	0,1150	0,0700	0,0742	0,0265	0,0265	0,0265	15,3	9,8
	B6	255	17,22	43,07	3,3	3,9	4,06	5	2,03	7,8	4,24	4,06	5	0,0954	0,114	0,0489	0,0265	0,0265	0,0265	8,25	11
	B5	292	19,71	49,31	2,67	4,5	2,79	4,7	2,41	5,6	3,68	2,79	4,7	0,087	0,0892	0,0667	0,0265	0,0265	0,0265	9,5	8,4
5	B1	157	10,58	26,46	5,33	6,3	4,32	9,1	9,02	9,5	10,1	9,02	9,5	0,124	0,0939	0,168	0,0398	0,0398	0,0663	15	6,5
	B2	178	11,98	29,96	7,49	7,6	4,19	8	11,3	7,8	12,3	11,3	7,8	0,195	0,0863	0,228	0,0398	0,0398	0,0663	13,5	3,3
	B3	227	15,29	38,25	7,11	7,5	3,94	7,6	4,32	6,5	8,14	7,11	7,5	0,149	0,0784	0,120	0,0398	0,0265	0,0265	9,25	12
	B4	274	18,47	46,21	8	7,4	3,3	6,5	6,22	6	10,1	8	7,4	0,173	0,0784	0,150	0,0530	0,0265	0,0398	5,5	13
	B6	248	16,72	41,83	4,06	5,6	2,67	4,4	2,67	7,6	4,1	4,06	5,6	0,112	0,0974	0,0577	0,0265	0,0265	0,0265	11	10
	B5	285	19,21	48,07	3,43	5,6	3,81	7,5	3,17	7,3	5,2	3,81	7,5	0,087	0,0839	0,0715	0,0265	0,0265	0,0398	9,25	9,3
6	B1	230	15,47	38,71	3,56	12	4,19	12	2,92	12	4,48	4,19	12	0,0523	0,0535	0,0500	0,0398	0,0398	0,0398	5,25	21
	B2	263	17,72	44,34	3,3	11	4,06	9,3	3,17	12	4,68	4,06	9,3	0,060	0,0515	0,0556	0,0398	0,0398	0,0398	6	24
	B3	299	20,15	50,39	3,17	8,1	2,67	8,8	2,67	9,1	3,49	3,17	8,1	0,0660	0,0473	0,0426	0,0265	0,0265	0,0265	4	9,1

Çizelge 4.47 devamı

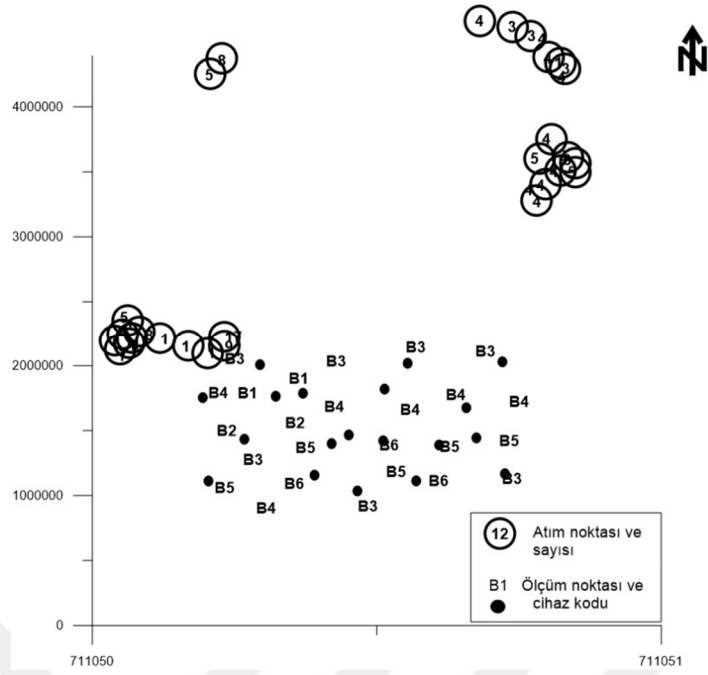
	B6	349	23,54	58,88	4,06	14	4,32	7,9	3,94	7,3	4,85	4,32	7,9	0,0672	0,0843	0,0737	0,0398	0,0398	0,0398	5,75	12
	B5	381	25,71	64,32	2,29	10	2,41	11	2,29	10	3,06	2,41	11	0,0407	0,0317	0,0353	0,0265	0,0265	0,0265	5,25	8,5
	B1	220	14,84	37,11	4,19	5,7	2,79	6,6	1,9	9	4,62	4,19	5,7	0,130	0,0791	0,0625	0,0265	0,0265	0,0265	9,75	8,5
	B2	253	17,09	42,74	5,33	5,4	3,94	4,8	2,67	7,4	6,02	5,33	5,4	0,145	0,120	0,0651	0,0398	0,0265	0,0265	9,25	7,5
7	B3	290	19,52	48,83	4,7	5,4	3,43	8,1	2,92	7,5	5,75	4,7	5,4	0,129	0,0889	0,0920	0,0265	0,0265	0,0265	7,25	3,6
	B6	340	22,90	57,28	13,5	7,3	5,21	9	5,33	6,1	13,6	13,5	7,3	0,289	0,141	0,128	0,0928	0,0398	0,0265	17,3	6,6
	B5	372	25,07	62,72	5,84	4,7	4,57	10	3,94	8,7	6,32	5,84	4,7	0,137	0,0884	0,0674	0,0398	0,0398	0,0265	13,8	9,3
	B1	211	14,24	35,62	4,19	5,9	2,29	5,9	2,54	8	4,78	4,19	5,9	0,122	0,0577	0,0699	0,0265	0,0265	0,0265	7,75	9,3
	B2	245	16,50	41,27	3,68	4,3	2,79	7,4	2,67	7,6	4,21	3,68	4,3	0,130	0,0821	0,0559	0,0265	0,0265	0,0265	8	7,9
8	B3	281	18,95	47,40	4,06	5,8	3,81	7,9	3,56	7,4	5,62	4,06	5,8	0,101	0,0751	0,0766	0,0265	0,0265	0,0265	8,75	10
	B6	331	22,30	55,78	15,5	7,3	6,35	5,6	6,86	6,5	15,8	15,5	7,3	0,323	0,124	0,168	0,0928	0,0398	0,0398	15,8	9,7
	B5	363	24,47	61,22	5,71	7,6	4,7	9,8	4,19	7,4	6,99	5,71	7,6	0,152	0,0748	0,0895	0,0398	0,0398	0,0398	11	10
	B1	459	15,30	48,62	2,41	8,7	2,79	9,8	3,68	7,8	5,01	3,68	7,8	0,0648	0,0410	0,0654	0,0265	0,0398	0,0398	5	6,8
	B2	509	16,95	53,89	3,05	7,5	3,56	8,1	2,92	7,8	4,26	3,56	8,1	0,0544	0,0616	0,0603	0,0265	0,0265	0,0265	4,5	12
9	B3	558	18,59	59,08	2,41	6	2,41	6,3	1,65	9,8	3,36	2,41	6,3	0,0569	0,0628	0,0412	0,0265	0,0265	0,0265	4	5
	B6	528	17,61	55,96	4,32	8,3	2,79	9,7	2,79	8	5,42	4,32	8,3	0,0809	0,0484	0,0590	0,0398	0,0265	0,0265	5	6,4
	B5	574	19,13	60,81	3,05	8,1	1,4	9,8	1,78	10	3,3	3,05	8,1	0,0592	0,0251	0,0277	0,0265	0,0265	0,0265	4,25	6,8
	B1	442	14,74	46,87	2,79	7	1,9	5,8	1,27	11	2,91	2,79	7	0,0783	0,0518	0,0306	0,0265	0,0265	0,0265	9	6,2
	B2	492	16,40	52,14	4,06	5,8	2,54	5,1	1,65	8,1	4,31	4,06	5,8	0,0895	0,0688	0,0349	0,0265	0,0265	0,0265	8	7,2
10	B3	541	18,03	57,32	3,3	6,2	2,29	8	2,16	6,2	4,02	3,3	6,2	0,0801	0,0546	0,0553	0,0265	0,0265	0,0265	9,5	5,4
	B6	519	17,29	54,95	7,11	8,1	2,79	11	3,94	7,9	7,36	7,11	8,1	0,138	0,0799	0,0726	0,0530	0,0398	0,0265	10	8,1
	B5	564	18,81	59,78	3,43	10	2,79	11	2,03	10	3,71	3,43	10	0,0525	0,0522	0,0331	0,0265	0,0265	0,0265	9,25	8
	B3	276	12,99	36,71	10,3	7,4	8,64	7,3	4,44	7,5	11	10,3	7,4	0,207	0,183	0,109	0,0530	0,0530	0,0398	15,8	5,9
11	B4	304	14,32	40,47	13,6	8,4	9,52	7,8	10,8	6,4	14,9	13,6	8,4	0,268	0,187	0,233	0,0795	0,0530	0,0663	6,25	7,9
	B6	161	7,60	21,47	6,35	5,8	4,57	9,1	6,73	8	7,33	6,73	8	0,157	0,0991	0,134	0,0398	0,0398	0,0530	20,5	6,6
	B5	232	10,91	30,83	3,94	4,7	6,48	7,8	5,84	7,8	7,04	6,48	7,8	0,117	0,132	0,129	0,0398	0,0398	0,0530	16	6,1
	B3	255	9,81	29,71	5,46	4,5	6,73	4,2	4,95	7,6	6,99	6,73	4,2	0,155	0,161	0,113	0,0398	0,0398	0,0398	18,3	27
12	B4	284	10,93	33,09	8	10	8,25	8	5,59	9,5	9,59	8,25	8	0,157	0,145	0,140	0,0663	0,0530	0,0530	5	27
	B6	145	5,58	16,89	8	12	5,71	5	7,75	16	8,54	8	12	0,106	0,159	0,188	0,0795	0,0663	0,1190	15,5	6
	B5	218	8,39	25,40	9,4	8,5	10	4,3	11,8	9,1	12,9	11,8	9,1	0,166	0,210	0,282	0,0795	0,0795	0,0795	19,3	8,7
	B3	306	11,78	32,42	5,46	6,6	4,57	8,4	5,59	3,7	7,21	5,59	3,7	0,155	0,161	0,113	0,0398	0,0398	0,0398	20	13
13	B4	333	12,82	35,28	7,37	5,5	5,46	7,3	7,62	6,7	8,99	7,62	6,7	0,190	0,130	0,163	0,0398	0,0398	0,0398	9,25	11
	B6	188	7,24	19,92	7,75	6,8	6,35	8,8	8,64	5,5	11,3	8,64	5,5	0,161	0,101	0,172	0,0530	0,0398	0,0530	19	6,6
	B5	254	9,78	26,91	9,91	6,3	3,94	6,6	9,27	6,2	13,3	9,91	6,3	0,229	0,109	0,236	0,6663	0,0398	0,0663	18,8	13
	B4	544	29,95	80,26	1,90	7,4	2,29	5	2,41	7	3,55	2,41	7	0,0430	0,0726	0,056	0,0133	0,0265	0,0265	8,25	8,7
14	B5	592	32,59	87,34	1,52	4,7	1,78	4,8	1,02	16	2,02	1,78	4,8	0,0472	0,0541	0,0257	0,0265	0,0265	0,0265	7,25	9,1
	B6	645	35,51	95,16	1,52	4,3	1,14	5	1,27	11	1,77	1,52	4,3	0,0531	0,0332	0,0475	0,0265	0,0265	0,0265	5,25	5,3
	B3	499	27,47	73,62	1,78	14	3,3	6,4	2,29	7,9	3,6	3,30	6,4	0,0459	0,122	0,0453	0,0265	0,0265	0,0265	12,8	13
15	B4	565	31,10	83,36	1,78	10	3,43	5,8	3,81	5,7	4,7	3,81	5,7	0,0402	0,106	0,103	0,0265	0,0265	0,0265	12,8	15
	B5	614	33,80	90,59	1,02	5,6	1,78	3,7	1,9	5,9	2,37	1,90	5,9	0,0296	0,0887	0,0536	0,0265	0,0265	0,0265	10,8	6,6

Çizelge 4.47 devamı

16	B6	668	36,77	98,55	1,52	8,5	1,65	4,4	1,78	8,7	1,93	1,78	8,7	0,0300	0,0674	0,050	0,0265	0,0265	0,0265	6,25	16
	B3	515	28,35	75,98	1,27	19	1,4	16	1,27	16	1,9	1,40	16	0,0355	0,0355	0,0214	0,0265	0,0265	0,0265	3,75	4
	B4	581	31,98	85,72	1,27	10	1,14	5,9	1,27	10	1,61	1,27	10	0,0253	0,0301	0,0372	0,0265	0,0265	0,0265	7	4,1
	B5	631	34,74	93,09	0,635	17	0,762	16	0,762	14	0,889	0,76	16	0,0151	0,0209	0,0144	0,0265	0,0265	0,0265	4	4,1
17	B6	685	37,71	101,06	0,508	26	0,762	24	0,889	10	0,907	0,89	10	0,0105	0,0239	0,018	0,0265	0,0265	0,0265	6,75	4
	B3	521	28,68	76,86	1,52	8	3,05	4,4	1,65	6,1	3,24	3,05	4,4	0,0398	0,102	0,0477	0,0265	0,0398	0,0265	6,5	11
	B4	587	32,31	86,60	1,65	9,5	2,54	4,3	2,92	5,6	3,54	2,92	5,6	0,0324	0,0938	0,0855	0,0331	0,0265	0,0265	14,3	12
	B5	637	35,07	93,98	0,635	5,6	2,03	4,4	1,52	5,1	2,07	2,03	4,4	0,0303	0,0739	0,0537	0,0265	0,0265	0,0265	7	12
18	B6	691	38,04	101,95	0,889	9,3	1,9	4,3	1,4	4,1	1,99	1,90	4,3	0,0175	0,0724	0,0568	0,0265	0,0265	0,0265	5,25	12
	B3	525	28,90	77,46	2,92	6,5	3,43	4,3	1,65	4,7	3,81	3,43	4,3	0,0944	0,127	0,0553	0,0398	0,0265	0,0265	7,25	7,5
	B4	592	32,59	87,34	2,41	5,1	3,81	4,5	3,43	5	4,79	3,81	4,5	0,0859	0,133	0,123	0,0265	0,0265	0,0265	10,5	6,6
	B5	643	35,40	94,86	1,27	4,8	3,05	4,5	1,9	4,3	3,07	3,05	4,5	0,0422	0,107	0,0711	0,0265	0,0265	0,0265	7	8,3
19	B6	697	38,37	102,83	1,02	5,2	2,29	4,2	1,65	4,6	2,33	2,29	4,2	0,0311	0,0864	0,0628	0,0265	0,0265	0,0265	6	9,7
	B3	503	27,69	74,21	1,9	9,3	2,29	4,9	1,78	4,1	2,82	2,29	4,9	0,0331	0,0857	0,070	0,0265	0,0265	0,0265	4,5	12
	B4	563	30,99	83,06	1,4	5,2	2,54	3,8	2,54	4,4	3,19	2,54	4,4	0,0422	0,102	0,0871	0,0133	0,0133	0,0265	4,5	7
	B5	616	33,91	90,88	1,14	6,2	2,16	4	2,16	4,1	2,63	2,16	4,1	0,0469	0,0874	0,0816	0,0265	0,0265	0,0265	4,25	13
20	B6	666	36,66	98,26	2,16	7,9	2,16	3,9	5,08	6,9	5,34	5,08	6,9	0,0409	0,0902	0,115	0,0265	0,0265	0,0398	3,5	9
	B3	477	26,26	70,37	2,16	7	3,94	4,6	2,41	5,4	4,16	3,94	4,6	0,0523	0,144	0,0664	0,0265	0,0265	0,0265	13,5	7,6
	B4	546	30,06	80,55	2,41	5,1	3,43	4,4	3,94	4,3	4,62	3,94	4,3	0,0745	0,123	0,139	0,0133	0,0265	0,0265	7,75	7,2
	B5	600	33,03	88,52	1,4	4,3	2,67	3,9	2,79	4,4	3,17	2,79	4,4	0,0610	0,110	0,0968	0,0265	0,0265	0,0265	11	7,2
21	B6	649	35,73	95,75	2,41	4,8	2,16	3,5	3,94	4,5	4,19	3,94	4,5	0,0930	0,101	0,132	0,0265	0,0265	0,0265	9,25	5,2
	B3	452	24,88	66,69	2,79	6,6	5,21	5,3	3,17	4,9	5,26	5,21	5,3	0,0817	0,183	0,103	0,0265	0,0265	0,0265	14,3	7,4
	B4	521	28,68	76,86	2,54	4,7	4,44	4,1	4,7	4,8	5,52	4,70	4,8	0,0788	0,183	0,183	0,0265	0,0265	0,0265	9,75	7,1
	B5	575	31,65	84,83	1,9	4,5	3,94	3,8	3,56	4,4	3,98	3,94	3,8	0,0794	0,169	0,135	0,0265	0,0265	0,0265	11,8	6,6
22	B6	624	34,35	92,06	3,56	6,5	3,56	3,7	5,21	3,8	5,63	5,21	3,8	0,1130	0,154	0,218	0,0265	0,0265	0,0398	8,25	8,8
	B3	430	23,67	63,44	3,43	6,2	6,6	4,9	3,05	5,5	6,92	6,60	4,9	0,0865	0,206	0,103	0,0265	0,0380	0,0265	5,75	4,9
	B4	499	27,47	73,62	4,32	5,4	5,46	4,6	5,71	4,6	6,96	5,71	4,6	0,1210	0,179	0,193	0,0265	0,0265	0,0265	5,25	4,9
	B5	553	30,44	81,59	2,54	5,2	3,3	3,7	3,94	4,6	4,23	3,94	4,6	0,0783	0,142	0,141	0,0265	0,0265	0,0265	6,25	4,8
23	B6	601	33,08	88,67	3,81	5,4	3,17	4,4	5,84	4,5	6,31	5,84	4,5	0,114	0,131	0,189	0,0265	0,0265	0,0265	4,25	4,7
	B3	295	16,24	43,52	8,13	12	7,62	11	4,95	28	9,44	8,13	12	0,132	0,0931	0,0884	0,1190	0,1060	0,1190	13,3	7,3
	B4	372	20,48	54,88	4,32	6,9	2,29	12	3,68	5,7	5,01	4,32	6,9	0,098	0,600	0,079	0,0398	0,3980	0,0530	11,3	7,6
	B5	422	23,23	62,26	3,94	7,4	2,29	19	4,19	8,1	5,66	4,19	8,1	0,0746	0,0518	0,034	0,0500	0,0398	0,0663	7,75	7,9
24	B6	478	26,31	70,52	4,19	8,5	2,79	10	5,08	5,1	6,97	5,08	5,1	0,103	0,0713	0,158	0,0398	0,0265	0,0398	5,75	43
	B3	265	14,59	39,10	6,35	8,4	5,33	10	5,33	7,6	7,55	6,35	8,4	0,106	0,117	0,109	0,0928	0,0795	0,0795	9,25	8,5
	B4	342	18,83	50,46	4,57	4,3	3,05	6,5	3,81	6,3	5,53	4,57	4,3	0,125	0,0644	0,0969	0,0398	0,0265	0,0398	13	5,2
	B5	392	21,58	57,83	3,81	4,8	2,79	6,3	3,68	18	4,66	3,81	4,8	0,104	0,0644	0,0779	0,0530	0,0530	0,0530	5,25	5,3
25	B6	448	24,66	66,09	5,71	5,3	1,65	8,7	4,7	3,2	7,22	5,71	5,3	0,159	0,0663	0,196	0,0398	0,0265	0,0398	16,3	37
	B3	262	14,42	38,65	10,3	9,8	10,8	7,5	7,87	21	12,1	10,80	7,5	0,154	0,204	0,153	0,0928	0,1330	0,1460	16	3,7
	B4	339	18,66	50,01	6,6	5,2	3,17	7,3	6,48	6,6	8,81	6,60	5,2	0,186	0,106	0,143	0,0530	0,0265	0,0398	12,8	7,1
	B5	389	21,41	57,39	7,37	5	3,43	5,4	6,73	6,4	7,72	7,37	5	0,154	0,112	0,101	0,0663	0,0398	0,0795	8,25	7,9

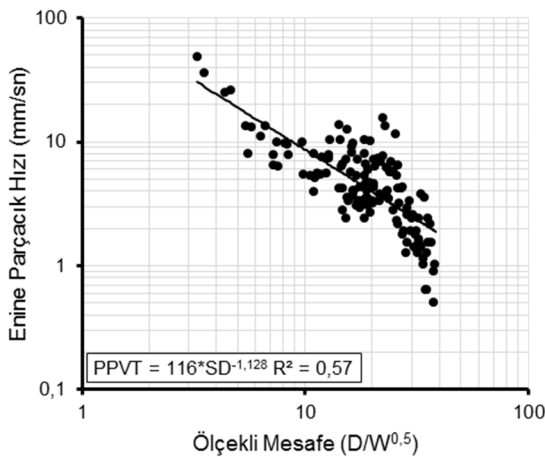
Çizelge 4.47 devamı

	B6	445	24,50	65,65	6,86	4,8	2,79	20	5,97	3,3	8,25	6,86	4,8	0,209	0,0902	0,265	0,0398	0,0530	0,0398	6,5	8,1
	B3	295	16,24	43,52	9,02	7,2	6,86	6,5	6,48	8	11	9,02	7,2	0,197	0,151	0,125	0,0663	0,0398	0,0663	22,5	7,5
26	B4	372	20,48	54,88	7,11	5,6	2,67	9,7	5,46	6,7	8,21	7,11	5,6	0,197	0,0665	0,128	0,0398	0,0398	0,0398	21,5	11
	B5	422	23,23	62,26	6,22	5,3	2,92	5,4	3,56	5,4	7,22	6,22	5,3	0,159	0,0929	0,092	0,0530	0,0398	0,0265	15,3	11
	B6	478	26,31	70,52	6,48	5	1,52	5,2	6,6	6	8,88	6,60	6	0,162	0,0502	0,210	0,0398	0,0265	0,0398	11,3	11
	B3	281	15,47	41,46	12,6	9,8	14,2	5,7	15,5	6,9	17,4	15,50	6,9	0,222	0,342	0,293	0,1590	0,1460	0,1460	31,3	7,8
27	B4	358	19,71	52,82	10,2	5,5	6,98	5,5	8,89	5,8	12,9	10,20	5,5	0,266	0,158	0,243	0,0795	0,0398	0,0530	21,8	12
	B5	408	22,46	60,19	7,62	5,2	6,86	5,6	7,87	5,9	9,05	7,87	5,9	0,206	0,167	0,146	0,0795	0,0530	0,0795	18,3	7,9
	B6	463	25,49	68,31	11,6	6	4,44	16	6,22	5,3	12	11,60	6	0,232	0,134	0,157	0,0530	0,0398	0,0530	13	8
	B3	300	16,51	44,26	9,78	6,8	9,91	9,5	8,51	8	9,99	9,91	9,5	0,127	0,201	0,149	0,0795	0,0663	0,0663	28,3	8,8
28	B4	368	20,26	54,29	4,57	5,4	6,6	5,3	5,84	4,6	6,7	6,60	5,3	0,138	0,164	0,171	0,0265	0,0265	0,0265	17	5,2
	B5	422	23,23	62,26	3,81	5,2	4,83	4,8	2,67	6	5,44	4,83	4,8	0,106	0,157	0,107	0,0398	0,0265	0,0265	16	5
	B6	470	25,87	69,34	5,33	5,2	4,7	3,8	6,98	4,7	8,26	6,98	4,7	0,155	0,165	0,216	0,0530	0,0398	0,0663	15	12
	B3	269	14,81	39,69	6,6	8,8	9,02	10	7,49	12	11	9,02	10	0,123	0,151	0,100	0,0663	0,0663	0,0663	15,3	12
29	B4	337	18,55	49,72	5,33	4,4	3,56	6,1	5,33	8	6,36	5,33	8	0,142	0,0882	0,111	0,0398	0,0265	0,0398	11	5,8
	B5	391	21,52	57,69	3,3	5,1	3,56	6,5	3,05	7,2	4,18	3,56	6,5	0,103	0,0967	0,0699	0,0265	0,0265	0,0265	10,8	13
	B6	439	24,17	64,77	5,71	5,7	3,43	7,5	6,35	8,5	7,94	6,35	8,5	0,176	0,0895	0,119	0,0398	0,0265	0,0530	14,3	11
	B3	337	18,55	49,72	10,4	6,1	9,91	6,4	8,13	5,6	11,7	10,40	6,1	0,231	0,259	0,203	0,0795	0,0663	0,0663	17	13
30	B4	398	21,91	58,72	6,86	5,1	8	5,4	5,84	3,4	10,1	8,00	5,4	0,208	0,234	0,191	0,0398	0,0398	0,0398	12	3,5
	B6	493	27,14	72,73	4,19	5	4,19	4,7	3,68	5,8	4,46	4,19	5	0,121	0,139	0,090	0,0398	0,0265	0,0398	11	9,5
	B3	375	20,64	55,33	6,35	7,3	13,1	4,7	8,64	4,8	13,5	13,10	4,7	0,155	0,402	0,236	0,0530	0,0663	0,0530	16,3	10
31	B4	436	24,00	64,32	5,84	5,8	11,2	4,7	8,89	4,9	14,9	11,20	4,7	0,172	0,359	0,269	0,0398	0,0398	0,0398	10,8	8,8
	B5	482	26,53	71,11	3,17	4,7	5,97	4,4	4,44	4,1	6,2	5,97	4,4	0,107	0,218	0,148	0,0265	0,0265	0,0265	11,5	6,5
	B6	533	29,34	78,64	3,3	4,9	5,46	4,3	3,94	5,6	5,87	5,46	4,3	0,108	0,209	0,147	0,0398	0,0398	0,0398	10,8	3,3

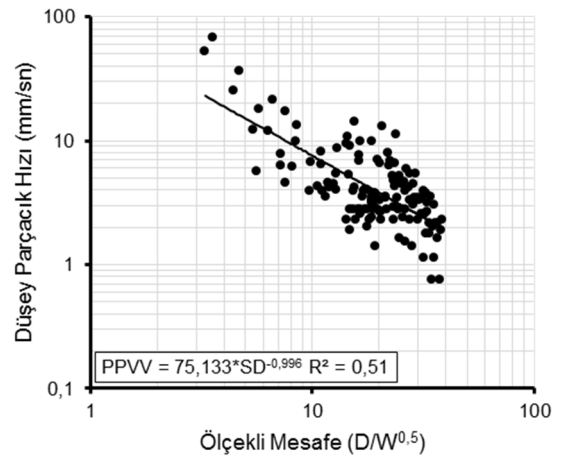


**Şekil 4.81** Tunçbilek Kömür Açık İşletmesi atım ve ölçüm noktaları.

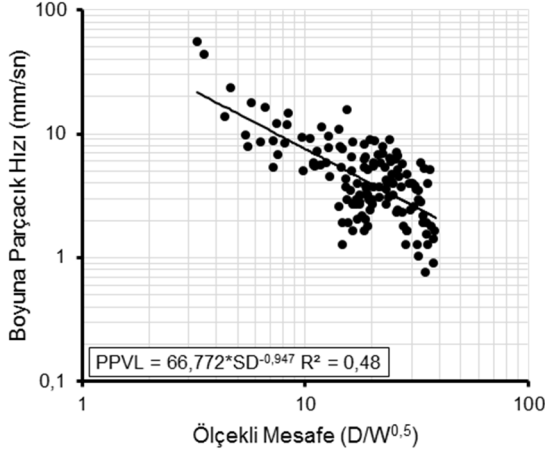
Ölçüm sonuçlarından elde edilen tüm parçacık tüm parçacık hızı bileşenleri (enine, düşey, boyuna, tepe ve bileşke) ve hava şoku Eşitlik 2.19'da verilen parçacık hızı modeline göre değerlendirilmiş ve regresyon analizi yardımıyla saha sabitleri ( $K$  ve  $\beta$ ) belirlenmiştir (Şekil 4.82-4.87). Ayrıca parçacık hızı bileşenleri ve hava şoku değerleri literatürdeki 12 farklı tahmin yöntemlerine göre değerlendirilerek elde edilen saha sabitleri ve korelasyon katsayıları Çizelge 4.48'de sunulmuştur. Şekil 4.82-4.87 ve Çizelge 4.48 birlikte değerlendirildiğinde TKİ Tunçbilek Kömür Açık İşletmesi için enine, düşey, boyuna ve tepe parçacık hız bileşenlerinin parçacık hız modellerine göre değerlendirilmesi sonucunda elde edilen eşitliklerin orta korelasyon ( $R^2=0.45-0.68$ ) sunduğu görülmektedir. Bu sahada ölçümler 6 yönde alınmıştır (Şekil 4.88).



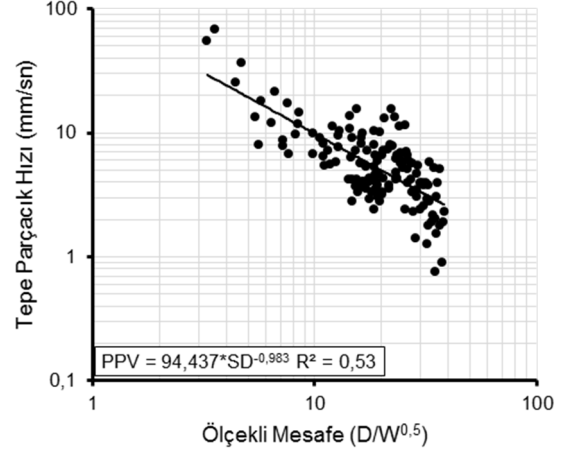
**Şekil 4.82** Enine tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.



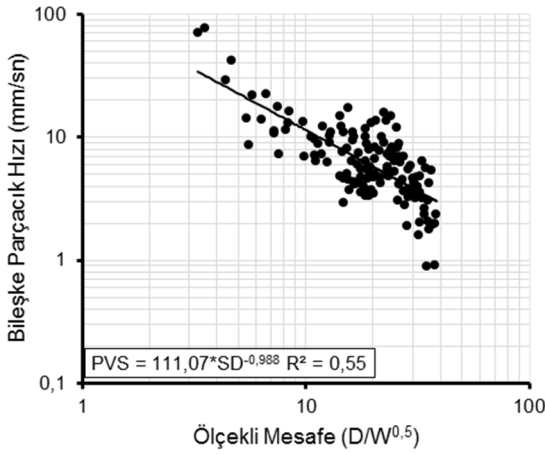
**Şekil 4.83** Düşey tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.



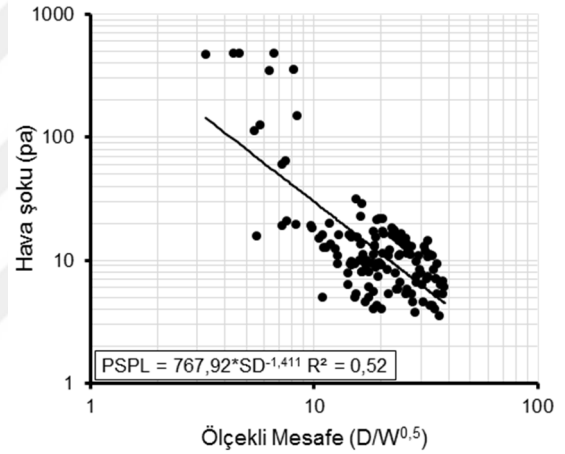
Şekil 4.84 Boyuna tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.



Şekil 4.85 Tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.



Şekil 4.86 Bileşke parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.



Şekil 4.87 Hava şoku-ölçekli mesafe ilişkisi.

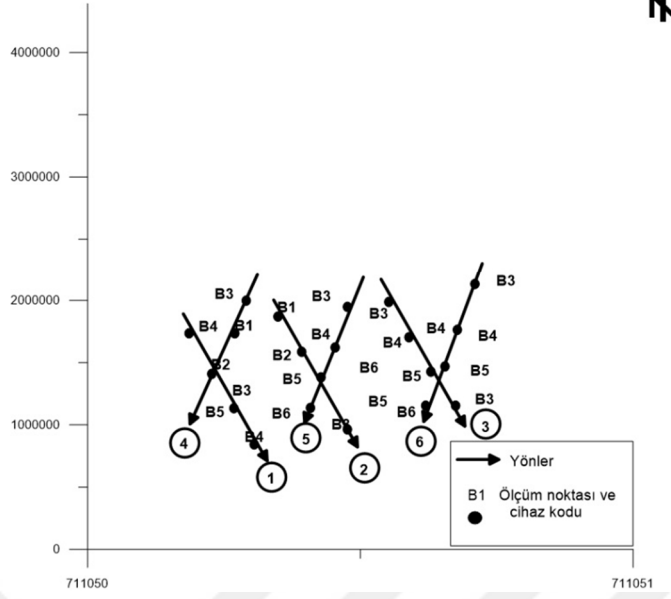
Çizelge 4.48 Parçacık hızı bileşenleri ve hava şoku değerlerinin literatürdeki tahmin yöntemlerine göre değerlendirilmesi

1. Yöntem	Eşitlik	$PPV = K \left( \frac{D}{\sqrt[3]{W}} \right)^\beta$					
		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	479,2772	247,6447	217,2231	375,5367	316,9014	4008,9
	$\beta$	-1,207992	-1,051816	-1,011131	-1,052273	-1,046015	-1,473
	R <sup>2</sup>	0,59	0,51	0,49	0,55	0,54	0,51
2. Yöntem	Eşitlik	$PPV = K \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^\beta$					
		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	115,9973	75,13309	66,772	111,072	94,437	767,92
	$\beta$	-1,127607	-0,996467	-0,946554	-0,988324	-0,982562	-1,411
	R <sup>2</sup>	0,57	0,51	0,48	0,55	0,53	0,52
3. Yöntem	Eşitlik	$PPV = K \left( \frac{W}{D^2} \right)^\beta$					
		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	31,72583	24,46639	22,58739	36,00686	30,82344	155,43
	$\beta$	1,37175	1,228629	1,154532	1,209117	1,202196	1,2541
	R <sup>2</sup>	0,55	0,50	0,45	0,52	0,51	0,52



Çizelge 4.48 devamı

	Eşitlik	$PPV = K \left(\frac{W^{\frac{2}{3}}}{D}\right)^{\beta}$					
4. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	31,72583	24,46639	22,58739	36,00686	30,82344	155,43
	$\beta$	1,028812	0,921472	0,865899	0,906838	0,901647	1,3135
	$R^2$	0,55	0,50	0,45	0,52	0,51	0,52
	Eşitlik	$PPV = KD^{\alpha}W^{\beta}$					
5. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	754,2754	125,809	260,4059	357,3484	299,109	346,46
	$\alpha$	-1,22677	-1,023771	-1,018639	-1,050217	-1,043622	-1,2832
	$\beta$	0,344285	0,437789	0,313702	0,357149	0,35611	0,16147
	$R^2$	0,59	0,52	0,49	0,55	0,54	0,49
	Eşitlik	$PPV = K \left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^{\beta} e^{\alpha D}$					
6. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	53,96706	67,50927	49,12838	76,0851	66,75656	165,13
	$\beta$	-0,589325	-0,921199	-0,7307	-0,722187	-0,738504	-0,639371
	$\alpha$	-0,002085	-0,000292	-0,000836	-0,001031	-0,000946	-0,000318
	$R^2$	0,62	0,52	0,49	0,56	0,55	0,51
	Eşitlik	$PPV = K \left(\frac{D}{\sqrt[3]{W}}\right)^{\beta} e^{\alpha D}$					
7. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	126,9782	361,7373	192,3694	265,2816	244,9539	349,513
	$\beta$	-0,689284	-1,199791	-0,96368	-0,916544	-0,94545	-0,91672
	$\alpha$	-0,001796	0,000512	-0,000164	-0,00047	-0,000348	-0,000196
	$R^2$	0,53	0,52	0,49	0,56	0,54	0,51
	Eşitlik	$PPV = K \left(\frac{W}{D^2}\right)^{\beta} e^{\alpha D}$					
8. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	28,11488	23,439	21,14811	33,45191	28,7362	23,4596
	$\beta$	0,665111	0,977753	0,769485	0,778693	0,792139	0,613258
	$\alpha$	-0,002347	-0,000833	-0,001279	-0,00143	-0,001362	-0,001134
	$R^2$	0,52	0,51	0,48	0,56	0,55	0,49
	Eşitlik	$PPV = K \left(\frac{W^{\frac{2}{3}}}{D}\right)^{\beta} e^{\alpha D}$					
9. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	28,11488	23,439	21,14811	33,45191	28,7362	20,13845
	$\beta$	0,498833	0,733315	0,577114	0,58402	0,594104	0,517113
	$\alpha$	-0,002347	-0,000833	-0,001279	-0,00143	-0,001362	-0,001132
	$R^2$	0,63	0,51	0,48	0,56	0,55	0,51
	Eşitlik	$PPV = K \left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^{\beta} e^{\alpha \frac{D}{W}}$					
10. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	89,66248	156,6492	128,802	147,7397	131,6816	124,8743
	$\beta$	-0,974995	-1,431904	-1,335911	-1,157387	-1,179551	-1,135493
	$\alpha$	-0,16377	0,467274	0,417824	0,181424	0,211392	0,162453
	$R^2$	0,58	0,53	0,49	0,55	0,54	0,52
	Eşitlik	$PPV = n + K \left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^{-1}$					
11. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	106,5649	141,5198	110,7543	1360,988	141,9349	137,7812
	n	-0,890335	-3,207754	-1,397663	-54,45361	-1,882967	-1,45663
	$R^2$	0,68	0,67	0,66	0,52	0,67	0,64
	Eşitlik	$PPV = K \left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^{\alpha} B^{\beta}$					
12. Yöntem		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV	PSPL
	K	97,78652	45,34335	39,38631	80,83883	69,22631	59,3647
	$\alpha$	-1,163871	-1,103701	-1,058644	-1,05579	-1,048518	-1,032549
	$\beta$	0,149658	0,442541	0,462581	0,278426	0,272195	0,213716
	$R^2$	0,58	0,53	0,49	0,55	0,54	0,51



**Şekil 4.88** Veri sınıflandırması sonucu oluşturulan yönler.

Değerlendirme sonucunda yönler bağılı olarak oldukça geniş bir aralıkta korelasyon katsayılı ( $R^2=0,06-0,85$ ) ilişkiler elde edilmiştir (Çizelge 4.49) (Şekil 4.89). Parçacık hız bileşenleri bazında ilişkiler incelendiğinde sonuçların istikrarsız olduğu söylenebilir.

Yön 1'den Yön 6'ya kadar tüm yönler için tepe parçacık hız denklemleri sırasıyla Eşitlik 4.15-4.20'de verilmiştir.

$$PPV = 250,93 * SD^{-1,383} \quad (R^2=0,85) \quad [4.15]$$

$$PPV = 82,737 * SD^{-1,087} \quad (R^2=0,78) \quad [4.16]$$

$$PPV = 19,693 * SD^{-0,398} \quad (R^2=0,063) \quad [4.17]$$

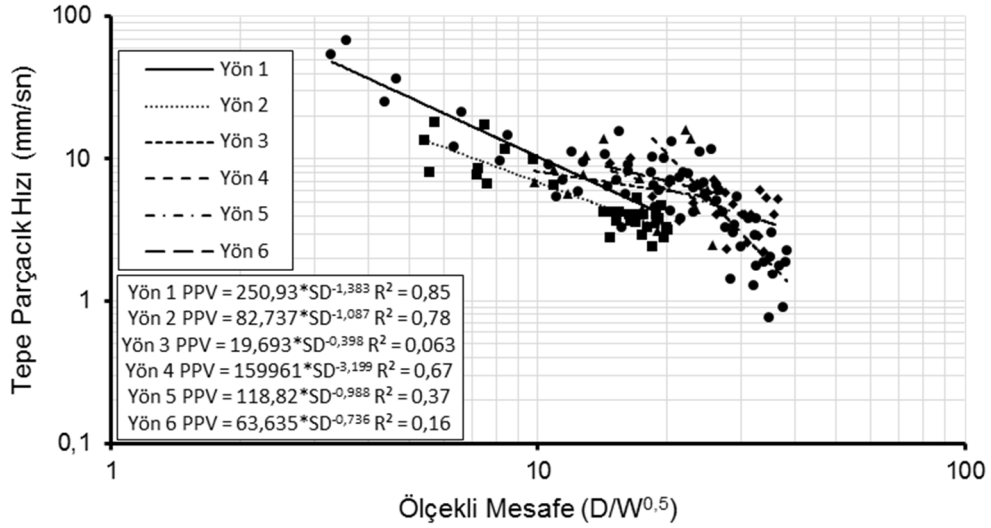
$$PPV = 159961 * SD^{-3,199} \quad (R^2=0,67) \quad [4.18]$$

$$PPV = 118,82 * SD^{-0,988} \quad (R^2=0,37) \quad [4.19]$$

$$PPV = 63,635 * SD^{-0,736} \quad (R^2=0,16) \quad [4.20]$$

**Çizelge 4.49** Tüm atımlardan yararlanılarak oluşturulan yönlere ait parçacık hız bileşenleri-ölçekli mesafe ilişkisi ve saha sabitleri

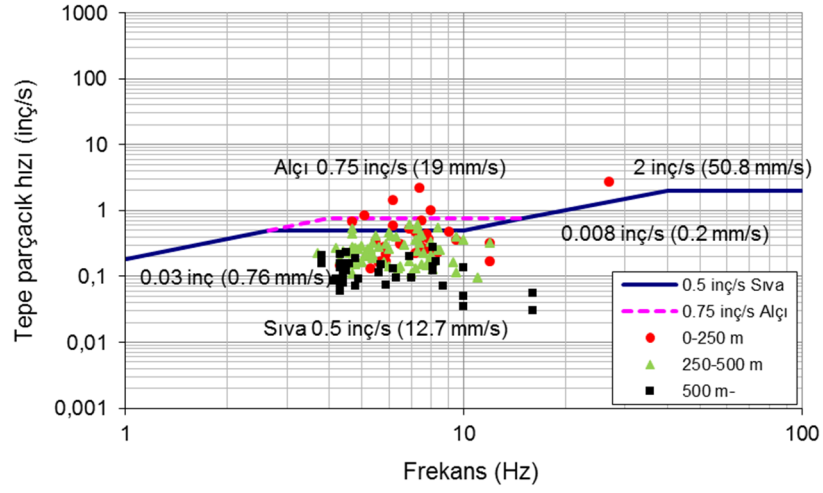
Yönlere	Sabitler	$PPV = K \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^\beta$				
		PPVT	PPVV	PPVL	PVS	PPV
1	K	140,57	445,4	173,68	282,63	250,93
	$\beta$	-1,21	-1,807	-1,317	-1,37	-1,383
	$R^2$	0,83	0,91	0,78	0,83	0,85
2	K	59,885	68,013	11,93	92,476	82,737
	$\beta$	-0,988	-1,09	-1,317	-1,062	-1,087
	$R^2$	0,76	0,64	0,72	0,74	0,78
3	K	18,453	38,367	24,461	26,823	19,693
	$\beta$	-0,381	-0,754	-0,613	-0,463	-0,398
	$R^2$	0,05	0,21	0,17	0,09	0,063
4	K	413048	222667	50594	254089	159961
	$\beta$	-3,608	-3,308	-2,929	-3,295	-3,199
	$R^2$	0,79	0,67	0,64	0,70	0,67
5	K	623,02	359,45	38,014	140,98	118,82
	$\beta$	-1,621	-1,38	-0,682	-1,004	-0,988
	$R^2$	0,56	0,62	0,15	0,42	0,37
6	K	59,941	4178	36,685	55,07	63,635
	$\beta$	-0,725	-2,315	-0,615	-0,627	-0,736
	$R^2$	0,16	0,55	0,11	0,14	0,16



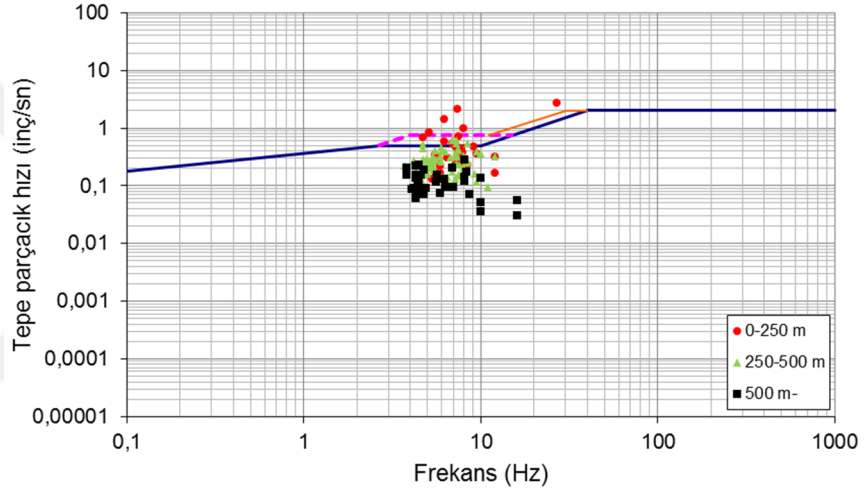
**Şekil 4.89** 6 farklı yöne ait tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.

#### 4.4.2.5 Yer sarsıntılarının bazı hasar kriterine göre değerlendirilmesi

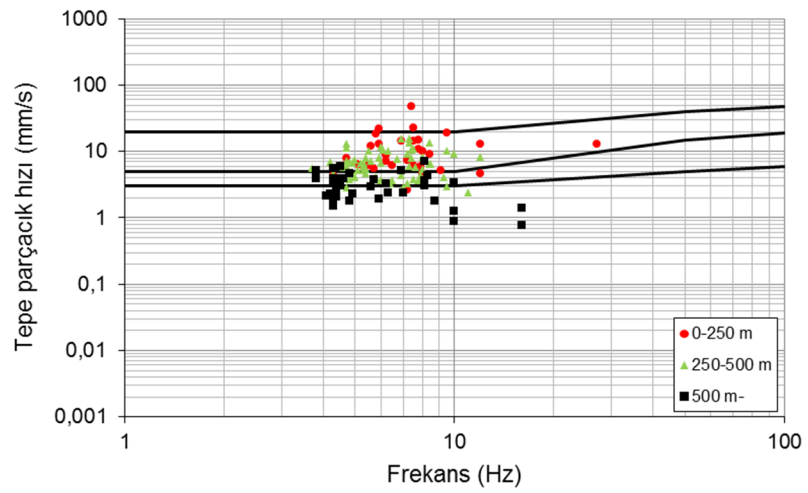
Bazı hasar kriterleri baz alınarak gerçekleştirilen değerlendirme sonucu Şekil 4.90-4.94'de gösterilmiştir. Değerlendirme için sarsıntı ölçer verileri kullanılmıştır. Şekil 4.90-4.94 incelendiğinde atımların 250 m nin altındaki ölçüm noktasındaki olası yapılara zarar verebilir nitelikte olduğu görülmektedir.



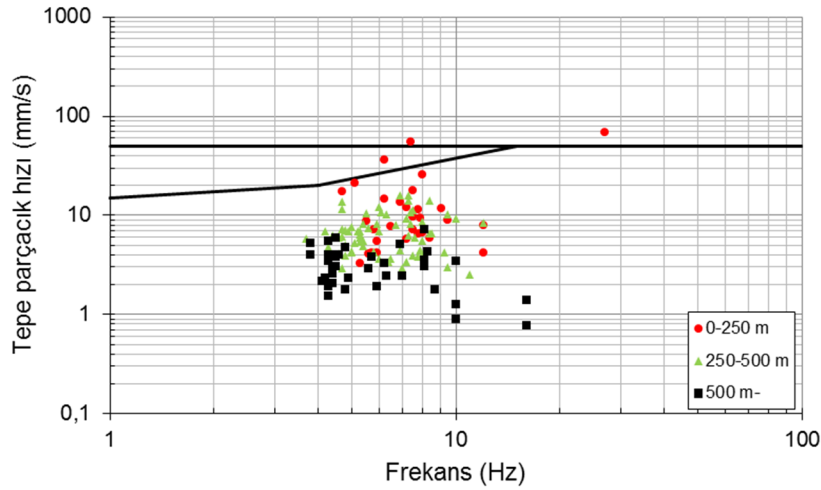
**Şekil 4.90** Tepe parçacık hızının USBM 8507 hasar kriterine (1980) göre değerlendirilmesi.



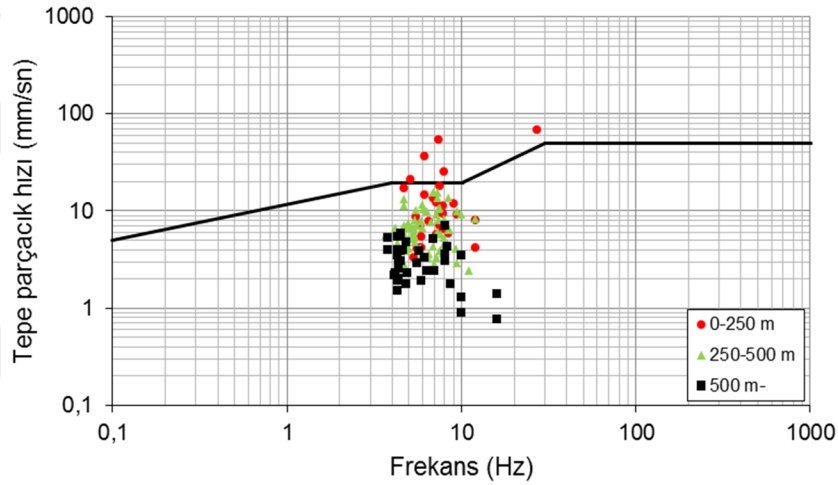
**Şekil 4.91** Tepe parçacık hızının OSM hasar kriterine (1983) göre değerlendirilmesi.



**Şekil 4.92** Tepe parçacık hızının Alman DIN 4150 hasar kriterine (1996) göre değerlendirilmesi.



**Şekil 4.93** Tepe parçacık hızının İngiliz BS 7385 hasar kriterine (1993) göre değerlendirilmesi.



**Şekil 4.94** Tepe parçacık hızının Türkiye hasar kriterine (2008) göre değerlendirilmesi.

#### 4.6 Yer Sarsıntısı Ölçüm Sonuçlarının Genel Değerlendirilmesi

Yapılan her bir saha ölçümleri genel bir yaklaşım elde etmek amacıyla saha ayrımı gözetmeksizin bir arada değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Bu amaçla öncelikle saha değerlendirmelerinde ön plana çıkan saha sabitleri ile RMR (%) arasındaki ilişkilerin geneli kapsayıp kapsamadığı ve bir matematiksel modele oturtulup oturtulamayacağı araştırılmıştır. Sahalardaki patlatma parametreleri ile kaya kütle özellikleri sürekli değişken yapıdadır. Bu değişimleri ortaya koyabilen ve doğrudan ölçülebilen veriler baz alınarak tüm bölgelerin birlikte değerlendirildiği ANFİS, genetik algoritma ve çoklu regresyon analiz modelleri oluşturulmuş ve sonuçları aşağıda sunulmuştur.

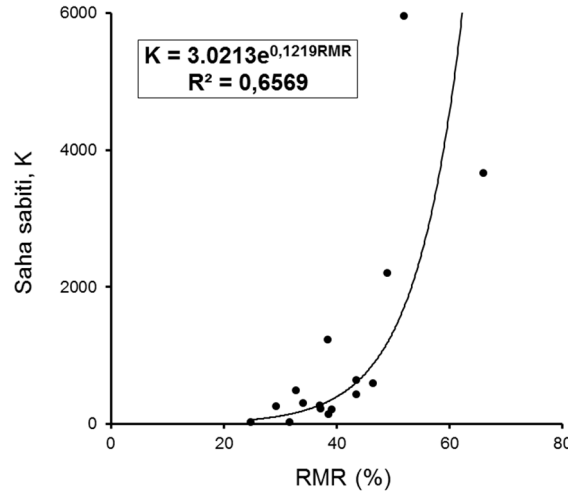
##### 4.6.1 Saha sabitlerinin RMR (%) ile ilişkilerinin incelenmesi

5 farklı açık işletmede yapılan patlatmalara yönelik arazi ölçüm ve gözlem çalışmalarında elde edilen veriler yönler bazında değerlendirilmiş ve her bir ocak için verilerin toplu değerlendirilmesinden daha anlamlı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Bu sonuç yönlere bağlı

olarak ortam özellikleri farklılıklar gösterebileceği ve bunun yer sarsıntılarının ilerleme ve sönmüleme özellikleri üzerinde etkili olabileceği tezini kanıtlamıştır. Bununla birlikte tüm ocaklarda bu durumun anlamlı bir sonucunun olup olmayacağı araştırılmış ve farklı işletmelerde arazi ölçümleri yapılarak parçacık hızı modellenenabilirliğinin yapıp yapılamayacağını ortaya koymak amacıyla önemli kaya kütle sınıflama parametrelerinden RMR (%) ile saha sabitleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Bu amaçla her bir işletme için elde edilen veriler bölgeler bazında sınıflandırılmış (Çizelge 4.50) ve saha sabitleri (K ve  $\beta$ ) ile ilişkileri araştırılmıştır (Şekil 4.95-4.96).

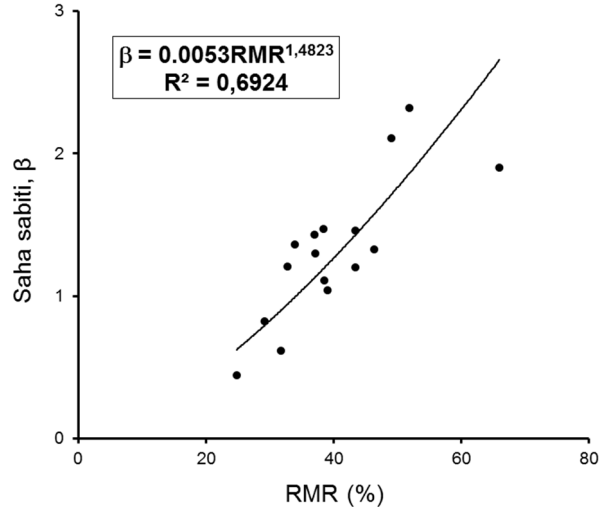
**Çizelge 4.50** Çalışma bölgelerindeki RMR (%) ve saha sabitleri

İşletme	Bölge	Yön	RMR (%)	K	$\beta$
EÜAŞ Kangal	1	1	32,80	493,80	1,21
	2	3	29,20	259,83	0,82
	3	2	38,36	1231,41	1,47
Eti Maden Bigadiç	1	1	43,44	647,13	1,46
	1	2	43,44	438,30	1,20
	2	3	46,40	600,39	1,33
	3	4	39,12	211,25	1,04
Eti Maden Kırka	4	5	66,00	3671,13	1,90
	1	1	51,90	5955,74	2,32
	2	2	49,00	2210,50	2,11
TKİ Çan	3	3	37,00	267,96	1,43
	1	1	34,00	305,83	1,36
TKİ Tunçbilek	2	2	38,50	140,73	1,11
	1	1-4	37,20	227,88	1,297
	2	2-5	31,70	29,099	0,618
	3	3-6	24,80	24,704	0,445



**Şekil 4.95** RMR ile saha sabiti K arasındaki ilişkiler.

Yapılan regresyon analizlerinde, her iki saha sabiti içinde kabul edilebilir ilişkiler elde edilmiş olup ( $R^2= 0,66-0.69$ ) bu yaklaşımlar özellikle patlatma yapılmasının mümkün olmadığı ve dolayısıyla parçacık hızı ölçümlerinin yapılamadığı sıkıntılı durumlarda ön yaklaşımla saha sabitlerinin belirlenmesinde kullanılabilir.



**Şekil 4.96** RMR ile saha sabiti  $\beta$  arasındaki ilişkiler.

Saha sabitleri yerine Şekil 4.95 ve 4.96'da elde edilen eşitliklerin kullanılmasıyla Eşitlik 2.19 revize edilmiştir (Eşitlik 4.21).

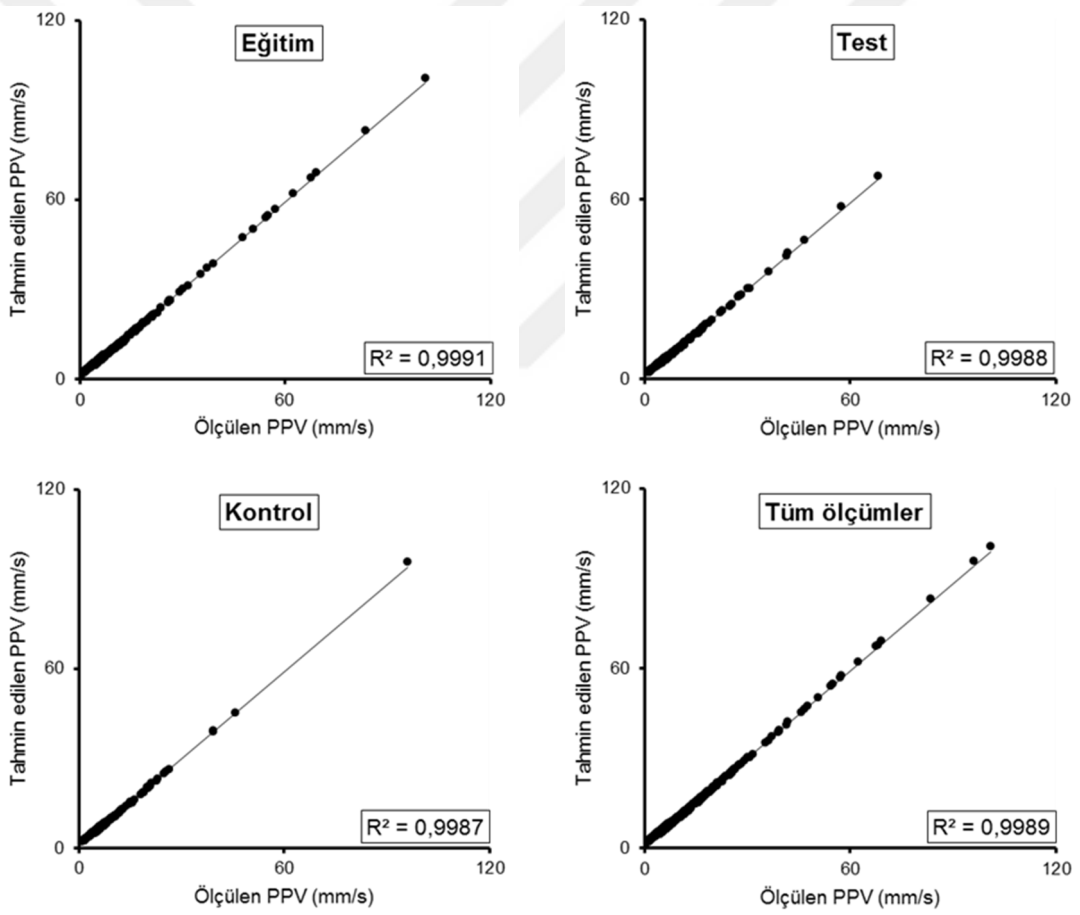
$$PPV = 3.0213e^{0.1219 \cdot RMR} * \left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^{-0.0053 \cdot RMR^{1.4823}} \quad [4.21]$$

#### 4.6.2 ANFIS, genetik algoritma ve çoklu regresyon analizleri ile değerlendirmeler

Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının tepe parçacık hızı ve frekans değerlerini tahmin etmek için tüm sahalardan elde edilen verilerden yararlanarak ANFIS ve çoklu regresyon analizi ile iki farklı modelleme çalışması yapılmıştır. Model çalışmalarında mesafe, gecikme başına şarj miktarı, öz direnç, S dalga hızı, P dalga hızı, delik sayısı, delik boyu, sıkılama boyu, delikler arası mesafe ve dilim kalınlığı olmak üzere on giriş parametresi, PPV ve frekans ise ayrı ayrı çıkış parametresi olarak seçilmiştir. ANFIS ile modelleme (Çizelge 4.51) çalışması sonucunda ölçülen ve tahmin edilen PPV değerleri arasında (Şekil 4.97) oldukça yüksek korelasyonlu ( $R^2=0,9989$ ), çoklu regresyon analizine göre ölçülen ve tahmin edilen PPV değerleri arasında (Şekil 4.98) orta korelasyonlu ( $R^2=0,5289$ ) ilişki elde edilmiştir. Şekil 4.99'da ANFIS ve çoklu regresyon modelleri ile tahmin edilen ve ölçülen PPV değerlerinin karşılaştırılması sunulmuştur. Yine ANFIS model sonuçlarına göre ölçülen ve tahmin edilen frekans değerleri arasında (Şekil 4.100) oldukça yüksek korelasyonlu ( $R^2= 0,9995$ ), çoklu regresyon analizlerine göre ölçülen ve tahmin edilen frekans değerleri arasında (Şekil 4.101) düşük korelasyonlu ( $R^2=0,288$ ) ilişki elde edilmiştir. Şekil 4.102'de ANFIS ve çoklu regresyon modelleri ile tahmin edilen ve ölçülen frekans değerlerinin karşılaştırılması sunulmuştur.

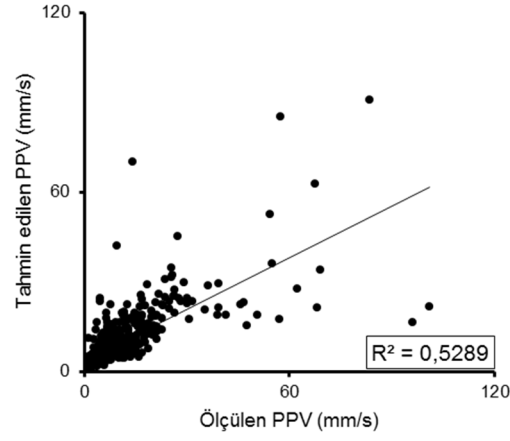
**Çizelge 4.51** ANFIS modeline ait değişkenler

ANFIS model parametreleri	PPV	Frekans
Düğüm sayısı	35	35
Doğrusal parametrelerin sayısı	27	27
Doğrusal olmayan parametrelerin sayısı	24	24
Toplam parametre sayısı	51	51
Eğitim veri sayısı	318	318
Kontrol veri sayısı	159	159
Bulanık kural sayısı	9	9
Epoch	100	100
Minimum eğitim RMSE	0,000031	0,000011
Minimum kontrol RMSE	0,000235	0,0013875

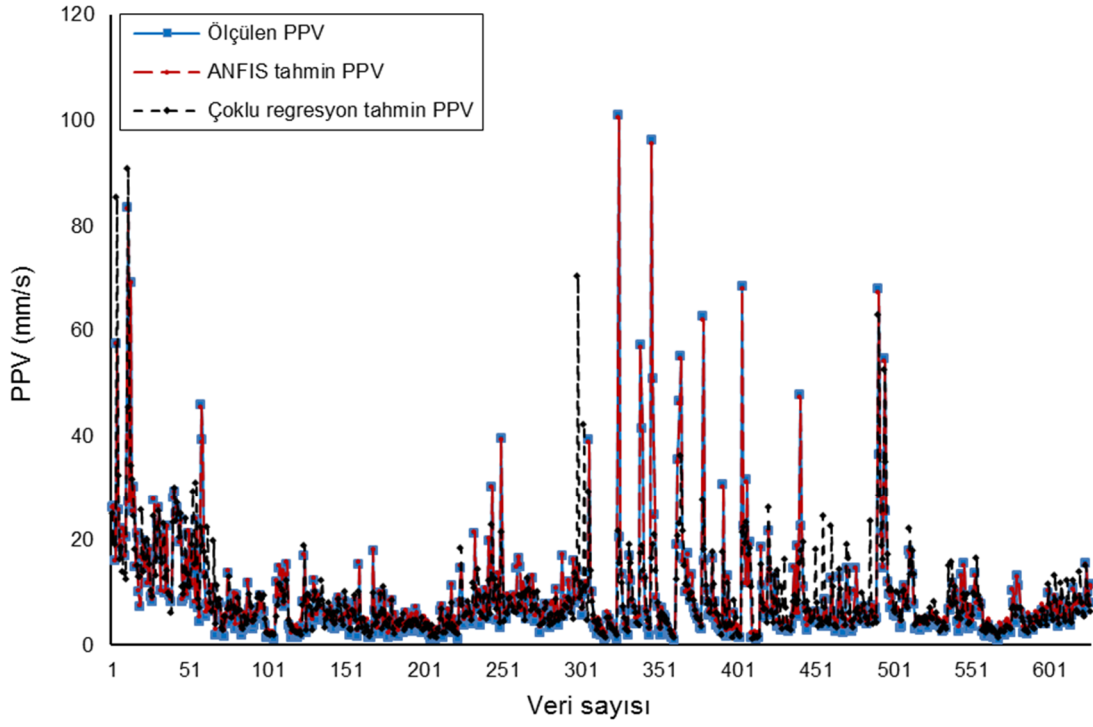


**Şekil 4.97** ANFIS modeli ile tahmin edilen ve ölçülen PPV değerleri arasındaki ilişkiler.

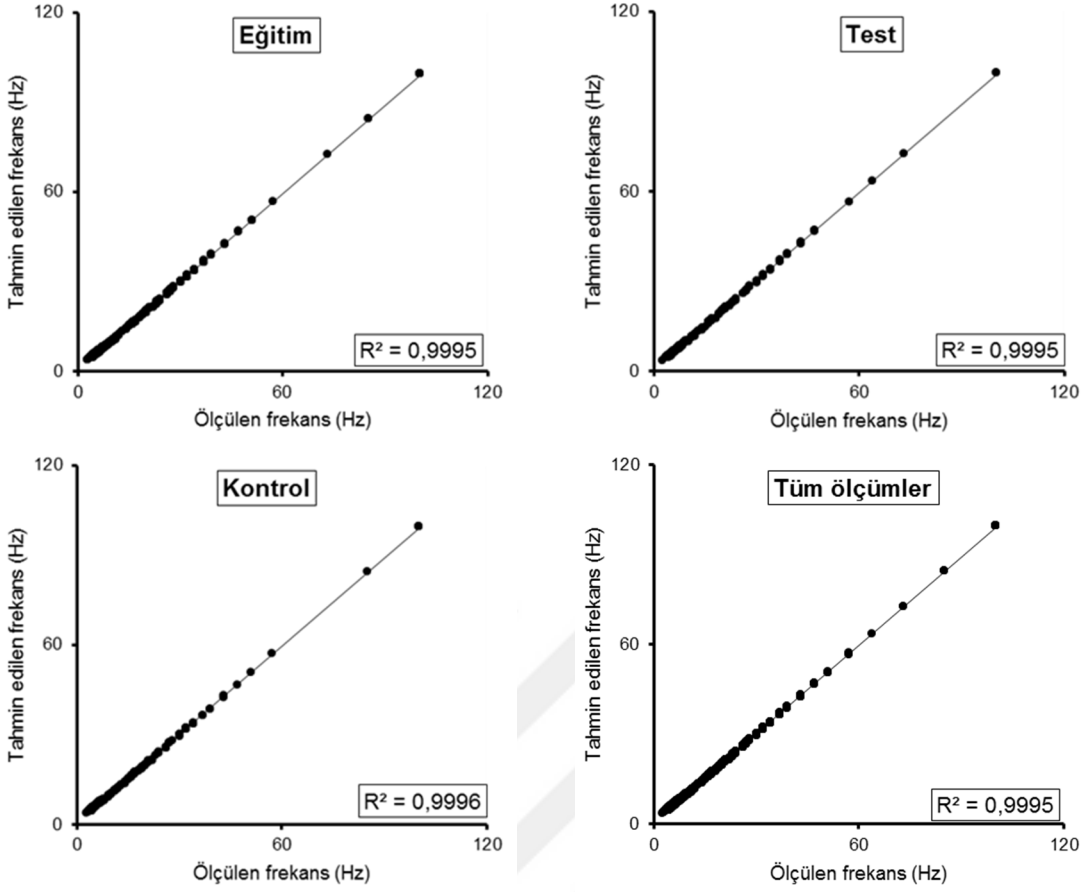




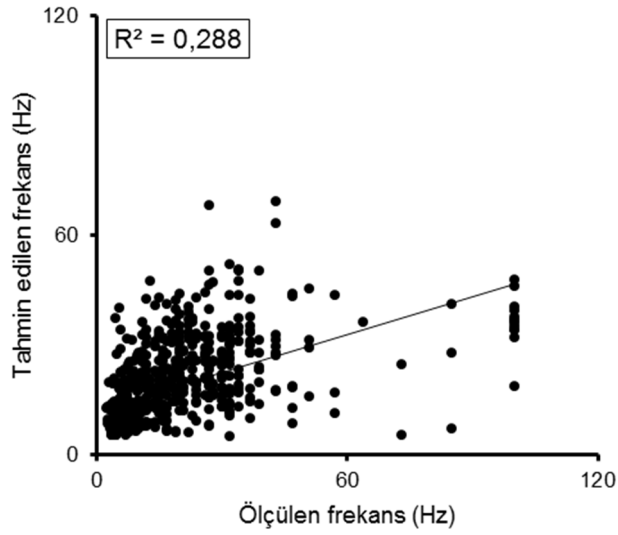
**Şekil 4.98** Çoklu regresyon analizi ile tahmin edilen ve ölçülen PPV değerleri arasındaki ilişkiler.



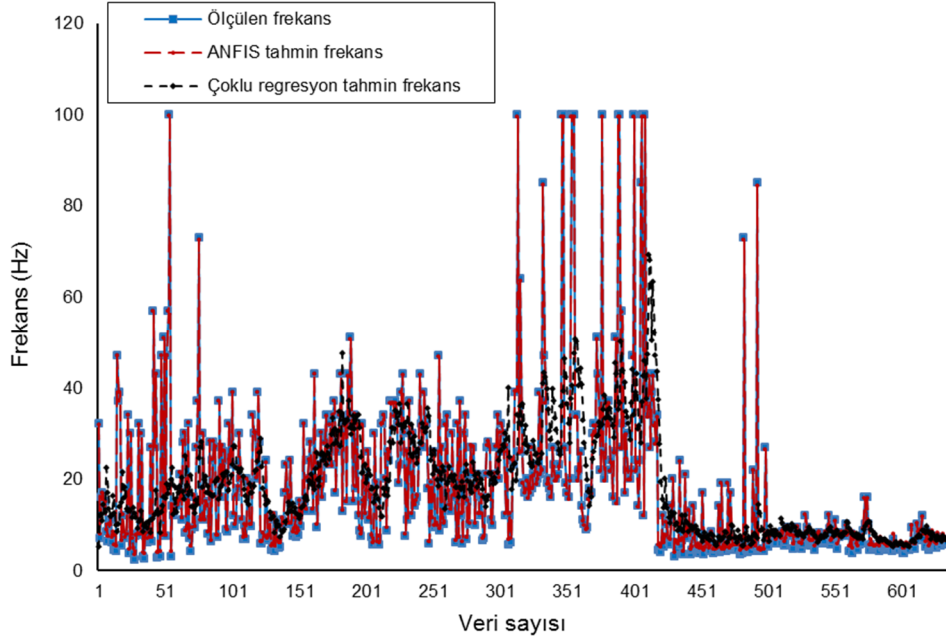
**Şekil 4.99** ANFIS ve çoklu regresyon modelleri ile tahmin edilen ve ölçülen PPV değerlerinin karşılaştırılması.



**Şekil 4.100** ANFIS modeli ile tahmin edilen ve ölçülen frekans değerleri arasındaki ilişkiler.



**Şekil 4.101** Çoklu regresyon modeli ile tahmin edilen ve ölçülen frekans değerleri arasındaki ilişkiler.



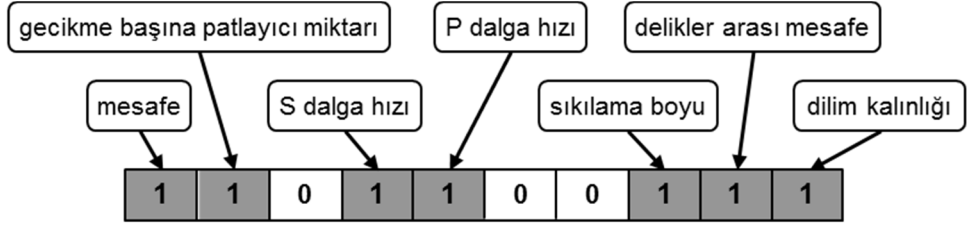
**Şekil 4.102** ANFIS ve çoklu regresyon modeli ile tahmin edilen ve ölçülen frekans değerlerinin karşılaştırılması.

PPV ve frekans değerlerini tahmin etmek için ANFIS giriş parametrelerinin ayrıları kullanılarak gerçekleştirilen çoklu regresyon analizlerinin sonuçları Eşitlik 4.22 ve 4.23'de verilmiştir. Modele ait regresyon katsayıları PPV için orta-düşük ( $R^2=0,31$ ), frekans için oldukça düşüktür ( $R^2=0,20$ ).

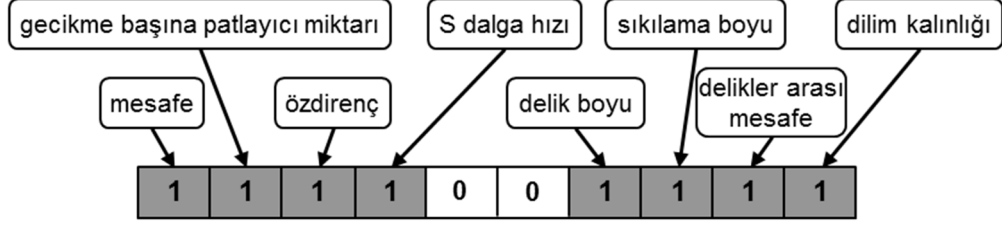
$$PPV = 11,747 - 0,043D + 0,013W + 0,054\rho - 0,002Vs + 0,004Vp - 0,052DS + 0,277H - 0,316Sb - 0,171S + 0,342B \quad [4.22]$$

$$f = 32,308 - 0,011D + 0,004W + 0,012\rho + 0,008Vs + 0,004Vp - 0,009DS - 0,121H - 2,816Sb - 1,075S - 0,05B \quad [4.23]$$

Genetik algoritma model çalışmasında ise mesafe, gecikme başına şarj miktarı, öz direnç, S dalga hızı, P dalga hızı, delik sayısı, delik boyu, sıkılama boyu, delikler arası mesafe ve dilim kalınlığı olmak üzere on giriş parametresi, PPV ve frekans ise ayrı ayrı çıkış parametresi olarak seçilmiştir. Genetik algoritma PPV ve frekans tahmini için uygun olduğuna karar verdiği parametreleri ayrı ayrı belirlemiştir. Genetik algoritma sonuçlarına göre tüm sahalar için PPV tahmininde mesafe, gecikme başına patlayıcı miktarı, S dalga hızı, P dalga hızı, sıkılama boyu, delikler arası mesafe ve dilim kalınlığı verileri (Şekil 4.103) anlamlı bulunurken frekans tahmininde ise mesafe, gecikme başına patlayıcı miktarı, öz direnç, S dalga hızı, delik boyu, sıkılama boyu, delikler arası mesafe ve dilim kalınlığı parametrelerinin kullanılması anlamlı bulunmuştur (Şekil 4.104).



**Şekil 4.103** Genetik algoritma tarafından seçilen PPV tahmini için en uygun model parametreleri.



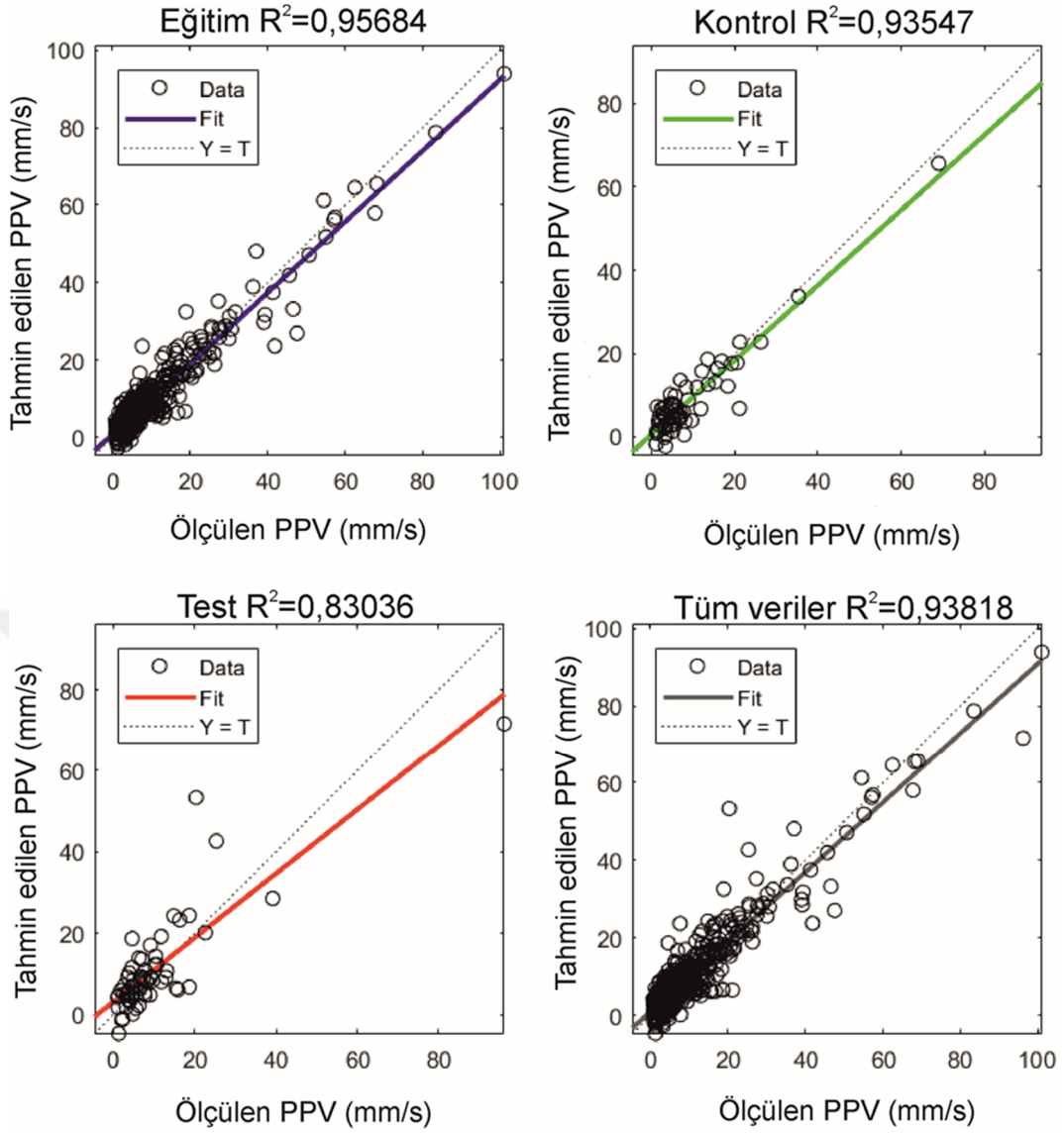
**Şekil 4.104** Genetik algoritma tarafından seçilen frekans tahmini için en uygun model parametreleri.

Genetik algoritma ile modelleme çalışması sonucunda ölçülen ve tahmin edilen PPV değerleri arasında (Şekil 4.105) yüksek korelasyonlu ( $R^2=0,9382$ ), aynı parametreler kullanılarak yapılan çoklu regresyon analizine göre ölçülen ve tahmin edilen PPV değerleri arasında (Şekil 4.106) iyi korelasyonlu ( $R^2=0,5187$ ) ilişki elde edilmiştir. Şekil 4.107'de genetik algoritma ve çoklu regresyon modelleri ile tahmin edilen ve ölçülen PPV değerlerinin karşılaştırılması sunulmuştur. Yine genetik algoritma model sonuçlarına göre ölçülen ve tahmin edilen frekans değerleri arasında (Şekil 4.108) yüksek korelasyonlu ( $R^2=0,7778$ ), aynı parametreler kullanılarak yapılan çoklu regresyon analizlerine göre ölçülen ve tahmin edilen frekans değerleri arasında (Şekil 4.109) oldukça düşük korelasyonlu ( $R^2=0,1975$ ) ilişki elde edilmiştir. Şekil 4.110'da genetik algoritma ve çoklu regresyon modelleri ile tahmin edilen ve ölçülen frekans değerlerinin karşılaştırılması sunulmuştur.

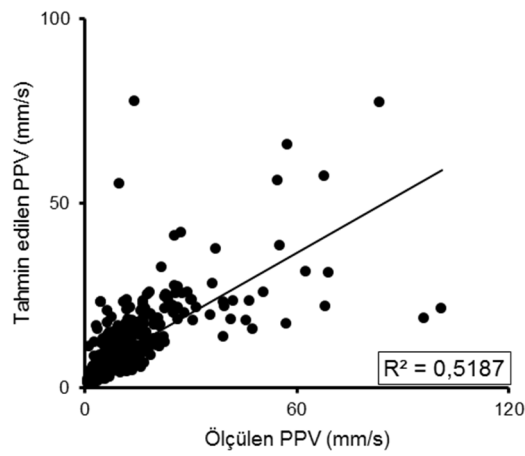
Genetik algoritma modeli tarafından seçilen (mesafe (D), gecikme başına patlayıcı miktarı (W), S-dalga hızı ( $V_s$ ), P-dalga hızı ( $V_p$ ), sıkılama boyu (Sb), delikler arası mesafe (S) ve dilim kalınlığı (B)) parametrelerin giriş parametresi olarak kullanıldığı ve PPV tahmini için gerçekleştirilen çoklu regresyon analizi sonucu Eşitlik 4.24'de verilmiştir ( $R^2=0,26$ ). Genetik algoritma modeli tarafından seçilen (mesafe (D), gecikme başına patlayıcı miktarı (W), özdirenç ( $\rho$ ), S-dalga hızı ( $V_s$ ), delik boyu (H), sıkılama boyu (Sb), delikler arası mesafe (S) ve dilim kalınlığı (B)) parametrelerin kullanıldığı ve frekans tahmini için gerçekleştirilen çoklu regresyon analizi sonucu ise Eşitlik 4.25'de sunulmuştur ( $R^2=0,19$ ).

$$PPV = 15,423 - 0,041D + 0,017W - 0,003V_s + 0,002V_p + 0,295Sb - 0,164S + 0,419B \quad [4.24]$$

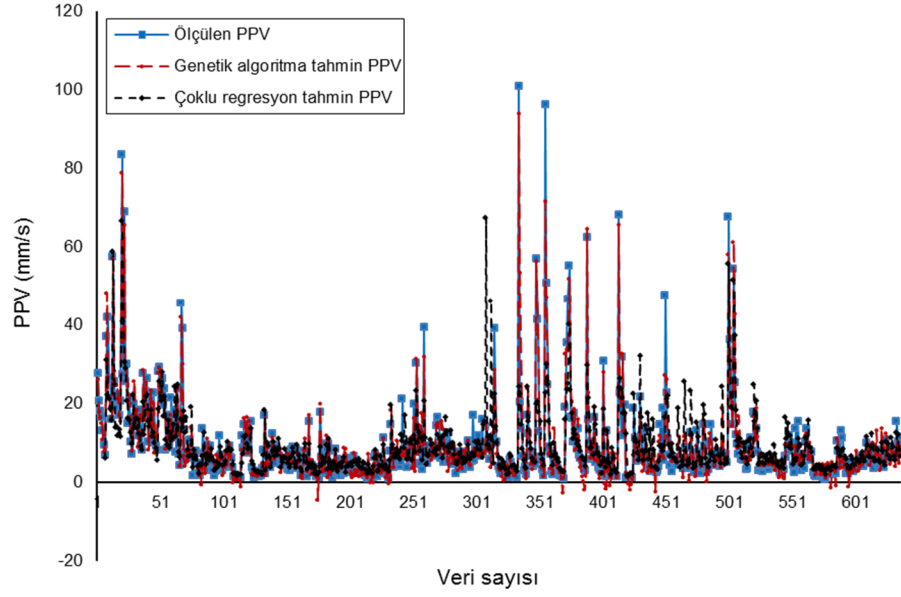
$$f = 38,405 - 0,011D + 0,03W + 0,008\rho + 0,011V_s - 0,141DB - 3,094Sb - 1,08S - 0,131B \quad [4.25]$$



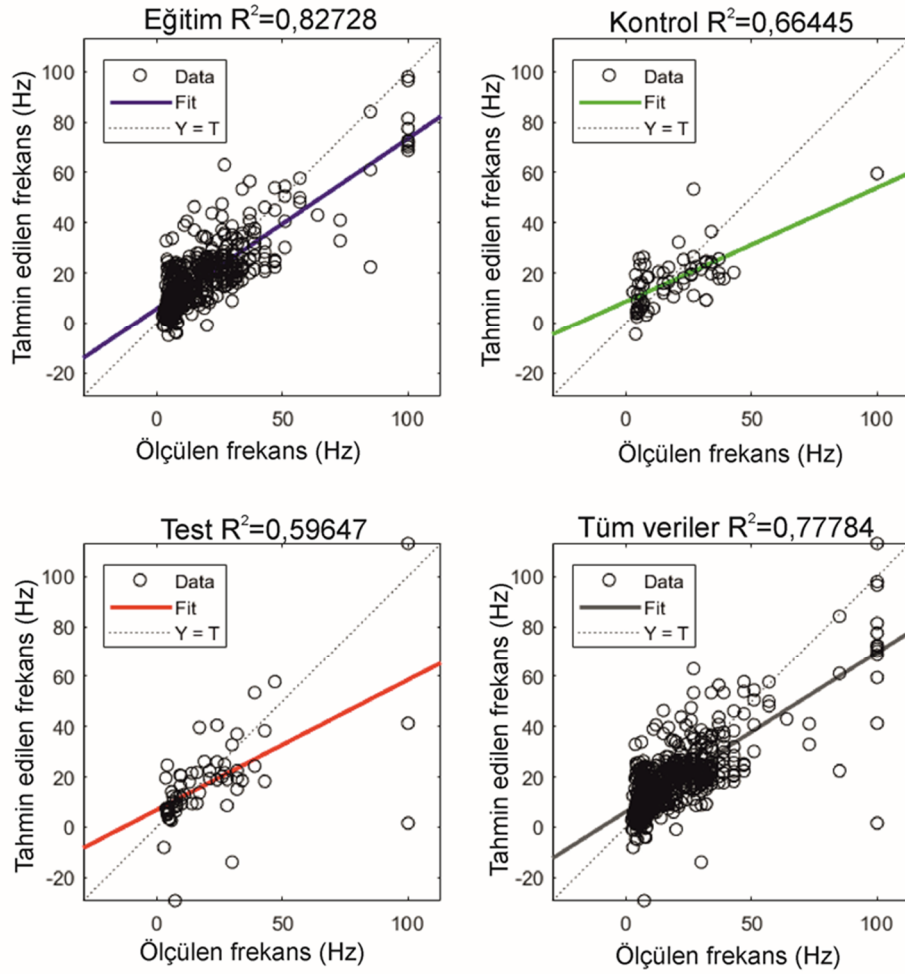
**Şekil 4.105** Genetik algoritma modeli ile tahmin edilen ve ölçülen PPV değerleri arasındaki ilişkiler.



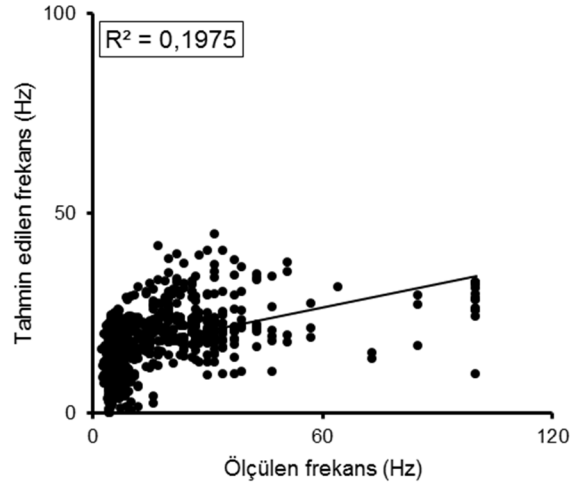
**Şekil 4.106** Çoklu regresyon analizi ile tahmin edilen ve ölçülen PPV değerleri arasındaki ilişkiler.



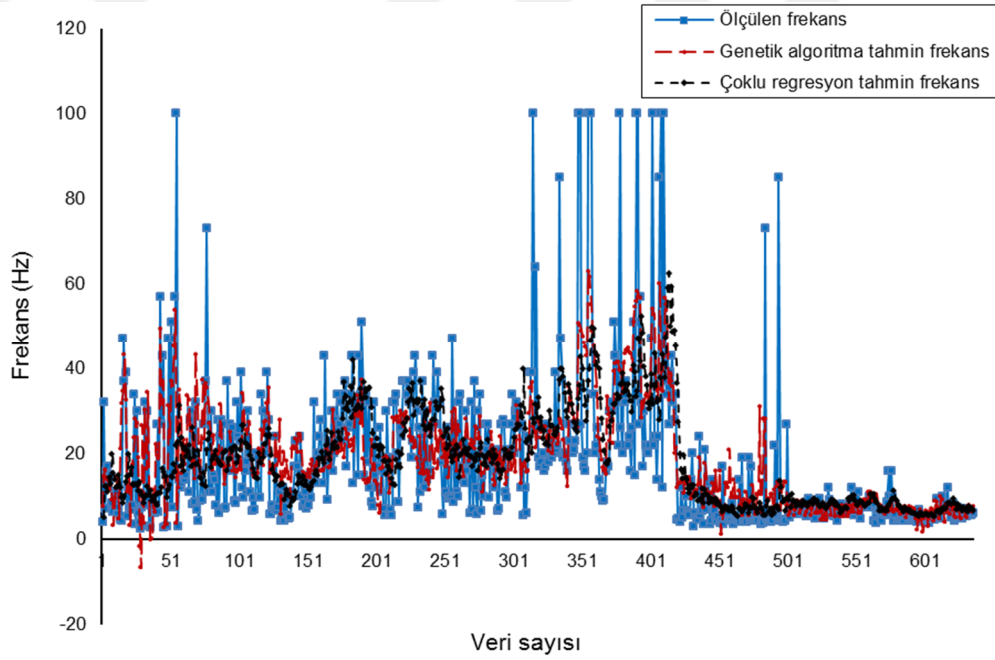
**Şekil 4.107** Genetik algoritma ve çoklu reresyon modelleri ile tahmin edilen ve ölçülen PPV değerlerinin karşılaştırılması.



**Şekil 4.108** Genetik algoritma modeli ile tahmin edilen ve ölçülen frekans değerleri arasındaki ilişkiler.



**Şekil 4.109** Çoklu regresyon modeli ile tahmin edilen ve ölçülen frekans değerleri arasındaki ilişkiler.



**Şekil 4.110** Genetik algoritma ve çoklu regresyon modeli ile ölçülen ve tahmin edilen frekans değerlerinin karşılaştırılması.

Tüm sahalarda için PPV ve frekans tahmini için kullanılan giriş-çıkış parametre değerleri Ek1'de sunulmuştur.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; patlatma işleminin ortaya çıkardığı en önemli çevresel etkilerden birisi olan patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının oluşum ve gelişiminde kaya kütle ve madde özelliklerinin etkileri belirlenerek, kontrollü patlatma tekniklerine baz olacak yaklaşımların geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu araştırma kapsamında, patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının oluşum ve gelişimi üzerinde etkisi olabilecek tüm parametreler (kaya kütle ve madde özellikleri, her bir atımdaki patlatma geometrisi, uygulama büyüklükleri gibi) belirlenerek ölçülen yer sarsıntısı değerleri ile ilişkilendirilmiş ve bu parametreleri de içine alan modeller oluşturulmuştur. Sahalardaki patlatma parametreleri ile kaya kütle özelliklerinin sürekli değişken yapıda olması nedeniyle, modelleme çalışmalarında bu değişimleri ortaya koyabilen ve doğrudan ölçülebilen veriler baz alınmıştır. Bu amaçla değerlendirmelerde mesafe, gecikme başına patlayıcı madde miktarı, öz direnç, S-dalga hızı, P-dalga hızı, delik sayısı, delik boyu, sıkılama boyu, delikler arası mesafe ve dilim kalınlığı giriş parametresi olarak seçilmiştir. Saha ölçümleri EÜAŞ Kangal Kömür, Eti Maden Bigadiç Bor ve Eti Maden Kırka Bor, TKİ Çan Kömür ve TKİ Tunçbilek Kömür Açık İşletmeleri'nde gerçekleştirilmiştir.

Arazi çalışmalarına konu olan sahalarda yapılan ölçümlerden elde edilen tüm parçacık hız bileşenleri, literatürde verilen 12 farklı parçacık hız modeline göre değerlendirilmiş ve regresyon analizi yardımıyla saha sabitleri ( $K$  ve  $\beta$ ) belirlenmiştir. Bu analizler sonucunda oldukça geniş aralıklı korelasyon katsayıları ve saha sabit değerleri bulunmuştur. Bu da farklı tahmin yaklaşımlarından bulunan sonuçlar arasında istikrarın olmadığını ortaya koymaktadır.

Bu değerlendirmeler tüm sahalarda her bir atım için ayrı ayrı yapıldığında özellikle patlatma ölçerlerin tek sıra halinde ardışık sıralandığı atımlarda tüm verilere göre elde edilen sonuçlara kıyasla çok daha yüksek korelasyona sahip sonuçlar elde edilmiştir. Bununla beraber farklı yöndeki saha sabitleri, başka bir ifade ile ilerleme ve sönümlenme davranışları, birbirlerinden belirgin bir şekilde farklılık arz etmiştir. Patlatma noktalarından yönlü açılımlarda ise korelasyonlarının oldukça düşük olduğu belirlenmiştir.

Tek sıra dizilimlerle elde edilen anlamlı ilişkilerin yönlü açılımlarda elde edilememesi, yönlere bağlı olarak değişimlerin olabileceğine işaret etmektedir. Yer sarsıntılarının yönlere bağlı değişiminin daha iyi ortaya konabilmesi amacıyla yönlere bağlı veri sınıflandırması ve değerlendirmesi yapılmıştır. Bu amaçla öncelikle tek sıra dizilimlerdeki yönlerle çakışan aynı yönlü veriler ve yönlü açılımlarda değerlendirilmeye alınabilecek sayıda ve aynı yönde sıralanan diğer veriler yönlere bağlı olarak sınıflandırılmış ve bu yönlerde değerlendirmeler yapılmıştır.

Kangal Kömür Açık İşletmesi'nde yapılan sınıflandırmalar sonucunda beş yönde anlamlı ve kabul edilebilir ilişkiler elde edilmiştir. Ancak oluşturulan yönlerden 3 tanesinin sönümlenme davranışlarının birbirlerine oldukça benzer olduğu görülmüştür. Bunun nedeni incelendiğinde; oluşturulan bu yönlerdeki ölçümlerin büyük çoğunluğunun aynı bölgeden (2. bölge) alındığı belirlenmiştir. Bu üç yöne ait veriler aynı sınıfa alınıp değerlendirildiğinde ise makul bir



korelasyonun olduğu ve aynı bölgede alınan ölçümlerden elde edilen sönümlenme davranışının değişmediği tespit edilmiştir.

Bigadiç Bor Açık İşletmesi'nde yapılan sınıflandırmalar sonucunda beş yönde anlamlı ve kabul edilebilir ilişkiler elde edilmiştir. Bu saha için oluşturulan yönler bölgeler bazında incelendiğinde; Yön 1 ve Yön 2'yi oluşturan cihazların tamamı 1. bölgede yer almaktadır. Düşük ölçekli mesafe değerlerinde bu iki yöne ait eşitlikler yakın tepe parçacık hız değerleri verirken; daha yüksek ölçekli mesafelerde birbirlerinden belirgin bir şekilde ayrıştıkları görülmektedir. Bu durum Kangal Kömür Açık İşletmesi ile kıyaslandığında; aynı bölgede aynı sonuçlar elde edilmesine rağmen, Bigadiç Bor Açık İşletme sahasında uzak mesafelerde kaya kütle değerlerinin değiştiği algısını vermektedir.

Kırka Bor Açık İşletmesi'nde dört yönde veri sınıflaması yapılmış; anlamlı ve kabul edilebilir ilişkiler elde edilmiştir. Bu yönler baz alınarak yapılan parçacık hızı tahminlerinde düşük ölçekli mesafelerde oldukça ayrışık tepe parçacık hız değerleri elde edilirken; daha yüksek ölçekli mesafelerde bu veriler birbirlerine yaklaşmıştır.

TKİ Çan Kömür Açık İşletmesinde iki yönde veri sınıflaması yapılmış, anlamlı ve kabul edilebilir ilişkiler elde edilmiştir. Bu iki yön baz alınarak yapılan parçacık hızı tahminlerinde düşük ölçekli mesafelerde oldukça ayrışık tepe parçacık hız değerleri elde edilirken; daha yüksek ölçekli mesafelerde bu veriler birbirlerine yaklaşmıştır.

TKİ Tunçbilek Kömür Açık İşletmesinde altı yönde veri sınıflaması yapılmış, oldukça düşükten yüksek anlamlılığa kadar ilişkiler elde edilmiştir. Düşük korelasyonlu ilişkilerin bölgedeki faylardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Her bir saha ve tüm sahalar bu kapsamda değerlendirildiğinde yer sarsıntısı davranışlarında bölgeler bazında belirgin bir değişimin olduğu, RMR (%) değeri azaldıkça K ve  $\beta$  katsayılarının da azaldığı belirlenmiştir. Yapılan saha ölçümleri, genel bir yaklaşım elde etmek amacıyla saha ayrımı gözetilmeksizin bir arada değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Bu amaçla öncelikle saha değerlendirmelerinde ön plana çıkan saha sabitleri ile RMR (%) arasındaki ilişkilerin geneli kapsayıp kapsamadığı ve bir matematiksel modele oturtulup oturtulamayacağı araştırılmıştır. Bu işlemler sonucunda saha sabitleri ve RMR (%) arasında anlamlı ve kabul edilebilir ilişkiler elde edilmiş olup aşağıdaki eşitliklerde sunulmuştur.

$$K = 3,0213e^{0,1219 \cdot RMR} \quad (R^2=0,6569)$$

$$\beta = 0,0053RMR^{1,4823} \quad (R^2=0,6924)$$

Saha sabitleri yerine yukarıda verilen elde edilen eşitliklerin kullanılmasıyla Nicholl ve ark. (1971) tarafından önerilen Eşitlik 2.19 aşağıdaki şekilde yeniden oluşturulmuştur.

$$PPV = 3,0213e^{0,1219*RMR} * \left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^{-0,0053*RMR^{1.4823}}$$

Her bir saha için patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının tepe parçacık hızı ve frekans değerlerini tahmin etmek için ANFİS ve genetik algoritma ile modelleme çalışmaları yapılmış, ANFİS ve genetik algoritmada kullanılan giriş parametrelerinin aynıları kullanılarak da çoklu regresyon analizleri yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

ANFİS ve çoklu regresyon analizi ile yapılan modelleme çalışmalarında mesafe, gecikme başına şarj miktarı, S dalga hızı, dilim kalınlığı ve sıkılama boyu olmak üzere beş giriş parametresine karşılık PPV ve frekans ayrı ayrı çıkış parametresi olarak seçilmiştir. ANFİS ile modelleme çalışması sonucunda ölçülen ve tahmin edilen PPV değerleri arasında oldukça yüksek korelasyonlu ( $R^2=0,9989$ ), çoklu regresyon analizine göre ölçülen ve tahmin edilen PPV değerleri arasında orta korelasyonlu ( $R^2=0,5289$ ) ilişki elde edilmiştir. Yine ANFİS model sonuçlarına göre ölçülen ve tahmin edilen frekans değerleri arasında oldukça yüksek korelasyonlu ( $R^2=9995$ ), çoklu regresyon analizlerine göre ölçülen ve tahmin edilen frekans değerleri arasında düşük korelasyonlu ( $R^2=0,288$ ) ilişki elde edilmiştir.

Genetik algoritma model çalışmasında ise mesafe, gecikme başına şarj miktarı, öz direnç, S dalga hızı, P dalga hızı, delik sayısı, delik boyu, sıkılama boyu, delikler arası mesafe ve dilim kalınlığı olmak üzere on giriş parametresi, PPV ve frekans ise ayrı ayrı çıkış parametresi olarak seçilmiştir. Genetik algoritma sonuçlarına göre tüm sahalar için PPV tahmininde mesafe, gecikme başına patlayıcı miktarı, S dalga hızı, P dalga hızı, sıkılama boyu, delikler arası mesafe ve dilim kalınlığı verileri anlamlı bulunurken frekans tahmininde ise mesafe, gecikme başına patlayıcı miktarı, öz direnç, S dalga hızı, delik boyu, sıkılama boyu, delikler arası mesafe ve dilim kalınlığı parametrelerinin kullanılması anlamlı bulunmuştur. Genetik algoritma ile modelleme çalışması sonucunda ölçülen ve tahmin edilen PPV değerleri arasında yüksek korelasyonlu ( $R^2= 0,9382$ ), aynı parametreler kullanılarak yapılan çoklu regresyon analizine göre ölçülen ve tahmin edilen PPV değerleri arasında iyi korelasyonlu ( $R^2=0,5187$ ) ilişki elde edilmiştir. Yine genetik algoritma model sonuçlarına göre ölçülen ve tahmin edilen frekans değerleri arasında yüksek korelasyonlu ( $R^2=0,7778$ ), aynı parametreler kullanılarak yapılan çoklu regresyon analizlerine göre ölçülen ve tahmin edilen frekans değerleri arasında oldukça düşük korelasyonlu ( $R^2=0,1975$ ) ilişki elde edilmiştir.

ANFİS ve genetik algoritma model sonuçlarının çoklu regresyon sonuçlarıyla kıyaslanması sonucunda çoklu regresyon sonuçlarının PPV ve frekans tahmininde kullanımının anlamlı olmadığı söylenebilir.

Patlatma kaynaklı yersarsıntılarının en önemli çevresel etkilerinden birisi çevrede bulunan yapılarındaki yapısal hasarlardır. İvme, parçacık hızı ve frekans değerlerinin yapısal hasar kriterlerinin belirlenmesinde en önemli kriterler olduğu bilinen bir gerçektir. Bu hususa yönelik olarak bazı hasar kriteri baz alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan değerlendirmeler

sonucunda bazı atımların ölçüm bölgesindeki olası yapılara zarar verebilir nitelikte olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma, patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının şiddetinin yönsel olarak değiştiğini, tepe parçacık hız tahmininde kullanılan saha sabitlerinin önemli kaya kütle sınıflama sistemlerinden RMR (%) ile ilişkili olduğunu açıkça ortaya koymuştur. Ayrıca doğrudan belirlenebilen ve ölçülebilen kaya kütle özellikleri ile patlatma parametrelerinin kullanıldığı Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ve genetik algoritma ile yapılan modelleme çalışmalarında oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Ancak çoklu regresyon analizlerinde aynı başarı elde edilememiştir.

Patlatma yapılan sahalarda yer sarsıntısı ile ilgili değerlendirmelerde tepe parçacık hızı ve frekans belirlenmesine yönelik çalışma yapılabilmesi için belli sayıda atım yapılaması gerekmektedir. Bu çalışma patlatma yapılmadan bazı tasarım parametreleri ile bazı jeofizik ölçümleri sonucunda elde edilen verilerden hareketle tepe parçacık hızı ve frekans tahmininin yapılabileceğini ortaya koymuştur. Benzer çalışmaların sürdürülmesinde fayda görülmektedir.

Bu çalışma tepe parçacık hızı tahmin denkleminde kullanılan saha sabitleri ile RMR arasında ilişkilerin olduğunu ortaya koymuştur. Bu tip çalışmaların yaygınlaştırılarak sürdürülmesi ve veri sayısının artırılması elde edilen eşitliklerin güvenilirliğini artırmak açısından önemlidir.

## KAYNAKLAR

- Ak, H.** (2006). Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının yönsel değişiminin araştırılması. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Doktora Tezi), Eskişehir.
- Ak, H., Konuk, A.** (2008). The effect of discontinuity frequency on ground vibrations produced from bench blasting: a case study. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 28, 686-694.
- Aldaş, G.G.U.** (2002). Effect of some rock mass properties on blasting induced ground vibration wave characteristics at Orhaneli surface coal mine. *Middle East Technical University* (Ph.D. Thesis), Ankara.
- Aldaş, G.G.U., Babayigit, E., Ergüder, G. ve Ünüçok, B.** (2010). Patlatmaların doğrusal olmayan davranışlarının patlatma verimliliğine etkilerinin araştırılması. *TÜBİTAK Projesi*, 108M359, Ankara.
- Alpaydın, E, Alpsar, M., Elmacı, E., Halıcılar, G., Önal, H.S., İşcen, H.G., Patır, O. ve Özkazanç M.Ö.** (2004). Patlayıcı maddeler ve patlatma teknikleri. *Nitromak Eğitim Yayınları*, Ankara.
- Alvarez-Vigil, A.E., Gonzalez-Nicieza, C., Gayarre Lopez, F. and Alvarez-Fernandez, M.I.** (2012). Predicting blasting propagation velocity and vibration frequency using artificial neural network. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 55, 108-116.
- Ambraseys, N.R., Hendron, A.J.** (1968). Dynamic behaviour of rock masses. *Rock Mechanics in Engineering Practices*, Wiley-London.
- Amnieh, H.B., Mozdianfard, M.R. and Siamaki, A.** (2010). Predicting of blasting vibrations in Sarcheshmeh copper mine by neural network. *Safety Science*, 48, 319-325.
- Anonim1** (2018). Bakır yüksüklü elektrikli kapsül. *Akgün Patlayıcı Maddeler Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi, Adana.*  
(<https://www.akgunpatlayici.com/urunler/mke-urunleri/atesleme-kapsulleri/30-ms-gecikmeli-bakir-elektrikli-kapsuller>). Erişim Tarihi: 20.05.2018.
- Anonim2** (2018). Adi kapsül. *Kırlioğlu Kimya Sanayi ve Ticaret A.Ş., Afyon.*  
(<http://www.kirlioglu.com.tr/adi-kapsul/>). Erişim Tarihi: 20.05.2018.
- Anonim3** (2018). Elektriksiz (nonel) kapsül. *Kapeks Patlayıcı Maddeler Tic. Ltd. Şti., Ankara.*  
(<http://www.kapeks.com.tr/kapeksdet-lp,2,32>). Erişim Tarihi: 20.05.2018.
- Anonim4** (2012). Yapı yıkımında kullanılan patlayıcı maddeler.
- Anonim5** (1986). Handbook of Explosives and Rock Blasting. *Atlas Powder Company, Texas, USA.*
- Anonim6** (2018). Günlük olaylardaki ses düzeyleri ve ses basınç değerleri.  
(<https://boomspeaker.com/noise-level-chart-db-level-chart/>). Erişim Tarihi: 20.05.2018.
- Anonim7** (2010). Instantel kullanıcı klavuzu, Kanada.
- Anonim8** Controlling the Adverse Effects of Blasting. *OSMRE.*  
(<https://www.osmre.gov>). Erişim Tarihi: 20.05.2018.
- Anonim9** Instantel, Canada.  
(<http://www.instantel.com>). Erişim Tarihi: 07.07.2018.
- Anonim10** Guralp Systems Limited, England.  
(<http://www.guralp.com>). Erişim Tarihi: 07.07.2018.
- Anonim11** GF Instruments, Czech Republic.  
(<http://www.gfinstruments.cz/>). Erişim Tarihi: 07.07.2018.
- Anonim12** Geometrics, U.S.A.  
(<http://www.geometrics.com>). Erişim Tarihi: 07.07.2018.
- Anonim13** (2012). GeoSeis v1.3.3 kullanım kılavuzu, Tunus.
- Anonim14** (1973). IS 6922: Criteria for safety and design of structures subject to underground blasts. *Indian Standarts Institue, India.*
- Anonim15** (1996). SS 25210: Vibration and shock-blast induced airborne shock wave-guidance levels for buildings. *Sweden Standarts Institue, Stockholm, Sweden.*
- Anonim16** (1967). CA 23: Explosives code. *Australia Standarts Institue, Sidney, Australia.*
- Anonim17** (1983). Rules and regulations. *Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement, 46, USA.*
- Anonim18** (1966). DIN 4150: Vibration in buildings-part 3: effects on structures. *Germany Standarts Institue, Germany.*
- Anonim19** (1993). BS 7385-2: Evaluation and measurement for vibration in buildings, part 2: Guide for measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings. *British Standards Institution, London, England.*

- Anonim20** (2008). Çevresel gürültünün değerlendirilmesi ve yönetimi yönetmeliği. *TC Resmi Gazete*, Ankara.
- Anonim21** (2018). MathWorks, U.S.A. (<https://www.mathworks.com>). Erişim Tarihi: 15.05.2018.
- Anonim22** (2018). International Business Machines Corp., U.S.A. (<https://www.ibm.com/analytics/spss-statistics-software>). Erişim Tarihi: 15.05.2018.
- Arıoğlu, E.** (1990). Çözümlü madencilik problemleri. *TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını*, Ankara.
- Armaghani, D.J., Momeni, E., Abadi, S. and Khandelwal, M.** (2015). Feasibility of ANFIS model for prediction of ground vibrations resulting from quarry blasting. *Environmental Earth Science*, 74, 2845-2860.
- Arpaz, E.** (2000). Türkiye'deki bazı açık işletmelerde patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin izlenmesi ve etkilerinin araştırılması. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Doktora Tezi), Sivas.
- Arpaz, E., Ceylanoğlu, A.** (2001). Patlatma kaynaklı yer sarsıntısı ve hava şoku ölçümlerinin değerlendirilmesi için geliştirilen bir bilgisayar programı. *Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi-TUMAKS*, pp:103-110.
- Ash, R.L.** (1990). Design of blasting rounds. *Surface Mining*, SMME, Colorado, USA.
- Ataei, M., Kamali, M.** (2012) Prediction of blast-induced vibration by adaptive neuro-fuzzy inference system in Karoun 3 power plant and dam. *J Vib Control*, 22, 1-9.
- Ataei, M., Sereshki, F.** (2017). Improved prediction of blast-induced vibrations in limestone mines using genetic algorithm. *Journal of Mining and Environment*, 8, 291-304.
- Atchison, T.C.** (1968). Fragmentation principles. *Surface Mining*, AIME, New York, 355-372.
- Attewell, P.B., Farmer, I.W. and Haslam, D.** (1965). Prediction of ground vibration parameters from major quarry blasts. *Mining and Minerals Eng.*, 621-626.
- Barton, N., Lien, R. and Lunde, J.** (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics*, 6, 189-236.
- Barton, N.** (2002). Some new q-value correlations to assist in site characterisation and tunnel design. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 39, 185-216.
- Baş, H.** (1983) Domaniç, Tavşanlı, Gediz, Kütahya yörelerinin Tersiyer jeolojisi ve volkanitlerinin petrolojisi, *MTA*, Ankara.
- Bauer, A., Calder, P.N.** (1977). Pit slope manual. *Canmet Report*, 77-14.
- Baumgard, D.R., Young, G.B.** (1990). Regional seismic waveform discriminants case-based event identification using regional arrays. *Bulletin Seismological Society of America*, 80, 1874-1892.
- Bhandari, S.** (1997). Engineering rock blasting operations, Rotterdam.
- Bieniawski, Z.T.** (1973). Engineering classification of jointed rock masses. *Trans. S. Afr. Inst. Civ. Engrs.*, 15, 335-344.
- Bieniawski, Z.T.** (1989). Engineering Rock Mass Classifications. *Wiley*, 251p, New York.
- Bilgin, H.A.** (1986). Açık işletmelerde patlatma sorunları ve tasarımı. *TKİ Genel Müdürlüğü Yayını*, Ankara.
- Bilgin, H.A., Paşamehmetoğlu, A.G.** (1993). Optimum burden determination and fragmentation evaluation by full scale slab blasting. *4<sup>th</sup> International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*, Vienna, Austria.
- Bilgin, H.A., Esen, S. ve Kılıç, M.** (1998). TKİ Çan Linyit İşletmesi'nde patlatmaların yol açtığı çevre sorunlarının giderilmesi için araştırma (Nihai Rapor). *ODTÜ*, Ankara.
- Bilgin, A.** (2005). Açık Ocak ve Taşocaklarında Patlatma. *TMMOB Maden Mühendisleri Odası*, 231-314, Ankara.
- Birch, W.J., Chaffer, R.** (1983). Prediction of ground vibration from blasting on opencast sites. *Trans. Inst. Min. Metall. (Sec. A: Mining Industry)*.
- Blair, D.P., Spathis, A.T.** (1982). Attenuation of explosion-generated pulse in rock Masses, *Journal of Geophysical Research*, 87, 5, 3885-3892.
- Butler, D.K., Curro J.R. Jr.** (1981). Crosshole seismic testing procedures and pitfalls. *Geophysics*, 46 (1), 23-29.
- Capehart, E., Lilly, P.** (2002). A review of general considerations for assessing rock mass blastability and fragmentation. *International Journal for Blasting and Fragmentation*, 2, 151-168.
- Carr, J.** (2014). An introduction to genetic algorithms. *Whitman*, 40p.

- Ceylanoğlu, A., Kahrıman, A. ve Demirci, A.** (1993). Delme-patlatmanın önemi, kullanıldığı alanlar ve maden mühendisliği ile ilgisi. 1. *Delme ve Patlatma Sempozyumu*, 127-138. Ankara.
- Cha, Y.H., Kang, J.S. and Jo C.H.** (2006). Application of linear-array microtremor surveys for rock mass classification in urban tunnel design. *Exploration Geophysics*, 37, 108-113.
- Cheng, G., Huang, S.L.** (2001). Analysis of ground vibrations caused by open pit production blasts-a case study fragblast. *International Journal of Blasting and Fragmentation*. 5, 91-107.
- Cook, N.G.W.** (1992). Influence of clays and clay fluid interactions on seismic wave attenuation in reservoir rocks: milestone report seismic wave propagation across thin clay layers. *Gas Research Institute*.
- Cording, E.J., Hendron, A.J., Hansmire, W.H., Macpherson, H., Jones, R.A. and O'Rourke, T.D.** (1975). Method for geotechnical observations and instrumentation in tunneling. *The Nat. Science Foundation*, 2.
- Crandell, F.J.** (1949). Ground vibration due to blasting and its effect upon structures, *Reprinted from Journal of Boston Society of Civil Engineers*.
- Çelik, Y.** (1999). Petrography and chemistry of the miocene lacustrine coals in the neogene domaniç basin, western turkey: coal depositional environment. *Bulletin of the Czech Geological Survey*, 74, 139-144.
- Çelik, Y. Karayığit, A.I.** (2004). Geological setting and quality of the lignite seams in the Seyitömer Basin, Kutahya, Turkey. *Geologica Belgica*, 7/3-4, 259-265.
- Davies, B., Farmer, I.W. and Attewell, P.B.** (1964). Ground Vibration from Shallow Sub-Surface Blasts. *the Engineer*, 217, 553-559.
- Dehghani, H., Ataee-pour, M.** (2011). Development of a model to predict peak particle velocity in a blasting operation. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 48, 51-58.
- Dick, R.A., Fletcher, L.R. and D'Andrea, D.V.** (1983). Explosives and blasting procedures manual. *USBM IC 8560*, 44p, USA.
- Dindarloo S.R.** (2015). Prediction of blast-induced ground vibrations via genetic programming. *Int J Min Sci Technol*, 25(6), 1011-1015.
- Dowding, C.H.** (1985). Blast Vibration Monitoring and Control, *Prentice-Hall*, 297p.
- Dowding, C.H.** (1992), Monitoring and control of blast effects. *SME Mining Engineering Handbook*, 1, 746-760.
- Dowding, C.H.** (1996). Construction vibrations. *Prentice-Hall*, London.
- Dowding, C.H.** (2000). Construction Vibration (Reprinted 1996 Version). *Prentice Hall*, Englewood Cliffs-NJ.
- Duvall, W.I., Atchison, T.C.** (1957). Rock breakage by explosives, *USBM RI 5356*.
- Duvall, W.I., Petkof, B.** (1959). Spherical propagation of explosion generated strain pulses in rock. *USBM Report of Investigation*, 5483, 21.
- Duvall, W.I., Fogleson, D.E.** (1962) Review of criteria for estimating damage to residences from blasting vibration. *USBM-I 5968*.
- Duvall, I., Pugliese, M.**, (1965), Comparison between end and axial methods of detonating an explosive in granite, *Bureau of Mines RI 6700*, 11.
- Duvall, W.I., Devine, J.F.**, (1972). Surface Mining, 398-412, New York.
- Edwards, A.T., Northwood, T.D.** (1959). Experimental blasting studies. *National Research Council*, Ottawa, Kanada.
- Erarslan, K., Uysal, Ö., Arpaz, E. and Çebi, M.A.** (2008). Barrier holes and trench application to reduce blast induced vibration in Seyitomer coal mine. *Environmental Geology*, 54, 1325-1331.
- Erik, N.** (2010). Kömürleşme süreci ve paleoortam özelliklerinin belirlenmesinde biyomarker verilerinin kullanımı Kangal kömürleri Sivas Türkiye. *Yerbilimleri Dergisi*, İstanbul.
- Faradonbeh R.S., Monjezi, M.** (2017), Prediction and minimization of blast-induced ground vibration using two robust meta-heuristic algorithms. *Engineering with Computers*, 33, 835-851.
- Fişne, A., Kuzu, C. and Hudaverdi, T.** (2011) Prediction of environmental impacts of quarry blasting operation using fuzzy logic. *Environ Monit Assess*, 174, 461-470.
- Fourney, W.L., Dick, R.D., Fordyce, D.F. and Weaver, T.A.** (1997). Effects of open gaps on particle velocity measurements. *Rock Mechanics And Rock Engineering*, 30 (2), 95-111.
- Gates, A.E., Ritchie, D.** (2007). Encyclopedia of earthquakes and volcanoes, *Facts on File Inc.*, 233p, NewYork.

- Ghasemi, E., Ataei, M., Hashemolhosseini, H.** (2013) Development of a fuzzy model for predicting ground vibration caused by rock blasting in surface mining. *J Vib Control*, 19, 755–770.
- Ghasemi, E., Kalhori, H. and Bagherpour, R.** (2016). A new hybrid ANFIS–PSO model for prediction of peak particle velocity due to bench blasting. *Engineering with Computers*, 32, 607–614.
- Ghoraba, S., Monjezi, M., Talebi, N., Moghadam, M.R. and Jahed Armaghani, D.** (2015). Prediction of ground vibration caused by blasting operations through a neural network approach: a case study of Gol-E-Gohar Iron Mine, Iran. *J Zhejiang Univ Sci A*.
- Ghosh, A., Daemen, J.K.** (1983). a simple new blast vibration predictor. *In: Proceedings of the 24<sup>th</sup> US Symposium on Rock Mechanics*, 151–61, College Station, Texas.
- Gitterman, Y., Shapira, A.** (1994). Spectral characteristics of seismic events off the coast of the levant. *Geophysical Journal International*, 116.
- Goldberg, D. E.** (1989). Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. *Addison-Wesley*, 412p.
- Goldberg D.E., Deb K.** (1991). A comparative analysis of selection schemes used in genetic algorithms. *Morgan Kaufmann*, California.
- Gök, S., Çakır, A. ve Dündar, A.** (1979). Kırka kasabası civarı borat yatakları ve diğer endüstriyel hammadde etütleri raporu. *MTA Raporu 6768* (yayımlanmamış), Ankara.
- Gökmen, V., Memikoğlu, O., Dağlı, M., Öz, D. and Tuncalı, E.** (1993). Lignite inventory of Turkey. *M.T.A. Publication*, 356p., Ankara.
- Görgülü, K., Çaylak, Ç., Durutürk, Y.S., Demirci, A., Arpaz, E., Büyüksaraç, A. ve Uysal, Ö.** (2013). Kaya kütle ve madde özelliklerinin patlatma kaynaklı yer sarsıntıları oluşumu ve gelişimi üzerine etkilerinin araştırılması (Sonuç Raporu). *Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu*, Ankara.
- Görür, N., Tüysüz, O. and Şengör, A.M.C.** (1998). Tectonic evolution of the Central Anatolian basins. *International Geology*, 40, 831-850.
- Gupta, R.N., Roy, P.P., Bagachi, A. and Singh, B.** (1987). Dynamic effects in various rock mass and their predictions. *J. Mines, Met. Fuels*, 455-462.
- Gupta, R.N., Roy, P.P. and Singh, B.** (1988). On a blast induced blast vibration predictor for efficient blasting. *Proceedings of the 22<sup>nd</sup> International Conference of Safety in Mines*, 1015-1021, Beijing-China.
- Gustafsson, R.** (1973). Swedish Blasting Technique, Gothenburg-Sweden.
- Gürdal, G., Bozcu, M.** (2011). Petrographic characteristics and depositional environment of Miocene Çan coals Çanakkale-Turkey. *Int. J. Coal Geol.*, 85, 143–160.
- Hagan, T.N.** (1973). Rock Breakage by Explosives. *Int. Proceedings of the National Symposium on Rock Fragmentation*, 1-17, Adelaide.
- Hajihassani, M., Armaghani D.J., Marto, A. and Mohamad, E.T.** (2014). Ground vibration prediction in quarry blasting through an artificial neural network optimized by imperialist competitive algorithm. *Bull Eng Geol Environ.*, 74, 873-886.
- Hao, H., Wu, Y., Ma, G.W. and Zhou, Y.X.** (2001). Characteristics of surface ground motions induced by blasts in jointed rock mass. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 21, 85-98.
- Hasanipanah, M., Golzar, S.B., Larki, I.A., Maryaki, M.Y. and Ghahremanians, T.** (2017). Estimation of blast-induced ground vibration through a soft computing framework. *Engineering with Computers*, 33, 951–959.
- Hasanipanah, M., Amnieh, B., Khamesi, H., Jahed Armaghani, D., Golzar, B. and A. Shahnazar, A.** (2018). Prediction of an environmental issue of mine blasting: an imperialistic competitive algorithm-based fuzzy system. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 15, 551-560.
- Heinze, H.** (1975). Handbuch Sprengtechnik, 545p., Leipzig.
- Helvacı, C., Alaca, O.** (1991). Bigadiç borat yatakları ve çevresinin jeolojisi ve mineralojisi. *MTA Dergisi*, 113, 61-92.
- Helvacı, C.** (1995). Bigadiç, Sultançayıırı and Kestelek borate deposits. *International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region*, 24p.
- Hino, K.** (1956). Fragmentation of rock through blasting. *J. Ind. Explosive Soc.*, 17(1), 1-11.
- Hoek, E., Bray, J.W.** (1991). Kaya Şev Stabilitesi. *TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını*, Ankara.
- Hoek, E.** (1994). Strength of rock and rock masses. *ISRM News J.*, 2(2), 4-16.

- Hoek, E., Kaiser, P.K. and Bawden, W.F.** (1995). Support of underground excavations in hard rock. *A.A. Balkema*, Rotterdam.
- Hoek, E.** (1999). Putting numbers to geology-an engineer's view point quarterly. *Journal of Engineering Geology*, 32, 1-19,
- Holland, J.H.** (1992). Adaptation in natural and artificial systems. 2<sup>nd</sup> Ed. *MIT Press*.
- Horasan, G., Boztepe Güney, A., Kusmezer, A. and Musaoğlu, N.** (2009). Contamination of seismicity catalogs by quarry blasts: an example from İstanbul and its vicinity, Northwestern Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34, 90-99.
- Hudson, D.E., Alford, J.L. and Iwan, W.D.** (1961). Ground acclerations caused by large quarry blasts. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 51, 191-202.
- ISRM** (1992). Suggested Method for Blast Vibration Monitoring. *Int. J. of Rock Mech. and Mining Sci. & Geo. Abs.*, 29, 143-156.
- ISRM** (1998). Suggested methods for seismic testing within and between boreholes, *Int. J. of Rock Mech. and Mining Sci. & Geo. Abs.*, 25, 449-472.
- ISRM** (2004). Suggested Methods for Land Geophysics in Rock Engineering. *Int. J. of Rock Mech. and Mining Sci. & Geo. Abs.*, 41, 885-914.
- İphar, M., Yavuz, M. ve Ak, H.** (2008). Prediction of ground vibrations resulting from the blasting operations in an open-pit mine by adaptive neuro-fuzzy inference system. *Environmental Geology*, 56, 97-107.
- İşçen, H.İ.** (1995). Demirbilek köyüne verilen sarsıntının denetlenmesi. *MKEK Barut San. A.Ş. Genel Müdürlüğü*, Ankara.
- Jang, J.S.R.** (1993). ANFIS: Adaptive-network based fuzzy inference systems, *IEEE Trans. On Systems, Man, and Cybernetics*, 23 (03): 665-685.
- Jimeno, C.L., Jimeno, E.L. and Carcedo, F.J.A.** (1995). Drilling and Blasting of Rocks. *A.A. Balkema Publishers*, Brookfield-Rotterdam, 390p.
- Johnston, G.J., Durucan, S.** (1994). The numerical prediction, analysis and modeling of ground vibration-induced by blasting. 3<sup>rd</sup> *International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection*, 703-708.
- Kahriman, A.** (1995). Sivas Ulaş yöresi sölestit cevheri ve yan kayaçları için optimum patlatma koşullarının araştırılması ve kayaç özellikleri ile ilişkilendirilmesi. *C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü* (Doktora Tezi), Sivas.
- Kahriman, A., Ceylanoğlu, A. ve Demirci, A.** (1996). Sivas Ulaş yöresi sölestit açık işletmesi kaya birimleri için optimum patlatma koşullarının belirlenmesi. 2. *Delme ve Patlatma Sempozyumu*, 117-127, Ankara.
- Kamali, M., Ataei, M.** (2010). Prediction of blast induced ground vibrations in Karoun III power plant and dam: a neural network. the *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 110, 481-490.
- Karakuş, D.**, (2010). Patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin yönsel değişiminin araştırılması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayını*, İzmir.
- Kartal, Ö.F., Horasan, G.** (2011). Trabzon ve civarındaki deprem ve patlatma verilerinin birbirinden ayırt edilmesi. *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15, 68-74.
- Ketin, İ.** (1966). Güneydoğu Anadolu'nun Kambriyen teşekkülleri ve bunların Doğu İran Kambriyen ile mukayesesi. *MTA Yayınları*, 66, 75-88.
- Khandelwal, M., Singh, T.N.** (2006). Prediction of blast induced ground vibrations and frequency in opencast mine: a neural network approach. *Journal of Sound and Vibration*, 289, 711-725.
- Khandelwal, M., Singh, T.N.** (2009). Prediction of blast-induced ground vibration using artificial neural network. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 46, 1214-1222.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M. and Mousazadeh, H.** (2014). Development of an intelligent system based on ANFIS for predicting wheat grain yield on the basis of energy inputs. *Information Processing in Agriculture*, 1, 14-22.
- Kinnear, K.** (1994). Fitness landscapes and difficulty in genetic programming. 142-147, USA.
- Koçaslan, A.** (2013). Patlatma sahalarında farklı jeofizik yöntemler kullanılarak çevre kaya kütle özelliklerinin tespiti ve yer sarsıntısı analizlerinde kullanılabilirliği. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Doktora Tezi), Sivas.
- Koçaslan, A., Yüksek, A.G., Görgülü, K. ve Arpaz, E.** (2017). Evaluation of blast-induced ground vibrations in open-pit mines by using adaptive neuro-fuzzy inference systems. *Environmental Earth Sciences*, 76:57.
- Konya, J.A., Walter, E.J.** (1990). Surface Blast Design, 292p, New Jersey.



- Kumar, R., Choudhury, D. and Bhargava, K.** (2016). Determination of blast-induced ground vibration equations for rocks using mechanical and geological properties. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 8, 341-349.
- Kurtuluş, C.** (2002). Sismik arama teori ve uygulama. *Kocaeli Üniversitesi Yayınları*, 55, Kocaeli.
- Ladegaard-Pedersen, A., Dally, J.W.** (1975). A review of factors affecting damage in blasting, *University of Maryland Mechanical Engineering Department*, Australia.
- Langefors, U., Kihlström, B. and Westerberg, H.** (1957). Ground vibrations in blasting. *Water Power*.
- Langefors, U.** (1963). The Modern Technique of Rock Blasting. *Wiley Publishers*, Newyork, USA.
- Langefors, U., Kihlström, B.** (1973). Rock Blasting. *John Wiley and Sons*, New York.
- Langefors, U., Kihlström, B.** (1978). The Modern Technique of Rock Blasting. Stockholm-Sweden.
- Leucci, G., Giorgi L.D.**(2006). Experimental studies on the effects of fracture on the P and S wave velocity propagation in sedimentary rock (calcarenite del salento). *Engineering Geology*, 84, 3-4, 130-142.
- Long, J.C.S., Witherspoon, P.A.** (1985). The relationship of the degree of interconnection to permeability in fracture networks. *J.Geophys. Res.*, 90, 3087-3098.
- Marwala, T., Chakraverthy, S.** (2006). Fault classification in structures with incomplete measured data using autoassociative neural networks and genetic algorithm. *Curr Sci India*, 90, 542-548.
- Mckenzie, C.** (1990). Quarry blast monitoring technical and environmental perspective. *Quarry Management*, 23-9.
- Mesec, J., Kovac, I. and Soldo, B.** (2010). Estimation of particle velocity based on blast event measurements at different rock units. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30, 1004-1009.
- Miller, G.F., Pursey, H.** (1955). On the partition energy between elastic waves in a semi-infinite solid. *Proc. Roy. Soc. Lond*, 233, 55-69.
- Mitchell, M.** (1995). Genetic algorithms: An overview. *Wiley Online Library*, 9p.
- Mohamed, M.T.** (2009). Artificial neural network for prediction and control of blasting vibrations in Assiut (Egypt) limestone quarry. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 46, 426-431.
- Mohamed, M.T.** (2011). Performance of fuzzy logic and artificial neural network in prediction of ground and air vibrations. *Int J Rock Mech Min Sci*, 48(5), 845-851.
- Mohebi, J., Shirazi, A.J. and Tabatabaee, H.** (2015). Adaptive-neuro fuzzy inference system (ANFIS) model for prediction of blast-induced ground vibration. *Sci.Int.(Lahore)*, 27(3), 2079-2091.
- Mokfi, T., Shahnazar, A., Bakhshayeshi, I., Derakhsh, A.M. and Tabrizi, O.** (2018). Proposing of a new soft computing-based model to predict peak particle velocity induced by blasting. *Engineering with Computers*, 1-8.
- Monjezi, M., Amiri, H., Farrokhi, A. and Goshtasbi, K.** (2010). Prediction of rock fragmentation due to blasting in Sarcheshmeh copper mine using artificial neural networks. *Geotechnical and Geological Engineering*, 28, 423-430.
- Monjezi, M., Hasanipanah, M. and Khandelwal, M.** (2013). Evaluation and prediction of blast-induced ground vibration at Shur River Dam Iran by artificial neural network. *Neural Comput Appl*, 22, 1637-1643
- Muhlenbein, H.** (1989). Parallel genetic algorithms, population genetics and combinatorial optimization. *Proceedings of the Third International Conference on Genetic Algorithms*, 416-421.
- Narin, R., Kavuşan, G.** (1993). Kalburçayırını linyit yatağının jeolojisi. *Yer Bilimleri*, 10(1), 43-47, Sivas.
- Nicholls, H.R., Johnson, C.F. and Duvall, W.I.** (1971). Blasting vibrations and their effects on structures. *United States Department of Interior Bulletin 656*, USA.
- Nitromak.** (2001) Patlayıcı maddeler ve patlatma teknikleri, *Nitromak DNX*, Ankara.
- Olofsson, S.O.** (1988). Applied Explosives Technology for Construction and Mining. Sweden.
- Ögütçü, Z., Horasan, G. and Kalafat, D.**, Investigation of micro seismic activity sources in Konya and its vicinity, Central Turkey, Natural Hazard, (in Press), 2011.

- Özkahraman, H. T.**, (1994). Critical evaluation of blast design parameters for discontinuous rocks by blasting. *METU Graduate School of Natural and Applied Sciences* (Ph.D. Thesis), Ankara.
- Özmen, H.** (2006). Patlatma kaynaklı yer hareketinin modellenmesi ve yapı üzerindeki etkilerinin incelenmesi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), Trabzon.
- Pal, R.P.** (1993). Putting ground vibration predictors into practice. *Colliery Guardian*, 241, 63-7.
- Pal, R.P.** (2005). Rock Blasting. *IBH Publishing*, New Delhi: Oxford.
- Palmström, A.** (1982). The volumetric joint count—a useful and simple measure of the degree of rock jointing. *Proc. 4th Congr. Int. Assn. Eng. Geol.*, 221-228, Delhi.
- Parida, A., Mishra, M.K.** (2015), Blast vibration analysis by different predictor approaches—a comparison. *Procedia Earth and Planetary Science*, 11, 337-345.
- Parlak, T.** (1997). Bir termik santrali besleyecek kömür sahasının açık işletme dizaynı ve planlaması. *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Doktora Tezi), İstanbul.
- Prakash, A.J., Palroy, P. and Misra, D.D.** (2004). Analysis of blast vibration characteristics across a trench and a pre-split plane. *International Journal for Blasting and Fragmentation*, 51-60.
- Priest, S.D., Hudson, J. A.** (1976). Discontinuity spacings in rock. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech.*, 13(5), 135-48.
- Richart, F.E., Hall, J.R. and Woods, R.D.** (1970). Vibration Soil and Foundations. *Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall*.
- Rockwell, E.H.** (1934). Vibrations caused by blasting and their effect on structures. *DE: Hercules Powder Co.*,
- Roy, P.P.** (1991). Vibration control in an opencast mine based on improved blast vibration predictors. *Mining Science and Technology*, 12, 157-165.
- Rustan, P.A.** (1990). Burden spacing and borehole diameter at rock blasting. the 3<sup>rd</sup> International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting.
- Samareh, H., Hassan, K., Kouros, K., Ebadzadeh, S. and Eslamie, M.M.** (2017). Optimization of a nonlinear model for predicting the ground vibration using the combinational particle swarm optimization-genetic algorithm. *Journal of African Earth Sciences*, 133, 36-45.
- Sheykhi, H., Bagherpour, R., Ghasemi, E. and Kalhori, H.** (2018), Forecasting ground vibration due to rock blasting: a hybrid intelligent approach using support vector regression and fuzzy C-means clustering. *Engineering with Computers*, 34, 357-365.
- Shoop, S.A., Daemen, J.J.K.** (1983). Sire-specific predictions of ground vibrations induced by blasting. *AIME Spring Meeting*, Atlanta.
- Singh, D.P., Sastry, V.R.** (1986). Rock fragmentation by blasting: influence of joint filling material. *J. Explosive Eng.*, 18-27.
- Singh, S.P.** (1993). prediction and determination of explosive induced damage. 4<sup>th</sup> International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, Vienna, Austria.
- Singh, T.N.** (2004). Artificial neural network approach for prediction and control of ground vibrations in mines. *Min Technol (Trans Inst Min Metall A)*, 113(4), A251-A256.
- Singh, T.N., Singh, V.** (2005) An intelligent approach to predict and control ground vibration in mines. *Geotech Geol Eng*, 23, 249-262.
- Siskind, D.E., Fumanti, R.R.** (1974), Blast-produced fractures in Lithuania granite. *US Bureau*
- Siskind, D.E., Stagg, M.S., Kopp, J.W. and Dowding, C.H.** (1980). Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting, *USBM RI 8507*, USA
- Siskind, D.E., Stagg, M.S., Kopp, J.W. and Dowding, C.H.** (1983). Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting. *RI 8507*, Bureau of Mines, 74 p.
- Siskind, D.E., Crum, S.V., Otterness, R.E. and Kopp, J.W.** (1989). Comparative study of blasting vibrations from Indiana surface coal mines. *USBM RI 9226*.
- Siyako, M., Bürkan, K.A. ve Okay, A.İ.** (1989). Biga ve Gelibolu yarımadalarının tersiyer jeolojisi ve hidrokarbon olanakları. *Turkish Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 1, 183-199.
- Srbulov, M.** (2010). Ground vibration engineering: simplified analyses with case studies and examples, *Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering*.
- Stagg, M.S., Engler, A.J.** (1980). Measurement of blast-induced ground vibrations and seismograph calibration. *USBM RI-8506*.

- Syswerda, G., Palmucci, J.** (1991). The application of genetic algorithms to resource Scheduling. *In Proceeding of the Fourth International Conference on Genetic Algorithms.*
- Şengör, A.M.C.** (1979). The North Anatolian transform fault: 1st Age, offset and tectonic significance. *J. Geol. Soc. London*, 136, 269-282.
- Takagi, T., Sugeno, M.** (1985). Fuzzy identification of systems and its applications to modelling and control, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 15, 116-132.
- Tamrock.** (1984). Handbook of Surface Drilling and Blasting, Finland.
- Tang, W., Xia, W. and Ouyang, C.** (2004). Measurement and analysis of vibration in blasting demolition of a highrise building. *Engineering Blasting*, 19-21.
- Taşkın, F.B.** (1999). Tunçbilek yeraltı işletmesi uzunayak madenciliğinde uygulanan topukların optimum boyutlandırılması. *Osmangazi Üniversitesi (Doktora Tezi)*, Eskişehir.
- Tercan, A.E., Karayığit, A.I.** (2001). Estimation of lignite reserve in the Kalburcayırı field, Kangal basin, Sivas-Turkey. *International Journal of Coal Geology*, 47, 91-100.
- Thoenen, J.R., Windes, S.L.** (1942). Seismic effects on quarry blasting. *U.S. Bureau of Mines Bulletin 442*, USA.
- Timur, E.** (1969). Tünel mühendisliğinde jeoteknik etüd ve uygulamada karşılaşılan bazı problemler. *Kaya Mekaniği Üzerine Makaleler DSİ.*
- Trifunac, M.D, Brady, A.G.** (1975). A study of the duration of strong earthquake ground motion. *BSSA*, 65, 581-626.
- Tsoukalas, L., Uhrig, R.** (1996). Neuro fuzzy approach for anticipatory control of complex systems. *IEEE International Conference in Fuzzy Systems*, 1, 587-593.
- Utku, M.** (1976). Sivas-Kangal kömür yatağı raporu. *MTA Raporu 5608*, 38.
- Vorobev, I.T., Nelyubov, V., Pozdnyakov, V.V. and Lemesh, N.I.** (1973). Features of the development and propagation of the rayleigh surface wave in the dzhezkazgan deposit. *Soviet Mining Science*, 8, 6:634-639.
- Watkins, J.S., Walters, L.A. and Godson, R.H.** (1972). dependence of in situ compressional wave velocity on porosity in unsaturated rocks. *Geophysics*, 37, 29-35.
- Wei, Z.Q., Egger, P. and Descoedres, F.** (1995). Permeability predictions for jointed rockmass. *Int. J. Rock Mech. Sci. Geomech.*, 251-261.
- Wickham, G.E., Tiedemann, H. R. and Skinner, E. H.,** (1972). Support determination based on geologic predictions. *North American Rapid Excavation and Tunneling Conf.*, 43-64.
- Wiss, J.F., Linehan, P.W.** (1978). Control of Vibration and Air Noise from Surface Coal Mines. *III. US Bureau of Mines Report OFR103*, 623 p.
- Wu, C.Q., Lu, Y., Hao and H., Sun, S.** (2004). Numerical simulation of structural responses on a sand layer to blast induced ground excitations. *Computers and Structures*, 82, 799-814.
- Wüster, J.** (1993). Discrimination of chemical explosions and earthquakes in central Europe-a case study. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 83, 1184-1212.
- Xue, X., Yang, X. and Li, P.** (2017). Evaluation of ground vibration due to blasting using fuzzy logic. *Geotech Geol Eng*, 35, 1231-1237.
- Yalçın, H.** (1989). Neojen yaşlı Kırka (Eskişehir) volkanosedimanter gölsel basenin stratigrafisi ve tektonik özellikleri, *Yerbilimleri*, 1-18.
- Yılmaz, A.** (1998). Sivas havzasının jeodinamik evrimi. *Ofiyolit-Granitoyid İlişkisi ile Gelişen Demir Yatakları Sempozyumu*, 66-82 Sivas.



**EK 1**  
**ANFIS VE REGRESYON ANALİZİ TAHMİN MODELİ GİRİŞ-ÇIKIŞ PARAMETRELERİ ve**  
**TAHMİN SONUÇLARI (TÜM ARAZİ ÇALIŞMALARI)**

## KANGAL

Cihaz kodu	Mesafe (m)	Patlayıcı miktarı (kg)	Özdirenç (Ωm)	S-Dalga Hızı (m/s)	P-Dalga Hızı (m/s)	Delik Sayısı	Delik Boyu (m)	Sıklama Boyu (m)	Delikler Arası Mesafe (m)	Dilim Kalınlığı (m)	Ölçülen PPV (mm/s)	Ölçülen Frekans (Hz)	ANFIS ile tahmin edilen PPV (mm/s)	ANFIS ile tahmin edilen frekans (Hz)	Regresyon analizi ile tahmin edilen PPV (mm/s)	Regresyon analizi ile tahmin edilen frekans (Hz)
B1	140	270	69,98	281,67	516,67	10	13,5	4,5	8,47	9,30	27,60	4	27,58044121	5,125695326	-	-
B6	206	270	71,81	314,56	550,38	10	13,5	4,5	8,47	9,30	20,60	32	20,60938426	31,95397425	-	5,07
B2	256	270	75,3	348,52	575,56	10	13,5	4,5	8,47	9,30	18,00	7,1	18,01865038	8,025119434	-	11,97
B5	308	270	77,68	374,64	592,86	10	13,5	4,5	8,47	9,30	16,50	16	16,52502822	16,02712152	-	12,22
B3	370	270	79,89	382,22	606,67	10	13,5	4,5	8,47	9,30	13,20	17	13,27928123	17,025941	-	10,85
B7	421	270	81,91	405	626,47	10	13,5	4,5	8,47	9,30	9,40	14	10,01529457	14,05122356	-	14,3
B4	471	270	88,67	413,33	633,33	10	13,5	4,5	8,47	9,30	6,86	15	7,81444319	15,04027235	-	12,67
B2	151	350	228,61	451,29	1017,07	4	18	9,25	8,53	6,1	37,1	8,4	37,14018135	8,935699443	-	22,47
B4	206	350	230,97	464,02	1125	4	18	9,25	8,53	6,1	41,9	6,3	41,92915484	7,440487899	-	17,06
B2	234	450	222,6	438,08	928,75	10	19	8	6,75	8,6	26,2	9,7	26,24551077	10,16333004	25,11	13,4
B6	284	450	227,06	502,26	1024,84	10	19	8	6,75	8,6	26,4	11	26,44073667	11,41490146	19,83	11,72
B7	333	450	228,73	529,18	1135,61	10	19	8	6,75	8,6	15,9	6	16,08491731	7,141787797	18,98	11,97
B1	99	270	129,94	382,63	718,42	5	13	5,5	9,5	10,00	57,40	7,4	57,34645114	8,492867611	85,31	16,13
B6	192	270	142,27	409,09	760,91	5	13	5,5	9,5	10,00	25,70	4,5	25,72774188	5,642557112	32,4	12,42
B2	271	270	147,73	412,25	767,89	5	13	5,5	9,5	10,00	18,70	4,2	18,73684059	5,34374172	16,13	9,84
B5	320	270	149,14	425,36	792,86	5	13	5,5	9,5	10,00	20,80	47	20,83396678	46,98738157	18,61	8,39
B3	383	270	152,96	433,64	818,1	5	13	5,5	9,5	10,00	22,20	37	22,2349211	37,01152495	13,97	10,02
B7	426	270	162,26	540	869,63	5	13	5,5	9,5	10,00	16,90	39	16,94580714	39,01110043	13,68	13,85
B4	520	270	168,37	579,07	1061,63	5	13	5,5	9,5	10,00	20,60	5,4	20,64374077	6,541829509	12,39	14,94
B3	148	350	96,29	397,14	762,86	4	18	9,25	8,53	6,1	83,4	12	83,14331317	12,22217959	90,67	21,5

B5	220	350	69,57	464,84	791,83	4	18	9,25	8,53	6,1	27,4	7,3	27,38270234	8,412729183	45,33	15,69
B1	164	255	196,3	434,44	703,33	3	11,5	5,5	12,35	7,90	69,00	7	68,97923347	7,35208361	34,14	18,16
B6	215	255	201,23	449,69	965,41	3	11,5	5,5	12,35	7,90	25,50	7,8	25,53593215	7,998043965	31,64	13,35
B2	263	255	205,41	462,89	1016,86	3	11,5	5,5	12,35	7,90	30,10	34	30,13028013	34,02616674	24,41	12,92
B5	316	255	209,66	482,57	1049,49	3	11,5	5,5	12,35	7,90	14,90	3,6	14,95545267	4,722595627	18,05	13,16
B3	363	255	212,59	505,69	1074,51	3	11,5	5,5	12,35	7,90	21,10	30	21,14444494	30,03552769	15,05	12,85
B7	414	255	215,24	539,98	1108,86	3	11,5	5,5	12,35	7,90	10,20	6	10,3156707	7,119189042	12,93	11,44
B4	471	255	218,39	592,81	1161,82	3	11,5	5,5	12,35	7,90	7,24	3,7	7,506096252	4,817656102	12,82	13,56
B1	217	250	70,95	360,81	460,27	1	14	6,5	0	6,4	16,6	2,4	16,61849472	3,513321639	25,71	12,53
B6	267	250	82	446,67	738,33	1	14	6,5	0	6,4	19,9	7,4	19,90415598	7,645823078	13,84	11,4
B1	232	225	70,95	360,81	460,27	1	13	6	0	7,7	14,7	7,9	14,72870434	8,078345745	19,61	9,06
B6	281	225	82	446,67	738,33	1	13	6	0	7,7	16,9	32	16,91959883	31,94735406	16,55	10,46
B1	242	200	70,95	360,81	460,27	1	12	6	0	8,3	11,8	7,8	11,85324736	7,886485426	20,09	10,98
B6	292	200	82	446,67	738,33	1	12	6	0	8,3	18,2	30	18,20908643	29,9573638	15,21	12,94
B1	453	280	70,95	360,81	460,27	8	13	6	7,38	3	9,14	2,9	9,525252398	4,0293014	10,32	8,45
B6	503	280	82	446,67	738,33	8	13	6	7,38	3	8,25	2,6	8,712274157	3,732740039	9,19	9,54
B2	206	250	222,6	438,08	928,75	1	14	6,5	0	6,4	27,7	7,6	27,72726086	7,848513173	24,45	9,82
B7	310	250	228,73	529,18	1135,61	1	14	6,5	0	6,4	16,4	8	16,460653	8,234711484	13,19	10,41
B4	260	250	227,06	502,26	1024,84	1	14	6,5	0	6,4	23	6	23,03358005	7,02239242	22,21	9,24
B2	216	225	222,6	438,08	928,75	1	13	6	0	7,7	26,3	6,3	26,3267221	7,345082437	25,4	10,72
B7	320	225	228,73	529,18	1135,61	1	13	6	0	7,7	10,3	27	10,43426978	27,03102863	16,6	8,11
B4	270	225	227,06	502,26	1024,84	1	13	6	0	7,7	19,3	6,3	19,34068364	7,344059698	15,51	11,1
B2	227	200	222,6	438,08	928,75	1	12	6	0	8,3	20,8	57	20,83399032	56,99103548	23,05	11,32
B7	330	200	228,73	529,18	1135,61	1	12	6	0	8,3	9,91	27	10,02304795	27,03392462	12,62	12,34
B4	281	200	227,06	502,26	1024,84	1	12	6	0	8,3	22,7	43	22,73479438	43,01313122	14,1	17,33
B2	442	280	222,6	438,08	928,75	8	13	6	7,38	3	9,91	2,8	10,22696808	3,931759925	9,76	13,02

B4	495	280	228,73	529,18	1135,61	8	13	6	7,38	3	9,27	3,1	9,649474271	4,222259741	9,49	12,33
B7	544	280	227,06	502,26	1024,84	8	13	6	7,38	3	8,13	3	8,603092562	4,124792114	6,02	8,22
B5	248	250	86,67	435,47	894,65	1	14	6,5	0	6,4	28,1	47	28,07077564	46,88579205	23,43	12,8
B3	201	250	90,54	398,14	763,22	1	14	6,5	0	6,4	29,2	7,5	29,17238681	7,745196657	29,86	14,01
B5	250	225	86,67	435,47	894,65	1	13	6	0	7,7	25	51	24,98309706	50,86694005	23,48	15,97
B3	204	225	90,54	398,14	763,22	1	13	6	0	7,7	26,3	7,5	26,28184904	7,697445428	27,24	15,7
B5	259	200	86,67	435,47	894,65	1	12	6	0	8,3	19,6	47	19,60574316	46,88619475	20,45	18,75
B3	213	200	90,54	398,14	763,22	1	12	6	0	8,3	23,7	57	23,69050009	56,85122467	24,98	16,69
B3	455	280	86,67	435,47	894,65	8	13	6	7,38	3	8,25	100	8,712713184	99,67671406	10,99	18,53
B5	414	280	90,54	398,14	763,22	8	13	6	7,38	3	8,76	3	9,180936667	4,125697094	9,59	19,73

**BIGADIÇ**

Cihaz kodu	Mesafe (m)	Patlayıcı miktarı (kg)	Özdirenç (Ωm)	S-Dalga Hızı (m/s)	P-Dalga Hızı (m/s)	Delik Sayısı	Delik Boyu (m)	Sıkılama Boyu (m)	Delikler Arası Mesafe (m)	Dilim Kalınlığı (m)	Ölçülen PPV (mm/s)	Ölçülen Frekans (Hz)	ANFIS ile tahmin edilen PPV (mm/s)	ANFIS ile tahmin edilen frekans (Hz)	Regresyon analizi ile tahmin edilen PPV (mm/s)	Regresyon analizi ile tahmin edilen frekans (Hz)
B1	144	60	19,73	530	1425	76	8	4,8	4,66	5,18	16,90	14	17,10350601	14,3029917	24,09	22,39
B2	276	60	24,52	498	1312	76	8	4,8	4,66	5,18	9,27	12	9,696241385	12,38898522	11,29	12,25
B5	216	60	63,28	553	1972	76	8	4,8	4,66	5,18	21,30	13	21,66253351	13,42398643	13,45	18,48
B7-2	298	60	70,35	616	1997	76	8	4,8	4,66	5,18	12,70	15	13,12678592	15,41357711	11,12	12,68
B4	223	60	38,19	500	1375	76	8	4,8	4,66	5,18	11,20	14	11,62324319	14,39840907	18,99	17,94
B1	147	60	65,30	590	1975	68	8	4,8	11,75	6,53	18,40	15	18,79314959	15,41734022	29,25	16,99
B6	195	60	49,15	450	1453	68	8	4,8	11,75	6,53	7,75	21	8,238492765	21,36100707	15,39	18,35
B2	98	60	55,78	490	1965	68	8	4,8	11,75	6,53	23,70	11	24,0291957	11,43886867	31,02	20,35
B5	248	60	48,74	520	1520	68	8	4,8	11,75	6,53	7,11	28	7,628888864	28,24872846	8,67	17,14
B3	285	60	49,98	530	1635	68	8	4,8	11,75	6,53	4,32	30	5,445714603	30,2138707	7,08	15,64
B7-1	138	60	21,47	460	1398	68	8	4,8	11,75	6,53	45,70	8,1	45,26972515	8,580698937	22,39	25,1
B2-4	195	60	18,05	425	1335	68	8	4,8	11,75	6,53	39,10	8,7	38,6797087	9,170485649	18,88	18,55
B4	236	60	78,14	515	1978	68	8	4,8	11,75	6,53	13,30	32	13,73190961	32,26919211	17,65	16,57
B1	275	60	79,55	595	2050	54	8	4,7	4,97	5,95	5,46	7	6,281805924	7,484475391	13	17,31
B6	148	60	49,56	430	1505	54	8	4,7	4,97	5,95	7,62	4,2	8,084859875	5,333268647	22,33	20,66
B2	190	60	46,43	468	1595	54	8	4,7	4,97	5,95	6,22	9	6,759538993	9,446856787	9,97	13,99
B5	195	60	68,41	600	2005	54	8	4,7	4,97	5,95	10,40	16	10,83673825	16,38858384	7,92	13,77
B3	296	60	17,45	489	1435	54	8	4,7	4,97	5,95	10,80	9,3	11,16691871	9,711685059	6,33	12,4
B7-2	155	60	69,29	610	1985	54	8	4,7	4,97	5,95	6,35	27	6,87355217	27,24586008	19,8	15,4



B4	445	60	79,55	595	2050	11	8	4,7	11,80	2,77	1,78	37	2,906126111	36,96889144	3,94	14,43
B1	152	60	49,56	430	1505	11	8	4,7	11,80	2,77	6,60	73	7,148473189	72,50368038	11,31	24,62
B6	194	60	46,43	468	1595	11	8	4,7	11,80	2,77	7,87	11	8,345857752	11,11716634	7,36	26,94
B2	173	60	43,74	510	1620	11	8	4,7	11,80	2,77	8,00	11	8,465036616	11,11531864	8,71	28,05
B5	371	60	68,41	600	2005	11	8	4,7	11,80	2,77	2,29	30	3,409401812	29,9919517	3,27	18,13
B3	476	60	17,45	489	1435	11	8	4,7	11,80	2,77	4,70	11	5,390345574	11,12057431	2,67	19,85
B7-2	335	60	69,29	610	1985	11	8	4,7	11,80	2,77	1,65	15	2,776143655	15,06573482	5,29	20,52
B4	290	55	37,16	491	1501	63	8	5,0	7,76	4,66	4,83	14	5,753145428	14,40400989	5,46	16,94
B1	227	55	59,25	524	1465	63	8	5,0	7,76	4,66	13,7	8	14,11556755	8,450603622	6,87	18,26
B2	223	55	58,13	569	1605	63	8	5,0	7,76	4,66	7,37	28	7,824185833	28,24716751	12,82	16,76
B5	287	55	59,12	580	1659	63	8	5,0	7,76	4,66	3,94	6,2	5,052995656	6,662242262	7,12	16,51
B3	284	55	66,15	678	1925	63	8	5,0	7,76	4,66	6,35	24	6,810713439	24,32084384	5,07	16,28
B7-2	233	55	49,75	594	1803	63	8	5,0	7,76	4,66	9,52	28	9,962588213	28,21342085	7,16	16,21
B4	309	55	37,16	491	1501	63	8	5,0	4,60	6,20	2,92	27	4,036048608	27,11115204	6,64	19,33
B1	274	55	59,25	524	1465	63	8	5,0	4,60	6,20	9,27	7,2	9,715971296	7,680771053	6,13	19,66
B6	260	55	48,19	563	1742	63	8	5,0	4,60	6,20	4,95	7,3	6,086252266	7,777478899	8,97	20,03
B2	260	55	58,13	569	1605	63	8	5,0	4,60	6,20	2,92	37	4,038441516	37,05004709	6,58	15,45
B5	322	55	59,12	580	1659	63	8	5,0	4,60	6,20	1,78	16	2,896564903	16,39194718	3,55	18,05
B3	311	55	66,15	678	1925	63	8	5,0	4,60	6,20	2,79	27	3,908545316	27,26955972	3,04	18,59
B7-2	250	55	49,75	594	1803	63	8	5,0	4,60	6,20	4,83	19	5,965771762	19,35104268	5,3	21,07
B4	339	55	37,16	491	1501	63	8	5,0	2,48	6,09	4,19	26	5,319277186	26,12745252	4,04	20,57
B1	317	55	59,25	524	1465	63	8	5,0	2,48	6,09	11,80	9	12,22231181	9,444649153	4,63	21,39
B6	283	55	48,19	563	1742	63	8	5,0	2,48	6,09	6,86	8,5	7,346700774	8,948982339	9,7	21,45
B2	300	55	58,13	569	1605	63	8	5,0	2,48	6,09	4,19	32	5,319032227	32,14495969	7,16	17,37
B5	361	55	59,12	580	1659	63	8	5,0	2,48	6,09	3,05	24	4,171364619	24,29063577	4,38	18,98
B3	346	55	66,15	678	1925	63	8	5,0	2,48	6,09	3,68	23	4,804227379	23,31705373	4,77	20,85

B7-2	280	55	49,75	594	1803	63	8	5,0	2,48	6,09	4,83	39	5,968483429	38,92670403	5,53	23,03
B4	227	75	35,25	572	1690	64	9	4,4	5,00	6,92	5,46	12	6,470947009	12,42550782	8,9	27,05
B6	194	75	38,30	533	1511	64	9	4,4	5,00	6,92	7,11	9,7	7,676288165	10,15839478	9,56	27,05
B2	197	75	42,90	545	1625	64	9	4,4	5,00	6,92	9,27	16	9,73782882	16,38572884	9,11	22,37
B5	196	75	40,50	511	1498	64	9	4,4	5,00	6,92	6,35	18	7,045277252	18,35388021	8,58	22,16
B3	209	75	39,70	515	1500	64	9	4,4	5,00	6,92	6,22	30	6,950904253	30,08497395	9,46	21,36
B7-2	280	75	38,15	520	1536	64	9	4,4	5,00	6,92	3,68	20	4,812502969	20,31194792	4,87	21,47
B4	488	75	35,25	572	1690	19	8	4,4	3,74	2,24	1,40	11	2,532654728	11,3429325	2,22	22,08
B6	481	75	38,30	533	1511	19	8	4,4	3,74	2,24	1,52	6,7	2,653213767	7,19488507	2,1	20,48
B2	481	75	42,90	545	1625	19	8	4,4	3,74	2,24	1,40	9,8	2,533065212	10,19841114	1,92	17,74
B5	469	75	40,50	511	1498	19	8	4,4	3,74	2,24	1,27	6,9	2,403237561	7,389063367	2,08	16,19
B3	473	75	39,70	515	1500	19	8	4,4	3,74	2,24	1,40	20	2,533145201	19,95996597	2,05	15
B7-2	553	75	38,15	520	1536	19	8	4,4	3,74	2,24	1,14	19	2,273405273	18,97691045	1,85	14,45
B4	224	75	42,15	568	1458	55	8	3,8	6,00	3,58	11,90	9,7	12,31492807	10,13377476	5,44	18,86
B1	224	75	49,20	579	1525	55	8	3,8	6,00	3,58	8,76	9,7	9,201870522	10,13529519	7,55	17,04
B6	189	75	52,30	649	1776	55	8	3,8	6,00	3,58	14,60	34	14,99377169	34,0484737	11,63	17
B2	193	75	55,90	554	1512	55	8	3,8	6,00	3,58	8,89	30	9,331114789	30,15849827	11,44	18,42
B5	199	75	63,30	672	1890	55	8	3,8	6,00	3,58	13,80	30	14,20585092	30,18635814	10,31	21,77
B3	227	75	70,50	592	1526	55	8	3,8	6,00	3,58	7,37	20	7,821292272	20,346932	8,31	21,84
B7-1	213	75	73,20	697	1961	55	8	3,8	6,00	3,58	13,00	39	13,41460254	39,05574808	9,4	23,92
B7-2	188	75	78,90	586	1524	55	8	3,8	6,00	3,58	15,40	28	15,79461028	28,24899889	12,22	25,77
B4	397	75	58,25	565	1689	10	8	3,8	2,62	4,32	3,81	5,8	4,91898905	6,357574725	4,62	28,89
B1	409	75	59,36	574	1686	10	8	3,8	2,62	4,32	2,92	5,8	4,056769583	6,357553213	4	22,55
B6	453	75	32,24	492	1335	10	8	3,8	2,62	4,32	1,27	7,8	2,405505206	8,261836938	3,55	17,93
B2	405	75	52,21	509	1627	10	8	3,8	2,62	4,32	2,54	6,9	3,675339042	7,426911341	2,71	16,35
B5	443	75	25,89	453	1312	10	8	3,8	2,62	4,32	1,40	24	2,534187764	23,69752322	2,48	14,47

B3	424	75	62,98	578	1696	10	8	3,8	2,62	4,32	2,67	6,6	3,806618517	7,137562582	2,34	15,41
B7-1	447	75	48,14	462	1409	10	8	3,8	2,62	4,32	1,40	7,3	2,534682008	7,806730108	2,35	15,18
B7-2	416	75	45,29	416	1498	10	8	3,8	2,62	4,32	1,78	11	2,913016079	11,0472653	2,62	12,79
B4	490	75	75,26	719	1757	40	9	4,4	3,77	6,42	3,56	4,3	4,697938867	5,440088639	1,74	11,29
B1	252	75	56,29	613	1665	40	9	4,4	3,77	6,42	8,13	4,8	8,611587087	5,917711552	7,6	11,54
B6	157	75	46,34	561	1646	40	9	4,4	3,77	6,42	16,90	12	17,22689873	12,4105468	18,77	11,86
B2	567	75	55,92	554	1696	40	9	4,4	3,77	6,42	2,29	4,2	3,418400635	5,336665823	2,78	8,32
B5	201	75	53,37	594	1654	40	9	4,4	3,77	6,42	9,14	9,3	9,598073855	9,755230862	9,63	10,8
B3	242	75	60,53	653	1676	40	9	4,4	3,77	6,42	6,60	5,7	7,174458891	6,504936936	9,31	9,54
B7-1	237	75	63,24	679	1681	40	9	4,4	3,77	6,42	4,44	4,9	5,577059565	6,006763375	7,2	9,9
B7-2	440	75	68,97	706	1724	40	9	4,4	3,77	6,42	3,68	5,1	4,818299459	6,163902634	2,84	7,21
B4	205	55	56,19	523	1468	64	9	5,5	7,08	5,53	12,20	11	12,62933122	11,43689744	8,54	8,54
B1	229	55	53,27	517	1413	64	9	5,5	7,08	5,53	9,52	10	9,96507515	10,4423279	10,03	8,39
B6	276	55	50,94	486	1394	64	9	5,5	7,08	5,53	4,70	17	5,810489169	17,3888593	6,7	8,99
B2	194	55	38,47	414	1315	64	9	5,5	7,08	5,53	8,89	23	9,338638111	23,26225627	8,5	10,59
B5	231	55	48,13	428	1348	64	9	5,5	7,08	5,53	6,86	17	7,319994133	17,38773914	7,44	12,54
B3	152	55	35,72	409	1307	64	9	5,5	7,08	5,53	6,73	10	7,189680287	10,43980403	12,16	14,79
B7-1	191	55	33,46	400	1300	64	9	5,5	7,08	5,53	6,60	24	7,061349434	24,1875192	8,49	14,18
B7-2	310	55	52,31	469	1408	64	9	5,5	7,08	5,53	4,57	10	5,68004008	10,44321426	3,25	12,97
B4	289	55	56,93	529	1468	58	8	5,0	5,97	9,20	4,44	7,6	5,575390639	8,409945504	4,95	14,6
B1	282	55	55,32	517	1494	58	8	5,0	5,97	9,20	5,08	8,5	6,214931356	9,143014433	6,37	12,65
B6	232	55	50,94	486	1452	58	8	5,0	5,97	9,20	4,19	11	5,323129223	11,48126507	7,94	13,57
B2	258	55	48,47	464	1431	58	8	5,0	5,97	9,20	6,22	7,2	7,31480229	8,108161846	5,71	12,46
B5	296	55	58,91	528	1518	58	8	5,0	5,97	9,20	3,30	7,8	4,430188345	8,563893235	4,57	12,02
B3	255	55	53,84	500	1500	58	8	5,0	5,97	9,20	3,56	15	4,690341624	15,41085423	5,99	11,34
B7-2	311	55	42,31	419	1427	58	8	5,0	5,97	9,20	2,92	9,7	4,045264754	10,2351887	3,87	11,9

B4	203	60	59,93	529	1495	42	8	4,7	6,57	3,53	8,25	13	8,701367703	13,40216612	6,4	13,76
B1	199	60	52,12	479	1425	42	8	4,7	6,57	3,53	9,02	32	9,463597487	31,99765676	8,71	14,07
B6	216	60	57,94	486	1442	42	8	4,7	6,57	3,53	3,56	15	4,690676313	15,37741409	7,55	15,84
B2	262	60	58,47	504	1481	42	8	4,7	6,57	3,53	4,06	13	5,030225079	13,4027505	4,55	16,34
B5	282	60	58,91	528	1491	42	8	4,7	6,57	3,53	3,43	20	4,563663242	20,29855818	3,74	15,22
B3	158	60	49,07	465	1420	42	8	4,7	6,57	3,53	8,25	24	8,700399092	24,18956632	10,17	19,55
B7-1	196	60	51,64	477	1425	42	8	4,7	6,57	3,53	5,21	28	5,733530625	28,09756365	7,32	19,44
B7-2	218	60	41,71	419	1394	42	8	4,7	6,57	3,53	6,73	20	7,200682354	20,26310631	5,29	20,88
B4	360	60	64,33	529	1495	50	8	5,5	3,51	11,78	1,78	13	2,910970454	13,48533846	2,99	18,58
B1	395	60	61,72	479	1384	50	8	5,5	3,51	11,78	4,57	43	5,70777549	42,87238952	2,83	17,69
B6	272	60	66,94	486	1442	50	8	5,5	3,51	11,78	5,08	20	6,217816046	20,33927239	6,58	22,21
B2	225	60	69,87	504	1481	50	8	5,5	3,51	11,78	7,87	9,3	8,928253067	10,12241812	9,32	25,74
B5	309	60	65,41	528	1491	50	8	5,5	3,51	11,78	5,33	23	6,468639521	23,28525945	4,64	19,86
B3	499	60	58,94	477	1325	50	8	5,5	3,51	11,78	1,52	18	2,65148096	18,3642127	2,89	18,28
B7-2	173	60	71,41	549	1594	50	8	5,5	3,51	11,78	15,40	30	15,82048143	30,16989716	10,03	25,33
B4	331	60	62,56	559	1595	13	6	5,0	4,58	3,74	3,05	16	4,185345541	16,04243032	4,88	25,7
B1	422	60	52,72	507	1434	13	6	5,0	4,58	3,74	3,43	20	4,565878036	19,98978818	3,18	24,03
B6	290	60	53,19	526	1542	13	6	5,0	4,58	3,74	4,19	28	5,227247947	27,91083502	4,85	25,27
B2	552	60	50,12	511	1481	13	6	5,0	4,58	3,74	3,17	34	4,306204535	33,8143552	2,2	23,13
B5	379	60	54,45	542	1498	13	6	5,0	4,58	3,74	3,81	23	4,936228331	22,96622397	3,52	27,04
B3	607	60	49,57	495	1430	13	6	5,0	4,58	3,74	1,40	27	2,533282754	26,89796593	2,41	25,36
B7-1	666	60	47,74	464	1425	13	6	5,0	4,58	3,74	1,40	32	2,532481311	31,81951911	1,63	24,39
B7-2	495	60	52,21	517	1584	13	6	5,0	4,58	3,74	1,27	23	2,401803195	22,9599447	2,34	29,7
B4	154	55	40,95	568	1698	58	8	5,0	3,94	4,88	17,80	34	18,1366639	33,94317464	9,84	33,39
B1	368	55	55,20	679	1825	58	8	5,0	3,94	4,88	6,48	37	6,934236362	36,99523745	3,76	27,56
B6	309	55	75,54	614	1912	58	8	5,0	3,94	4,88	4,32	17	5,433998784	17,38470237	5,33	30,88

B5	420	55	60,10	687	1860	58	8	5,0	3,94	4,88	2,16	26	3,277656822	26,24947555	4,24	27,86
B3	256	55	45,50	602	1790	58	8	5,0	3,94	4,88	9,78	27	10,2130391	27,16691541	5,7	30,49
B7-1	204	55	43,20	597	1761	58	8	5,0	3,94	4,88	8,38	34	8,822125238	33,96296328	9,51	34,6
B7-2	468	55	68,40	686	1894	58	8	5,0	3,94	4,88	2,16	43	3,277843739	42,96047975	3,08	27,15
B4	154	60	32,56	459	1395	18	8	5,0	2,40	4,60	9,65	13	10,02791043	13,19600527	11,16	47,42
B1	368	60	32,72	407	1365	18	8	5,0	2,40	4,60	3,17	30	4,301833866	29,69286126	4,15	32,75
B6	309	60	35,12	411	1381	18	8	5,0	2,40	4,60	4,70	32	5,790171763	31,6961064	3,71	32,03
B5	420	60	30,45	392	1298	18	8	5,0	2,40	4,60	1,27	15	2,400086088	15,06014235	3,39	32,74
B3	255	60	32,57	415	1360	18	8	5,0	2,40	4,60	8,00	43	8,439549676	42,58227378	4,95	32,77
B7-1	204	60	30,74	424	1359	18	8	5,0	2,40	4,60	8,51	34	8,931120752	33,63955542	8,41	37,07
B7-2	468	60	36,21	374	1284	18	8	5,0	2,40	4,60	1,90	51	3,030482732	50,55698049	3	31,07
B4	444	55	69,95	598	1700	57	9	5,0	5,59	4,58	5,71	32	6,18658969	32,18018951	2,16	29,77
B1	403	55	56,90	479	1625	57	9	5,0	5,59	4,58	2,41	15	3,523748637	15,40432608	4,16	33,72
B6	356	55	61,30	501	1686	57	9	5,0	5,59	4,58	1,65	34	2,76393271	34,10997528	4,32	30,98
B2	311	55	57,54	484	1612	57	9	5,0	5,59	4,58	3,30	18	4,414312387	18,37424235	3,74	32,9
B5	260	55	58,70	490	1615	57	9	5,0	5,59	4,58	3,81	32	4,926690191	32,14146008	4,7	33,74
B3	217	55	65,40	531	1694	57	9	5,0	5,59	4,58	2,29	12	3,404721307	12,42953825	5,89	34,02
B4	304	55	38,26	496	1681	36	9	5,0	2,45	4,09	2,41	8,7	3,535690475	9,146113161	2,72	31,14
B1	280	55	60,95	534	1865	36	9	5,0	2,45	4,09	6,10	7,6	6,591569839	8,064595243	3,25	24,71
B6	326	55	48,99	573	1782	36	9	5,0	2,45	4,09	3,30	32	4,431657943	31,89725497	3,84	21,33
B2	309	55	58,63	589	1805	36	9	5,0	2,45	4,09	3,94	15	5,077546651	15,36269355	4,31	21,36
B5	330	55	59,92	596	1829	36	9	5,0	2,45	4,09	4,06	12	5,195985429	12,40998908	3,79	23,2
B3	353	55	65,06	651	1842	36	9	5,0	2,45	4,09	5,21	17	5,77057818	17,32870373	3,58	19,08
B7-1	348	55	66,45	682	1834	36	9	5,0	2,45	4,09	2,54	26	3,670072391	26,12459405	4,59	20,71
B7-2	279	55	50,25	600	1803	36	9	5,0	2,45	4,09	6,73	11	7,205104717	11,41968942	4,64	21,94
B4	337	55	68,05	658	1688	41	9	5,0	4,89	4,54	5,59	16	6,079334463	16,3676003	4,3	20,85

B1	405	55	59,90	599	1725	41	9	5,0	4,89	4,54	2,41	7,2	3,5318653	7,662712966	3,79	17,73
B6	379	55	63,18	629	1776	41	9	5,0	4,89	4,54	2,79	5,6	3,912290507	6,089571697	3,44	17,93
B2	307	55	62,40	624	1612	41	9	5,0	4,89	4,54	2,29	30	3,413214313	30,07941988	5,01	14,75
B5	357	55	64,01	662	1690	41	9	5,0	4,89	4,54	4,19	19	5,322215299	19,31745331	2,7	16,55
B3	341	55	73,74	727	1976	41	9	5,0	4,89	4,54	4,19	5,8	5,321001889	6,282031516	2,9	18,03
B7-1	365	55	71,34	714	1951	41	9	5,0	4,89	4,54	3,30	7	4,423659721	7,464411524	3,89	15,63
B7-2	350	55	58,70	574	1724	41	9	5,0	4,89	4,54	3,30	5,7	4,421375872	6,185973254	3,86	13,68
B4	388	55	38,07	602	1794	67	9	4,7	8,60	10,80	1,78	32	2,905580825	32,01365155	2,93	11,69
B1	550	55	52,36	637	1872	67	9	4,7	8,60	10,80	1,02	32	2,146557521	32,16439288	1,64	11,71
B6	338	55	37,96	599	1786	67	9	4,7	8,60	10,80	2,67	34	3,797314901	33,9512971	3,64	17,85
B2	598	55	54,92	648	1897	67	9	4,7	8,60	10,80	1,27	20	2,397623365	20,38030226	1,53	16,51
B5	500	55	46,95	628	1865	67	9	4,7	8,60	10,80	1,14	8,7	2,265922589	9,471922804	1,95	19,91
B3	657	55	59,18	659	1914	67	9	4,7	8,60	10,80	2,03	26	3,160097445	26,30438127	1,32	16,21
B7-1	445	55	45,68	619	1827	67	9	4,7	8,60	10,80	1,27	24	2,395696487	24,29970711	2,91	19,54
B4	276	55	35,07	522	1744	19	9	4,7	4,72	3,08	6,48	37	6,998778657	36,64039296	4,8	28,13
B1	226	55	37,96	519	1776	19	9	4,7	4,72	3,08	7,24	37	7,737251829	36,6707047	6,8	31,04
B2	486	55	34,92	528	1737	19	9	4,7	4,72	3,08	1,40	37	2,531298136	36,63422099	2,32	27,83
B5	389	55	36,95	529	1742	19	9	4,7	4,72	3,08	3,05	34	4,170355386	33,68976984	2,37	30,95
B3	334	55	35,68	518	1747	19	9	4,7	4,72	3,08	4,19	37	4,988520763	36,64382025	3,63	35
B4	250	55	48,07	602	1804	48	9	4,7	4,24	2,92	6,35	32	6,840505209	32,00191586	5,37	34,53
B1	409	55	52,36	637	1882	48	9	4,7	4,24	2,92	2,41	19	3,544502453	19,32955887	3,28	31,86
B6	196	55	47,96	599	1794	48	9	4,7	4,24	2,92	11,20	23	11,6286212	23,24045048	8,01	36,29
B2	461	55	54,92	648	1897	48	9	4,7	4,24	2,92	2,29	39	3,424324752	38,88727969	2,68	27,86
B5	358	55	51,95	628	1855	48	9	4,7	4,24	2,92	4,70	43	5,306364074	42,78911231	3,48	31,38
B3	524	55	59,18	659	1921	48	9	4,7	4,24	2,92	2,79	30	3,925897562	30,12004485	2,21	31,89
B7-1	572	55	62,16	679	1928	48	9	4,7	4,24	2,92	1,02	7,5	2,148743255	7,969073444	2,1	31,41

B7-2	299	55	49,68	619	1800	48	9	4,7	4,24	2,92	7,87	26	8,33422604	26,17351506	4,15	32,31
B4	115	55	35,34	456	1415	62	8	4,7	8,88	5,00	14,60	11	14,99501202	11,42935192	18,31	36,29
B1	205	55	48,29	514	1675	62	8	4,7	8,88	5,00	8,00	37	8,452619482	36,98024628	7,41	29,94
B6	257	55	51,58	568	1745	62	8	4,7	8,88	5,00	3,81	24	4,918277296	24,29877338	5,37	25,55
B2	219	55	66,78	689	1994	62	8	4,7	8,88	5,00	5,71	12	6,178638653	12,42909156	5,59	31,8
B5	235	55	52,12	557	1768	62	8	4,7	8,88	5,00	4,95	30	5,607806487	30,18630811	6,05	24,77
B3	185	55	33,25	437	1398	62	8	4,7	8,88	5,00	6,86	14	7,319584625	14,40352892	8,18	29,33
B7-1	218	55	29,73	428	1345	62	8	4,7	8,88	5,00	4,32	15	5,429888718	15,38335486	5,96	25,61
B7-2	242	55	69,45	741	2008	62	8	4,7	8,88	5,00	3,94	16	5,052391111	16,40094198	4,68	23,34
B4	133	60	35,34	456	1415	62	8	4,7	5,30	5,82	4,95	26	6,068732166	26,1343095	11,8	26,5
B1	118	60	48,29	514	1675	62	8	4,7	5,30	5,82	21,20	43	21,5148397	42,85033093	10,91	27,75
B6	169	60	51,58	568	1745	62	8	4,7	5,30	5,82	8,13	32	8,584825481	32,12171202	7,43	27,89
B2	129	60	66,78	689	1994	62	8	4,7	5,30	5,82	6,86	27	7,337924151	27,27025082	14,32	32,15
B5	147	60	52,12	557	1768	62	8	4,7	5,30	5,82	9,78	39	10,21897814	38,96616905	9,28	31,08
B3	205	60	33,25	437	1398	62	8	4,7	5,30	5,82	3,81	32	4,931965769	31,90869875	6,19	30,11
B7-1	229	60	29,73	428	1345	62	8	4,7	5,30	5,82	8,00	32	8,454389202	31,84518673	5,43	31,06
B7-2	152	60	69,45	741	2008	62	8	4,7	5,30	5,82	5,71	18	6,335632042	18,37732114	8,92	35,38
B4	174	60	57,39	619	1670	46	8	4,7	3,48	5,05	10,30	5,8	10,72573678	6,268516907	9,45	33,86
B1	238	60	59,26	720	1769	46	8	4,7	3,48	5,05	6,10	19	6,562727893	19,31885764	4,81	24,13
B6	150	60	53,37	594	1647	46	8	4,7	3,48	5,05	19,90	11	20,19588893	11,41742031	12,19	25,32
B2	273	60	64,24	681	1687	46	8	4,7	3,48	5,05	4,83	26	5,881097812	26,1992865	5,88	21,03
B5	102	60	49,34	563	1643	46	8	4,7	3,48	5,05	30,20	9,5	30,24704343	9,926576745	22,89	26,13
B3	205	60	60,53	654	1674	46	8	4,7	3,48	5,05	7,87	10	8,316583964	10,42895523	8,65	21,86
B4	146	60	57,39	619	1670	31	8	4,6	7,73	3,42	10,50	9,5	10,91824476	9,932670116	12,55	19,78
B1	211	60	59,26	720	1769	31	8	4,6	7,73	3,42	4,57	47	5,192317123	46,76494926	6,81	18,38
B6	129	60	53,37	594	1647	31	8	4,6	7,73	3,42	13,20	8,7	13,57114279	9,142803339	11,05	21,44

B2	246	60	64,24	681	1687	31	8	4,6	7,73	3,42	3,17	27	4,304582291	27,06266875	4,22	19,9
B5	86	60	49,34	563	1643	31	8	4,6	7,73	3,42	39,40	11	39,19694875	11,40307157	21,49	22,58
B3	178	60	60,53	654	1674	31	8	4,6	7,73	3,42	7,24	10	7,704569708	10,4263093	9,16	21,76
B4	286	60	28,73	421	1341	52	8	4,7	5,60	6,20	4,95	32	6,071498608	31,76826209	4,34	13,33
B1	238	60	34,25	434	1400	52	8	4,7	5,60	6,20	4,83	34	5,959876553	33,80868618	5,96	18,83
B6	249	60	54,12	559	1778	52	8	4,7	5,60	6,20	9,14	17	9,590410353	17,36833811	5,91	19,33
B2	213	60	49,29	517	1674	52	8	4,7	5,60	6,20	6,86	14	7,368769126	14,39963628	8,69	22,69
B5	202	60	36,34	453	1419	52	8	4,7	5,60	6,20	7,75	13	8,221387406	13,39986011	8,89	20,2
B3	204	60	68,78	684	1999	52	8	4,7	5,60	6,20	9,02	30	9,471734646	30,18386633	7,37	20,7
B7-1	253	60	70,45	749	2011	52	8	4,7	5,60	6,20	9,27	16	9,718385151	16,38550688	6,29	19,6
B7-2	293	60	53,58	572	1752	52	8	4,7	5,60	6,20	6,73	18	7,248434677	18,35433495	6,3	20,84
B4	295	60	75,45	759	2100	81	8	4,7	5,05	4,17	14,50	6,1	14,91791523	6,561114509	6,14	18,22
B1	266	60	70,13	744	2025	81	8	4,7	5,05	4,17	16,40	32	16,80535499	32,25903988	9,27	18,08
B6	366	60	35,25	444	1410	81	8	4,7	5,05	4,17	14,90	6,8	15,28888223	7,255261342	7,23	15,99
B2	325	60	35,34	451	1417	81	8	4,7	5,05	4,17	6,10	37	6,561425641	36,87438171	8,82	18,03
B5	252	60	69,78	692	2000	81	8	4,7	5,05	4,17	11,30	12	11,73410719	12,4306535	9,7	17,75
B3	410	60	29,73	401	1369	81	8	4,7	5,05	4,17	10,20	5,9	10,62952528	6,364334918	4,55	19,33
B4	241	60	72,45	549	2054	65	8	4,7	8,23	6,30	4,95	30	6,071416928	30,26421255	10,17	16,03
B1	191	60	67,78	652	2004	65	8	4,7	8,23	6,30	9,52	34	9,971760178	34,18721612	12,8	21,4
B6	167	60	33,34	449	1426	65	8	4,7	8,23	6,30	11,80	6,7	12,22711381	7,231068015	10,68	22,99
B2	256	60	28,73	411	1358	65	8	4,7	8,23	6,30	5,33	15	6,348126306	15,38011387	6,49	19,63
B5	208	60	36,25	439	1417	65	8	4,7	8,23	6,30	12,70	10	13,12128576	10,44630911	7,5	17,62
B3	204	60	55,12	568	1784	65	8	4,7	8,23	6,30	8,64	27	9,101754589	27,26556485	9,92	19,17
B7-1	248	60	51,58	585	1768	65	8	4,7	8,23	6,30	4,44	21	5,571009605	21,34562174	7,08	16,97
B7-2	160	60	48,29	522	1695	65	8	4,7	8,23	6,30	6,86	27	7,377087933	27,23848268	10,03	23,54
B4	220	60	38,44	458	1447	51	8	4,7	3,21	2,73	5,84	9,8	6,34238191	10,23292917	6,23	20,77



B1	313	60	29,75	436	1398	51	8	4,7	3,21	2,73	2,29	18	3,423069505	18,25084353	3,82	19,84
B6	266	60	38,28	439	1437	51	8	4,7	3,21	2,73	4,70	21	5,298550482	21,23696661	3,89	18,14
B2	291	60	55,17	562	1786	51	8	4,7	3,21	2,73	5,84	12	6,343498022	12,41792539	4,18	21,12
B5	246	60	50,19	523	1682	51	8	4,7	3,21	2,73	7,62	12	8,082719774	12,41572651	6,72	19,2
B3	231	60	69,88	691	2021	51	8	4,7	3,21	2,73	6,73	16	7,207977154	16,38125222	7,99	19,85
B7-1	283	60	72,75	724	2058	51	8	4,7	3,21	2,73	4,57	6,6	5,191961467	7,080703931	4,85	17,55
B7-2	335	60	73,81	767	2064	51	8	4,7	3,21	2,73	3,17	7,1	4,28180835	7,570594406	3,69	16,04
B4	274	60	31,95	438	1414	54	8	4,7	3,12	3,69	7,24	21	7,693275888	21,19119629	5,8	13,96
B1	306	60	78,65	768	2036	54	8	4,7	3,12	3,69	7,75	27	8,202390405	27,25074639	3,98	15,34
B6	361	60	77,56	753	2019	54	8	4,7	3,12	3,69	3,94	28	5,048526974	28,23352736	4,48	16,23
B2	228	60	38,74	454	1464	54	8	4,7	3,12	3,69	10,50	27	10,92270067	27,08486624	8,68	21,22
B5	290	60	50,39	537	1681	54	8	4,7	3,12	3,69	5,59	11	6,078741715	11,42424197	5,87	21,21
B7-1	336	60	56,63	567	1794	54	8	4,7	3,12	3,69	3,81	9,8	4,938963765	10,23610931	4,73	19,69
B7-2	256	60	69,48	674	1997	54	8	4,7	3,12	3,69	5,33	20	5,832558128	20,34042348	5,73	18,76
B4	230	60	40,14	421	1478	54	8	4,7	5,50	6,20	16,90	21	17,25327624	21,27396914	6,29	20,16
B1	325	60	59,58	546	1796	54	8	4,7	5,50	6,20	5,46	27	6,382382994	27,22559851	5,02	19,12
B6	277	60	62,12	547	1802	54	8	4,7	5,50	6,20	8,64	34	9,09777266	34,09223844	7,45	21,56
B2	278	60	39,25	417	1481	54	8	4,7	5,50	6,20	6,60	20	7,130100481	20,29166102	6,93	24,14
B5	227	60	53,89	546	1697	54	8	4,7	5,50	6,20	11,90	30	12,32343153	30,13857727	8,88	25,99
B3	241	60	75,98	689	2052	54	8	4,7	5,50	6,20	8,25	32	8,713169634	32,17700647	8,41	26,24
B7-1	291	60	78,45	754	2115	54	8	4,7	5,50	6,20	6,60	30	7,129623792	30,21283297	6,08	27,3
B7-2	345	60	32,41	431	1387	54	8	4,7	5,50	6,20	15,90	26	16,24552567	26,03861582	4,89	26,91
B4	217	60	29,25	421	1422	92	8	4,7	8,09	9,16	7,87	12	8,592538287	12,46539169	13,57	30,03
B3	204	60	55,12	568	1784	65	8	4,7	8,23	6,30	8,64	27	9,101754589	27,26556485	12,43	28,56
B1	45	60	47,89	506	1691	92	8	4,7	8,09	9,16	14,20	5,6	14,63209361	6,730819311	70,11	39,93
B6	140	60	54,78	586	1787	92	8	4,7	8,09	9,16	9,27	12	9,835151724	12,46993173	8,98	24,69

B2	89	60	50,02	551	1794	92	8	4,7	8,09	9,16	9,78	6	10,31355371	7,106370041	11,67	21,94
B5	183	60	34,14	447	1434	92	8	4,7	8,09	9,16	5,71	24	6,820986741	24,25541294	7,06	17,55
B3	42	60	69,43	645	1991	92	8	4,7	8,09	9,16	9,65	23	10,19074657	23,37127097	42,14	23,17
B7-1	92	60	71,75	721	2000	92	8	4,7	8,09	9,16	11,40	39	11,87915379	39,21148527	10,97	23,3
B7-2	142	60	79,12	752	2023	92	8	4,7	8,09	9,16	11,40	39	11,88246949	39,23191595	4,67	19,55

## KIRKA

Cihaz kodu	Mesafe (m)	Patlayıcı miktarı (kg)	Özdirenç (Ωm)	S-Dalga Hızı (m/s)	P-Dalga Hızı (m/s)	Delik Sayısı	Delik Boyu (m)	Sıkılama Boyu (m)	Delikler Arası Mesafe (m)	Dilim Kalınlığı (m)	Ölçülen PPV (mm/s)	Ölçülen Frekans (Hz)	ANFIS ile tahmin edilen PPV (mm/s)	ANFIS ile tahmin edilen frekans (Hz)	Regresyon analizi ile tahmin edilen PPV (mm/s)	Regresyon analizi ile tahmin edilen frekans (Hz)
B1	113	175	13,8	750	2000	15	5,6	1,64	6,54	5,20	39,2	100	38,76479962	99,51277555	29,31	34,1
B2	180	175	15,9	750	2018	15	5,6	1,64	6,54	5,20	10	26	10,19433275	25,60769243	14,21	32,24
B3	228	175	22,7	750	2025	15	5,6	1,64	6,54	5,20	10,2	64	10,42452664	63,57586636	8,14	35,98
B4	292	175	34,9	1000	2029	15	5,6	1,64	6,54	5,20	4,06	26	4,842406839	25,82765321	5,68	31,86
B6	358	175	40,6	1050	2035	15	5,6	1,64	6,54	5,20	3,3	19	4,26321128	18,97090878	4,5	36,46
B8	440	175	43,8	1200	2055	15	5,6	1,64	6,54	5,20	2,16	17	3,272806185	17,01070668	2,75	27,54
B1	425	400	13,8	750	2000	9	10,5	3,57	7,08	5,10	4,19	18	5,166445533	17,63095055	4,71	31,67
B2	492	400	15,9	750	2018	9	10,5	3,57	7,08	5,10	3,68	20	4,772128517	19,6428018	3,66	25,78
B3	533	400	22,7	750	2025	9	10,5	3,57	7,08	5,10	1,9	16	3,033057081	15,87119679	2,07	27,02
B4	595	400	34,9	1000	2029	9	10,5	3,57	7,08	5,10	1,78	17	2,915889513	16,96063723	2,35	23,42
B6	662	400	40,6	1050	2035	9	10,5	3,57	7,08	5,10	1,14	27	2,27607456	26,86522093	1,51	23,25
B8	741	400	43,8	1200	2055	9	10,5	3,57	7,08	5,10	1,27	18	2,406720151	17,9823738	1,41	22,6
B1	264	212,5	13,8	750	2000	23	5,76	1,99	6,89	4,83	5,71	21	6,225983448	20,64476262	5,05	28,33
B2	318	212,5	15,9	750	2018	23	5,76	1,99	6,89	4,83	4,95	23	5,528607564	22,63752258	5,13	25,14
B3	373	212,5	22,7	750	2025	23	5,76	1,99	6,89	4,83	4,06	19	4,791015579	18,88368805	3,73	25,44
B4	429	212,5	34,9	1000	2029	23	5,76	1,99	6,89	4,83	2,79	20	3,873197314	20,00442488	2,96	23,52
B6	484	212,5	40,6	1050	2035	23	5,76	1,99	6,89	4,83	2,16	39	3,288288042	38,72765485	3	23,27
B5	550	212,5	43,8	1200	2055	23	5,76	1,99	6,89	4,83	1,9	21	3,034319075	21,02321777	2,23	24,31
B8	599	212,5	45,2	1209	2075	23	5,76	1,99	6,89	4,83	1,14	22	2,276330327	22,00513595	1,83	25,45
B1	109	240	13,8	750	2000	12	11	3,31	7,32	4,23	101	85	100,4944086	84,51075785	21,6	40,95
B2	167	240	15,9	750	2018	12	11	3,31	7,32	4,23	20,4	47	20,03248656	46,5692498	15,58	43,22

B3	227	240	22,7	750	2025	12	11	3,31	7,32	4,23	13,5	37	13,44034676	36,6121664	11,81	42,32
B4	294	240	34,9	1000	2029	12	11	3,31	7,32	4,23	6,6	19	7,18222358	18,93383735	7,19	39,74
B6	363	240	40,6	1050	2035	12	11	3,31	7,32	4,23	2,92	20	4,052975335	19,95186993	5,11	35,23
B5	444	240	43,8	1200	2055	12	11	3,31	7,32	4,23	3,94	18	4,77788953	17,98402114	3,1	30,44
B8	507	240	45,2	1209	2075	12	11	3,31	7,32	4,23	1,91	16	3,046630549	16,00486568	2,6	28,48
B1	133	250	10,5	545	1900	7	12	4	5,93	5,37	17	27	16,56982566	26,54807394	19,07	39,56
B2	156	250	10,9	550	1925	7	12	4	5,93	5,37	12,2	23	11,87832175	22,56276888	15,5	37,07
B3	194	250	11,2	575	1930	7	12	4	5,93	5,37	7,75	20	8,114160186	19,58161263	8,59	33,21
B4	219	250	11,5	598	1960	7	12	4	5,93	5,37	6,6	20	7,083848872	19,58767605	7,32	30,66
B6	261	250	12,7	610	1984	7	12	4	5,93	5,37	4,06	21	5,183195093	20,59567196	6,08	27,92
B5	319	250	12,9	625	1989	7	12	4	5,93	5,37	4,06	23	5,179055018	22,58757481	4,27	26,09
B8	365	250	13,5	650	1994	7	12	4	5,93	5,37	4,45	26	5,492585752	25,58055099	3,64	25,27
B1	139	315	10,5	545	1900	4	8,08	2,53	6,19	3,91	57,1	100	56,62300844	99,4997585	17,52	35,97
B2	187	315	10,9	550	1925	4	8,08	2,53	6,19	3,91	41,4	100	40,94876933	99,53096899	18,88	39,2
B3	235	315	11,2	575	1930	4	8,08	2,53	6,19	3,91	12,8	27	12,45187702	26,56800638	14,16	46,24
B4	293	315	11,5	598	1960	4	8,08	2,53	6,19	3,91	6,48	19	6,675733167	18,59048153	12,66	42,19
B6	336	315	12,7	610	1984	4	8,08	2,53	6,19	3,91	5,59	17	5,906986372	16,62141072	6,32	36,34
B5	390	315	12,9	625	1989	4	8,08	2,53	6,19	3,91	3,17	16	4,127421868	15,63739497	4,7	32,04
B8	465	315	13,5	650	1994	4	8,08	2,53	6,19	3,91	1,78	20	2,910665861	19,60273128	3,15	27,83
B1	123	375	10,5	545	1900	5	9,76	3,32	6,51	4,36	96,1	100	95,58616091	99,48372092	16,52	37,48
B2	162	375	10,9	550	1925	5	9,76	3,32	6,51	4,36	50,7	100	50,22693417	99,5065301	19,1	40,48
B3	208	375	11,2	575	1930	5	9,76	3,32	6,51	4,36	24,8	100	24,35652778	99,53134174	21,02	47,52
B4	262	375	11,5	598	1960	5	9,76	3,32	6,51	4,36	9,02	34	8,997499606	33,56285098	14,03	50,66
B6	313	375	12,7	610	1984	5	9,76	3,32	6,51	4,36	7,24	34	7,492901927	33,57109392	8,07	50,14
B5	365	375	12,9	625	1989	5	9,76	3,32	6,51	4,36	2,67	20	3,803010451	19,59998909	5,47	43,74
B8	446	375	13,5	650	1994	5	9,76	3,32	6,51	4,36	1,91	22	3,040906488	21,59634314	3,3	40,3

B1	204	250	10,5	545	1900	4	5,04	1,64	6,19	4,9	6,98	26	6,992922631	25,56785933	6,17	44,26
B2	283	250	10,9	550	1925	4	5,04	1,64	6,19	4,9	5,59	14	5,669147526	13,61859038	5,63	40,56
B3	330	250	11,2	575	1930	4	5,04	1,64	6,19	4,9	5,08	11	5,146674162	10,72409684	4,38	32,71
B4	379	250	11,5	598	1960	4	5,04	1,64	6,19	4,9	3,56	10	4,41775727	9,806565217	4,95	27,84
B6	436	250	12,7	610	1984	4	5,04	1,64	6,19	4,9	2,92	9	3,904128211	8,932935154	3,9	22,76
B5	489	250	12,9	625	1989	4	5,04	1,64	6,19	4,9	1,78	9,3	2,871878299	9,220566289	2,8	19,87
B8	548	250	13,5	650	1994	4	5,04	1,64	6,19	4,9	1,4	16	2,504315781	15,63331175	1,94	17,15
B6	596	240	13,5	650	1994	20	6,5	2,73	5	3,82	1,52	18	2,643618626	17,64977403	1,67	14,23
B6	581	222	13,5	650	1994	13	11	3,34	5,66	4,02	0,889	17	2,015677477	16,61259705	1,38	16,04
B6	141	300	10,5	545	1900	15	5,92	2,07	6,64	4,55	19	30	18,55514419	29,53874318	12,52	24,2
B8	133	300	10,9	550	1925	15	5,92	2,07	6,64	4,55	35,4	32	34,93251441	31,53451703	20,72	25,88
B7-1	135	300	10,9	550	1925	15	5,92	2,07	6,64	4,55	46,6	30	46,12807417	29,53678138	23,19	27,97
B1	114	313	10	1300	3000	21	8,14	2,51	7,44	4,72	55,1	51	54,63062047	50,53246971	36,23	29,23
B2	169	313	9,8	1250	2470	21	8,14	2,51	7,44	4,72	16,4	43	16,06102312	42,56639283	21,62	29,47
B3	185	313	9,4	1227	2347	21	8,14	2,51	7,44	4,72	16,3	32	15,96730084	31,57593238	15,14	32,22
B4	228	313	6,1	1196	2221	21	8,14	2,51	7,44	4,72	10,2	22	10,15312065	21,60233166	11,61	31,41
B6	205	313	5,9	1145	2100	21	8,14	2,51	7,44	4,72	17,5	100	17,145403	99,57015536	11,38	31,88
B5	250	313	5,4	1138	1800	21	8,14	2,51	7,44	4,72	10,7	26	10,65224536	25,60021913	8,7	35,23
B8	269	313	5	1076	1500	21	8,14	2,51	7,44	4,72	8,38	20	8,572940176	19,63425758	9,57	38,14
B1	226	235	10	1300	3000	25	8,5	2,22	6,21	4,78	13,5	37	13,39246252	36,58468097	9,79	33,2
B2	268	235	9,8	1250	2470	25	8,5	2,22	6,21	4,78	6,98	32	7,462724254	31,59371739	8,53	35,02
B3	293	235	9,4	1227	2347	25	8,5	2,22	6,21	4,78	5,97	37	6,503488088	36,58883652	6,58	33,6
B4	314	235	6,1	1196	2221	25	8,5	2,22	6,21	4,78	5,57	22	6,127756496	21,63022349	5,35	35,42
B6	348	235	5,9	1145	2100	25	8,5	2,22	6,21	4,78	4,83	24	5,449892469	23,61038334	4,82	32,93
B5	364	235	5,4	1138	1800	25	8,5	2,22	6,21	4,78	3,3	16	4,274229699	15,74749119	4,69	31,6
B8	398	235	5	1076	1500	25	8,5	2,22	6,21	4,78	2,92	26	3,979287506	25,60541656	3,59	29,04

B1	98	335	10	1300	3000	10	10,75	3,6	6,7	3,98	62,5	51	62,01618504	50,52191987	27,56	45,26
B2	161	335	9,8	1250	2470	10	10,75	3,6	6,7	3,98	16	15	15,57941078	14,58381189	18,04	42,93
B3	215	335	9,4	1227	2347	10	10,75	3,6	6,7	3,98	10,3	100	10,20362074	99,56817016	11,24	35,21
B4	279	335	6,1	1196	2221	10	10,75	3,6	6,7	3,98	8,25	100	8,779764517	99,58525296	7,66	36,54
B6	255	335	5,9	1145	2100	10	10,75	3,6	6,7	3,98	5,71	27	6,288344077	26,58635755	8,38	49,97
B8	308	335	5,4	1138	1800	10	10,75	3,6	6,7	3,98	6,1	57	6,676882755	56,59503902	6,17	43,62
B1	155	695	10	1300	3000	87	6,39	1,23	5,54	5,63	16,5	32	16,36789336	31,69500372	17,7	43,57
B2	211	695	9,8	1250	2470	87	6,39	1,23	5,54	5,63	5,08	17	5,709039162	16,8975048	11,42	41,01
B3	242	695	9,4	1227	2347	87	6,39	1,23	5,54	5,63	8,13	30	8,523608989	29,76701314	7,54	34,77
B4	271	695	6,1	1196	2221	87	6,39	1,23	5,54	5,63	3,81	22	4,641916571	21,83822788	6,09	33,43
B6	299	695	5,9	1145	2100	87	6,39	1,23	5,54	5,63	3,17	20	4,14699785	19,86746058	5,56	32,14
B7-1	358	695	5	1090	1498	87	6,39	1,23	5,54	5,63	2,92	20	3,943279403	19,90979639	3,55	28,66
B8	379	145	4,8	1075	1432	7	7,25	2,56	6,54	4,68	2,54	22	3,636401549	21,56961333	1,76	36,66
B6	123	200	10	1300	3000	12	11	4	6	5	30,7	47	30,2687997	46,56254088	17,64	43,85
B7-1	359	200	5	1090	1498	12	11	4	6	5	3,17	100	4,29458817	99,57144182	3,86	33,9
B1	432	200	4,8	1075	1432	12	11	4	6	5	1,52	22	2,64801422	21,57819238	3,28	39,01
B6	232	975	9,4	1227	2347	27	7,7	2,21	7,07	4,84	13,1	24	12,89058197	23,57139956	11,78	42,92
B8	469	975	4,8	1075	1432	27	7,7	2,21	7,07	4,84	1,91	14	3,03566085	13,8195401	3,95	31,02
B4	390	975	4,8	1075	1432	27	7,7	2,21	7,07	4,84	3,17	24	4,192474725	23,61252441	3,7	31,64
B8	486	150	4,8	1075	1432	21	3,5	1,56	6,11	9,38	1,91	85	3,039445129	84,5455679	1,34	27,84
B5	351	515	5	1090	1498	32	7,23	1,84	5,58	4,43	5,97	100	6,259276174	99,5893819	8,48	36,71
B8	414	515	4,8	1075	1432	32	7,23	1,84	5,58	4,43	2,03	12	3,146477109	11,9309998	5,02	42,4
B8	366	235	5	1090	1498	10	8,75	2,59	6,07	3,4	2,67	100	3,745342531	99,58257193	2,38	45,89
B2	541	225	4,5	1065	1421	24	3,75	1,7	5,53	4,56	1,4	37	2,529083428	36,57413737	1,86	37,5
B4	486	225	4,8	1075	1432	24	3,75	1,7	5,53	4,56	1,4	34	2,528354568	33,58064139	1,67	47,29
B6	98	250	8,3	1387	2500	8	11	3,41	7,25	3,9	68,2	43	67,7333358	42,54754781	21,47	69,21

B5	119	235	8,3	1387	2500	12	11,5	3,54	6,27	4,77	22,7	27	22,27042995	26,56866736	22,43	68,07
B1	137	400	8,3	1387	2500	19	9,36	3,02	5,86	6,56	11,8	39	11,65555503	38,5489441	19,27	50,23
B2	82	200	8,3	1387	2500	12	11	4	6	5	31,7	43	31,2526578	42,54562874	23,42	63,27
B3	140	235	8,3	1387	2500	10	8,75	2,59	6,07	3,4	11,7	32	11,30009072	31,57611982	17,19	51,96
B4	144	360	8,3	1387	2500	22	4,93	2,08	6,18	3,23	19,6	28	19,19647395	27,56462724	18,3	46,91
B6	133	225	8,3	1387	2500	24	3,75	1,7	5,53	4,56	1,27	34	2,396441334	33,57927075	11,12	43,4

ÇAN

Cihaz kodu	Mesafe (m)	Patlayıcı miktardan (kg)	Özdirenç (Cm)	S-Dalga Hızı (m/s)	P-Dalga Hızı (m/s)	Delik Sayısı	Delik Boyu (m)	Sıklama Boyu (m)	Delikler Arası Mesafe (m)	Dilim Kalınlığı (m)	Ölçülen PPV (mm/s)	Ölçülen Frekans (Hz)	ANFIS ile tahmin edilen PPV (mm/s)	ANFIS ile tahmin edilen frekans (Hz)	Regresyon analizi ile tahmin edilen PPV (mm/s)	Regresyon analizi ile tahmin edilen frekans (Hz)
B1	343	75	36,86	591	1800	11	8	4,35	9,02	7,2	1,27	4,5	2,397231082	5,598383389	0,99	37,22
B2	394	75	37,4	545	1801	11	8	4,35	9,02	7,2	1,4	4,8	2,527092415	5,878037445	1,37	27,49
B3	443	75	38,63	542	1738	11	8	4,35	9,02	7,2	1,14	3,9	2,267871124	5,017277006	1,58	19,31
B4	494	75	37,47	529	1760	11	8	4,35	9,02	7,2	1,27	12	2,39794497	12,06735956	1,34	15,56
B5	550	75	37,47	529	1760	11	8	4,35	9,02	7,2	1,27	5,1	2,398391752	6,147519273	1,54	13,6
B1	125	225	36,86	591	1800	9	15	4,53	9	10,63	18,7	6,6	18,67043476	7,643956322	15,21	20,11
B2	177	225	37,4	545	1801	9	15	4,53	9	10,63	11,2	10	11,55306812	10,54504592	8,03	14,35
B3	228	225	38,63	542	1738	9	15	4,53	9	10,63	5,21	6,7	6,32631501	7,748044026	6,78	13,72
B4	279	225	37,47	529	1760	9	15	4,53	9	10,63	6,6	6	7,653961386	7,089875919	6,69	11,56
B5	336	225	37,47	529	1760	9	15	4,53	9	10,63	5,84	5,6	6,932904107	6,701644883	4,11	10,42
B1	116	225	36,86	591	1800	8	15	4	8,5	4,75	21,8	14	21,72090267	14,09823686	26,12	12,73
B2	167	225	37,4	545	1801	8	15	4	8,5	4,75	11,9	20	12,11430741	19,94667535	14,36	12,02
B3	218	225	38,63	542	1738	8	15	4	8,5	4,75	5,59	2,9	6,118873336	4,039247403	6,27	12,49
B5	325	225	37,47	529	1760	8	15	4	8,5	4,75	6,86	6	7,344695459	6,511914367	4,11	9,88
B2	145	200	37,4	545	1801	9	15	4,5	8,7	10,15	13	5,1	13,14006781	6,214227851	13,21	10,27
B5	302	200	37,47	529	1760	9	15	4,5	8,7	10,15	7,62	4,6	8,519880485	5,721808611	5,99	8,62
B1	129	225	38,1	504	1754	8	15	4,37	9,5	10,6	3,43	4,9	4,558979444	23,89881681	14,16	9,25
B2	290	225	37,8	570	985	8	15	4,37	9,5	10,6	3,56	5,46	4,691615255	6,570330735	4,28	9,23
B3	103	200	38,1	504	1754	8	15	4,5	8	1	2,79	6,5	3,709914721	7,036741417	11	11,93
B4	263	200	37,8	570	985	8	15	4,5	8	1	3,3	3,5	4,131205833	4,296002571	3	8,42
B5	53	200	31,69	509	1714	7	15	4,5	8,8	5,35	3,68	21	4,805353786	20,89018777	16,35	12,07



B1	99	200	38,1	504	1754	7	15	4,5	8,8	5,35	3,3	7	4,430168311	7,458927899	6,91	10,61
B2	150	200	33,19	613	959	7	15	4,5	8,8	5,35	3,43	8,8	4,564792723	9,174618175	3,3	10,27
B3	212	200	32,97	701	944	7	15	4,5	8,8	5,35	2,41	13	3,544346322	13,11942565	3,32	8,45
B4	260	200	37,8	570	985	7	15	4,5	8,8	5,35	3,05	3,5	4,184962819	4,636063917	2,77	9,55
B5	155	80	31,69	509	1714	6	7,5	4,1	8,7	4,32	3,94	4,3	5,072102945	5,017382429	5,35	9,64
B2	146	80	38,1	504	1754	6	7,5	4,1	8,7	4,32	14,7	14	14,71769489	14,02394792	8,32	8,83
B5	145	80	33,19	613	959	6	7,5	4,1	8,7	4,32	5,46	6,7	5,970166685	6,9812873	9,39	9,39
B2	163	80	32,97	701	944	6	7,5	4,1	8,7	4,32	18,8	4,7	18,73678427	5,257306911	7,7	9,56
B5	182	80	37,8	570	985	6	7,5	4,1	8,7	4,32	5,46	4,4	5,970491359	5,021154221	8,41	8,1
B1	128	75	31,69	509	1714	6	7	3,85	9,42	3,95	47,6	5,2	47,18025734	5,741377458	15,61	8,62
B2	134	75	38,1	504	1754	6	7	3,85	9,42	3,95	22,7	3,7	22,62008751	4,834249692	17,94	7,78
B3	146	75	33,19	613	959	6	7	3,85	9,42	3,95	11	4,4	11,0402692	4,964551003	19,51	7,23
B4	179	75	32,97	701	944	6	7	3,85	9,42	3,95	6,98	17	7,090338615	16,97097558	7,95	6,21
B5	207	75	37,8	570	985	6	7	3,85	9,42	3,95	4,32	3,4	4,886821692	4,534107659	6,42	7,18
B1	148	80	31,69	509	1714	4	7,5	4,33	8	4,2	2,67	4,8	3,79528812	5,1872727	8,15	8,12
B2	145	80	38,1	504	1754	4	7,5	4,33	8	4,2	5,59	6,2	5,880823013	6,414525048	6,65	7,12
B3	154	80	33,19	613	959	4	7,5	4,33	8	4,2	6,1	5,6	6,323022482	5,886913463	4,45	7,47
B4	183	80	32,97	701	944	4	7,5	4,33	8	4,2	4,32	4,5	4,891520544	4,923645548	5	6,73
B5	207	80	37,8	570	985	4	7,5	4,33	8	4,2	4,19	4,2	5,32478314	5,336568781	5,16	6,55
B1	82	85	38,67	541	981	3	7,5	4,1	8,25	4,2	6,35	8,4	6,512000536	8,46783966	18,08	7,99
B2	134	85	36,78	660	1762	3	7,5	4,1	8,25	4,2	6,1	3,6	6,289515246	4,683825842	7,9	7,39
B3	196	85	35,5	609	1757	3	7,5	4,1	8,25	4,2	5,08	4,6	5,373821953	4,940553695	3,56	6,24
B4	237	85	34,66	547	1104	3	7,5	4,1	8,25	4,2	4,7	4,4	5,028898024	4,760131265	4,93	5,63
B5	286	85	34,66	547	1104	3	7,5	4,1	8,25	4,2	3,43	4,5	4,515905056	4,848662686	3,79	5,45
B1	89	85	38,67	541	981	3	7,5	3,97	9,55	4,3	4,7	14	5,028483131	14,01770781	24,59	7,23
B2	139	85	36,78	660	1762	3	7,5	3,97	9,55	4,3	8,64	4	8,717861919	5,127252738	7,01	7,33

B3	214	85	35,5	609	1757	3	7,5	3,97	9,55	4,3	5,71	19	5,946621991	18,96828309	4,36	6,47
B4	253	85	34,66	547	1104	3	7,5	3,97	9,55	4,3	4,19	4,3	4,832638819	4,745214473	4,81	6,81
B5	300	85	34,66	547	1104	3	7,5	3,97	9,55	4,3	3,56	4,3	4,647926901	4,745066987	3,97	7,31
B1	86	85	38,67	541	981	3	7,5	4,03	9,5	4,2	12,7	5,8	12,72764804	6,01353229	22,61	8,37
B2	131	85	36,78	660	1762	3	7,5	4,03	9,5	4,2	6,22	4,1	6,403063933	5,172404357	11,09	8,15
B3	204	85	35,5	609	1757	3	7,5	4,03	9,5	4,2	3,94	19	5,018688145	18,96723442	3,67	6,12
B4	245	85	34,66	547	1104	3	7,5	4,03	9,5	4,2	2,41	4,5	3,520725304	4,853715293	3,72	7,31
B5	292	85	34,66	547	1104	3	7,5	4,03	9,5	4,2	3,56	17	4,640270166	16,98830181	3,35	7,04
B1	106	85	38,67	541	981	3	7,5	4,08	9,95	11,2	13	4,3	13,03628029	5,406985815	14,43	9,92
B2	147	85	36,78	660	1762	3	7,5	4,08	9,95	11,2	7,75	4,6	8,007822304	5,673741427	10,48	9,56
B3	193	85	35,5	609	1757	3	7,5	4,08	9,95	11,2	4,44	4,5	5,525277414	5,579389078	6,16	7,06
B4	230	85	34,66	547	1104	3	7,5	4,08	9,95	11,2	2,29	4,7	3,419522826	5,756624995	5,06	7,22
B5	276	85	34,66	547	1104	3	7,5	4,08	9,95	11,2	3,68	4,4	4,801723029	5,490929228	3,75	5,99
B1	86	85	38,67	541	981	3	6	3,77	11,5	4,55	14,6	6,36	14,62507326	6,451193417	19,04	8,66
B2	108	85	36,78	660	1762	3	6	3,77	11,5	4,55	9,14	3,4	9,200402942	4,506126454	16,52	7,45
B3	136	85	35,5	609	1757	3	6	3,77	11,5	4,55	3,56	3,9	4,661151632	5,017021587	6,01	6,88
B4	195	85	34,66	547	1104	3	6	3,77	11,5	4,55	2,41	3,8	3,527034099	4,90435789	4,35	5,43
B5	237	85	34,66	547	1104	3	6	3,77	11,5	4,55	3,17	73	4,273473871	72,5313353	3,19	5,32
B1	190	75	36,86	591	1800	2	7	4,05	7,55	4,35	10,2	4,8	10,25788282	5,049771941	4,98	7,98
B2	224	75	37,4	545	1801	2	7	4,05	7,55	4,35	14,6	4,3	14,62084265	4,628170722	6,42	9,47
B3	261	75	38,63	542	1738	2	7	4,05	7,55	4,35	6,1	3,9	6,25853659	4,902197712	7,1	6,59
B4	290	75	37,47	529	1760	2	7	4,05	7,55	4,35	4,32	4,1	4,638634037	5,129920355	5,83	7,28
B5	328	75	37,47	529	1760	2	7	4,05	7,55	4,35	6,35	4,2	6,496895374	5,120775321	4,48	5,64
B1	197	85	36,86	591	1800	2	7,5	4,18	9,9	3,5	7,11	5,8	7,241119495	5,999379896	9,85	7,2
B2	238	85	37,4	545	1801	2	7,5	4,18	9,9	3,5	7,37	22	7,495295558	21,93550329	7,62	6,09
B3	264	85	38,63	542	1738	2	7,5	4,18	9,9	3,5	5,84	5,4	6,039909142	5,63053648	5,23	7,9

B4	290	85	37,47	529	1760	2	7,5	4,18	9,9	3,5	4,06	5,1	4,488234341	5,354568862	5,2	7,68
B5	327	85	37,47	529	1760	2	7,5	4,18	9,9	3,5	4,44	85	4,758299191	84,49124792	3,97	7
B1	83	75	36,86	591	1800	2	7,5	4,18	9,9	3,5	4,7	4,2	4,974178849	4,552982824	23,59	14,38
B2	168	75	37,4	545	1801	2	7,5	4,18	9,9	3,5	7,49	4,6	7,60763031	4,895573309	6,33	12,55
B3	191	75	38,63	542	1738	2	7,5	4,18	9,9	3,5	5,08	4,1	5,333518791	4,50247197	3,92	8,64
B4	222	75	37,47	529	1760	2	7,5	4,18	9,9	3,5	7,11	4,4	7,245221152	4,723100635	5,03	8,95
B5	284	75	37,47	529	1760	2	7,5	4,18	9,9	3,5	5,08	4,2	5,336474686	4,5647714	4,22	6,63

**TUNÇBİLEK**

Cihaz kodu	Mesafe (m)	Patlayıcı miktarı (kg)	Özdirenç (Ωm)	S-Dalga Hızı (m/s)	P-Dalga Hızı (m/s)	Delik Sayısı	Delik Boyu (m)	Sıklama Boyu (m)	Delikler Arası Mesafe (m)	Dilim Kalınlığı (m)	Öçülen PPV (mm/s)	Öçülen Frekans (Hz)	ANFIS ile tahmin edilen PPV (mm/s)	ANFIS ile tahmin edilen frekans (Hz)	Regresyon analizi ile tahmin edilen PPV (mm/s)	Regresyon analizi ile tahmin edilen frekans (Hz)
B1	91	660	12,32	675	1731	17	15	8,05	7,38	4,7	67,7	27	67,1951224	26,51423001	62,77	7,62
B2	120	660	12,32	898	1033	17	15	8,05	7,38	4,7	36,3	6,2	35,84871576	7,158024878	28,62	7,62
B3	171	660	12,32	803	1376	17	15	8,05	7,38	4,7	21,3	5,1	20,86255726	6,178746313	18,87	8,5
B4	218	660	12,32	678	1253	17	15	8,05	7,38	4,7	14,6	6,2	14,84720866	7,153477359	16,14	6,39
B6	84	660	12,32	675	1731	17	15	8,05	7,38	4,7	54,5	7,4	53,99778836	8,179758953	52,51	9,59
B5	113	660	12,32	898	1033	17	15	8,05	7,38	4,7	25,4	8	24,95528771	8,711848726	34,87	7,92
B1	163	660	12,32	803	1376	9	15	8,11	7,7	4,3	12,1	7,2	12,00523905	7,944162489	17,11	8,62
B2	210	660	12,32	678	1253	9	15	8,11	7,7	4,3	9,65	7,5	10,073447	8,196599145	10,26	7,6
B3	170	220	12,32	675	1731	9	15	8,11	7,7	4,3	7,11	5,8	7,871025128	6,796162397	10,85	8,67
B4	190	220	12,32	898	1033	9	15	8,11	7,7	4,3	9,4	7,9	9,858438043	8,546203705	10,24	7,92
B6	238	220	12,32	803	1376	9	15	8,11	7,7	4,3	5,71	7,2	6,719781792	7,947482901	6,51	7,75
B5	285	220	12,32	678	1253	9	15	8,11	7,7	4,3	5,97	7,3	6,938222355	8,030371464	6,06	7,52
B1	164	220	12,32	675	1731	1	15	8	7,32	4,75	5,46	5,9	6,581118376	7,034682627	10,02	11,39
B2	185	220	12,32	898	1033	1	15	8	7,32	4,75	5,84	8,4	6,976172515	8,593505663	9,97	10,44
B3	234	220	12,32	803	1376	1	15	8	7,32	4,75	3,3	5,3	4,392250665	6,41587006	5,31	9,41
B4	281	220	12,32	678	1253	1	15	8	7,32	4,75	3,56	6	4,651326052	7,133667667	4,62	8,81
B6	157	220	12,32	675	1731	1	15	8	7,32	4,75	9,02	9,5	9,156332527	9,583134368	10,01	9,48
B5	178	220	12,32	898	1033	1	15	8	7,32	4,75	11,3	7,8	11,19230233	8,054523574	10,44	9,73
B1	227	220	12,32	803	1376	1	15	8	7,8	5,3	7,11	7,5	7,518036296	7,807936398	7,48	8,94
B2	274	220	12,32	678	1253	1	15	8	7,8	5,3	8	7,4	8,250427875	7,726634328	7,02	8,62
B3	147	660	72,49	391	963	1	15	8	7,8	5,3	17,9	7,5	17,95907821	7,816428705	22,17	10,12

B4	193	660	72,49	562	926	1	15	8	7,8	5,3	17,3	4,7	17,35099668	5,79636113	13,32	9,39
B6	139	660	72,49	391	963	1	15	8	7,8	5,3	13,5	6,9	13,61331874	7,444486691	17,98	9,43
B5	185	660	72,49	562	926	1	15	8	7,8	5,3	7,75	6,5	8,029770061	7,619220251	13,39	8,43
B1	261	220	72,49	391	963	1	15	8	7,45	3,8	2,92	9,5	4,04952127	9,685453593	3,8	7,7
B2	298	220	72,49	562	926	1	15	8	7,45	3,8	3,3	7,2	4,430869074	7,532874492	4,22	7,72
B3	255	220	72,49	391	963	1	15	8	7,45	3,8	4,06	5	5,196487172	6,144727313	5,03	8,51
B4	292	220	72,49	562	926	1	15	8	7,45	3,8	2,79	4,7	3,919204589	5,842877186	4,62	7,65
B6	248	220	72,49	391	963	1	15	8	7,45	3,8	4,06	5,6	5,196637764	6,70623539	4,93	7,68
B5	285	220	72,49	562	926	1	15	8	7,45	3,8	3,81	7,5	4,944401708	7,795672541	4,13	7,14
B1	230	220	72,49	606	803	1	15	8	7,5	4,5	4,19	12	5,314727097	12,11599564	5,48	7,86
B2	263	220	72,49	391	963	1	15	8	7,5	4,5	4,06	9,3	5,181313155	9,494948597	5	8,29
B3	299	220	72,49	848	1758	1	15	8	7,5	4,5	3,17	8,1	4,287840114	8,350153083	3,97	8,64
B6	220	220	72,49	606	803	1	15	8	7,5	4,5	4,19	5,7	5,314751946	6,846493911	6,94	9,43
B5	253	220	72,49	391	963	1	15	8	7,5	4,5	5,33	5,4	6,47040989	6,541834277	5,08	8,88
B1	290	220	72,49	848	1758	1	15	8	7,3	5,1	4,7	5,4	5,807556014	6,518953539	4,82	7,93
B2	211	220	72,49	606	803	1	15	8	7,3	5,1	4,19	5,9	5,299813633	7,03989921	8,27	8,5
B3	245	220	72,49	391	963	1	15	8	7,3	5,1	3,68	4,3	4,788331024	5,407493433	6,16	7,81
B6	281	220	72,49	848	1758	1	15	8	7,3	5,1	4,06	5,8	5,166224804	6,93343415	4,23	7,2
B5	459	900	72,49	606	803	1	15	8	7,3	5,1	3,68	7,8	4,786891011	8,070431386	4,37	6,08
B1	509	900	72,49	391	963	1	15	8	7,2	4,5	3,56	8,1	4,674172994	8,354797824	2,63	6,45
B2	558	900	72,49	848	1758	1	15	8	7,2	4,5	2,41	6,3	3,527211238	7,189105591	3,3	6,68
B3	442	900	72,49	606	803	1	15	8	7,2	4,5	2,79	7	3,908924442	7,388346527	4,2	7,41
B6	492	900	72,49	391	963	1	15	8	7,2	4,5	4,06	5,8	5,175665398	6,940470562	3,41	7,24
B5	541	900	72,49	848	1758	1	15	8	7,2	4,5	3,3	6,2	4,415663283	7,198875467	2,95	7,18
B1	161	450	72,49	391	963	6	20	6,1	7,43	6,5	6,73	8	7,205967586	8,411637422	15,13	8
B2	232	450	72,49	562	926	6	20	6,1	7,43	6,5	6,48	7,8	7,063076248	8,211522719	8,19	7,6

B3	145	675	72,49	391	963	6	20	6,1	7,43	6,5	8	12	8,412320438	12,29442164	15,68	8,81
B6	218	675	72,49	562	926	6	20	6,1	7,43	6,5	11,8	9,1	12,09203506	9,47678491	7,41	8,6
B5	188	675	72,49	391	963	6	20	6,1	7,43	6,5	8,64	5,5	9,035607395	6,61704746	10,99	9,41
B1	254	675	72,49	562	926	5	20	6,1	7,34	6,4	9,91	6,3	10,24330653	7,043424414	7,94	8,49
B2	349	220	4,31	717	2023	5	20	6,1	7,34	6,4	4,32	7,9	5,44357082	7,955329657	5,06	7,5
B3	381	220	4,31	1016	985	5	20	6,1	7,34	6,4	2,41	11	3,522714625	10,83087465	6,17	7,67
B6	340	220	4,31	717	2023	5	20	6,1	7,34	6,4	13,5	7,3	13,18433499	7,448192412	4,84	8,53
B5	372	220	4,31	1016	985	5	20	6,1	7,34	6,4	5,84	4,7	6,981500012	5,83881098	6,24	8,67
B3	331	220	4,31	717	2023	8	15	7,08	7,5	7,2	15,5	7,3	15,09129556	7,668620349	9,64	7,81
B4	363	220	4,31	1016	985	8	15	7,08	7,5	7,2	5,71	7,6	6,852654438	7,878330486	8,74	7,7
B6	528	900	4,31	717	2023	8	15	7,08	7,5	7,2	4,32	8,3	5,459902788	8,43059185	9,51	7,24
B5	574	900	4,31	1016	985	8	15	7,08	7,5	7,2	3,05	8,1	4,180402929	8,301293316	3,91	7,39
B3	519	900	4,31	717	2023	7	15	6,08	8,28	6,22	7,11	8,1	7,422711191	8,258688011	4,19	8,17
B4	564	900	4,31	1016	985	7	15	6,08	8,28	6,22	3,43	10	4,562171807	9,921603145	5,56	8,19
B6	276	450	4,31	720	1032	7	15	6,08	8,28	6,22	10,3	7,4	10,17803082	7,682624816	9,8	10,53
B5	304	450	4,31	981	1260	7	15	6,08	8,28	6,22	13,6	8,4	13,2705013	8,540993696	9,28	10,22
B3	255	675	4,31	720	1032	21	15	6,1	8,1	7,66	6,73	4,2	7,884390809	5,343586614	16,47	9,23
B4	284	675	4,31	981	1260	21	15	6,1	8,1	7,66	8,25	8	8,969362259	8,780554736	9,42	8,5
B6	306	675	4,31	720	1032	21	15	6,1	8,1	7,66	5,59	3,7	6,748220051	4,837531776	8,34	7,96
B5	333	675	4,31	981	1260	21	15	6,1	8,1	7,66	7,62	6,7	8,519778602	7,854175106	7,43	7,71
B4	544	330	12,32	898	1033	4	20	7,1	7,7	8,5	2,41	7	3,515619594	8,126060461	2,65	7,41
B5	592	330	12,32	803	1376	4	20	7,1	7,7	8,5	1,78	4,8	2,887315017	5,892607497	3,24	8,06
B6	645	330	12,32	678	1253	4	20	7,1	7,7	8,5	1,52	4,3	2,628479674	5,394332781	2,31	7,06
B3	499	330	12,32	675	1731	3	20	8,4	8,15	6,8	3,30	6,4	4,395781284	7,497445809	3,96	7,77
B4	565	330	12,32	898	1033	3	20	8,4	8,15	6,8	3,81	5,7	4,901461189	6,786974396	3,05	7,13
B5	614	330	12,32	803	1376	3	20	8,4	8,15	6,8	1,90	5,9	3,001519588	6,985708797	3,49	7,27

B6	668	330	12,32	678	1253	3	20	8,4	8,15	6,8	1,78	8,7	2,88239291	9,063094911	2,52	6,8
B3	515	330	12,32	675	1731	1	20	8,9	7,5	7	1,40	16	2,493381453	15,67090608	3,02	9
B4	581	330	12,32	898	1033	1	20	8,9	7,5	7	1,27	10	2,362999434	10,143142	2,42	9,63
B5	631	330	12,32	803	1376	1	20	8,9	7,5	7	0,76	16	1,857244315	15,68091171	1,89	10,25
B6	685	330	12,32	678	1253	1	20	8,9	7,5	7	0,89	10	1,983633622	10,14312042	1,35	10,55
B3	521	330	12,32	675	1731	4	20	7,1	7,45	7,56	3,05	4,4	4,150974	5,491648603	2,2	10,66
B4	587	330	12,32	898	1033	4	20	7,1	7,45	7,56	2,92	5,6	4,021707108	6,686475746	2,7	8,95
B5	637	330	12,32	803	1376	4	20	7,1	7,45	7,56	2,03	4,4	3,134882053	5,490107026	2,48	8,42
B6	691	330	12,32	678	1253	4	20	7,1	7,45	7,56	1,90	4,3	3,00556378	5,390256839	2,57	7,64
B3	525	330	12,32	675	1731	3	20	8,4	8,3	8,03	3,43	4,3	4,519954512	5,381069183	3,36	7,92
B4	592	330	12,32	898	1033	3	20	8,4	8,3	8,03	3,81	4,5	4,895682993	5,578787193	3,37	7,18
B5	643	330	12,32	803	1376	3	20	8,4	8,3	8,03	3,05	4,5	4,141063921	5,576923495	3,15	6,65
B6	697	330	12,32	678	1253	3	20	8,4	8,3	8,03	2,29	4,2	3,387083127	5,280079625	2,97	6,33
B3	337	330	12,32	675	1731	4	20	7,1	8,95	8,4	10,40	6,1	10,61376216	7,191644836	6,81	7,13
B4	398	330	12,32	898	1033	4	20	7,1	8,95	8,4	8,00	5,4	8,627726561	6,488460659	7,31	6,82
B5	493	330	12,32	803	1376	4	20	7,1	8,95	8,4	4,19	5	5,283988169	6,088995707	5,59	6,45
B6	375	330	12,32	678	1253	4	20	7,1	8,95	8,4	13,10	4,7	12,94150006	5,792044237	7,07	6,82
B3	436	330	12,32	898	1033	3	20	8,5	8,1	8,1	11,20	4,7	11,25149461	5,777598059	7,06	6,63
B4	482	330	12,32	803	1376	3	20	8,5	8,1	8,1	5,97	4,4	7,032117342	5,479017503	7,02	6,23
B5	533	330	12,32	678	1253	3	20	8,5	8,1	8,1	5,46	4,3	6,526628386	5,379491794	5,15	5,96
B6	503	330	72,49	606	803	3	20	8,5	8,1	8,1	2,29	4,9	3,409645397	6,001917085	4,34	5,86
B3	563	330	72,49	391	963	4	20	7,2	8,05	7,3	2,54	4,4	3,658888474	5,508611298	2,86	5,53
B4	616	330	72,49	848	1758	4	20	7,2	8,05	7,3	2,16	4,1	3,279993059	5,210339546	2,79	5,37
B5	666	330	72,49	562	926	4	20	7,2	8,05	7,3	5,08	6,9	6,184832875	7,98671478	2,38	5,2
B6	477	330	72,49	606	803	4	20	7,2	8,05	7,3	3,94	4,6	5,057945421	5,713676027	5,14	6,01
B3	546	330	72,49	391	963	3	20	8,4	8,3	6,92	3,94	4,3	5,048610565	5,40672178	4,5	6,15

B4	600	330	72,49	848	1758	3	20	8,4	8,3	6,92	2,79	4,4	3,903713443	5,50566751	3,34	5,65
B5	649	330	72,49	562	926	3	20	8,4	8,3	6,92	3,94	4,5	5,049807396	5,606969202	2,93	5,61
B6	452	330	72,49	606	803	3	20	8,4	8,3	6,92	5,21	5,3	6,319507065	6,409284399	5,47	6,01
B3	521	330	72,49	391	963	4	20	7,5	7,76	7,3	4,70	4,8	5,808304619	5,90751008	4,35	5,76
B4	575	330	72,49	848	1758	4	20	7,5	7,76	7,3	3,94	3,8	5,052781686	4,913595665	4,23	5,55
B5	624	330	72,49	562	926	4	20	7,5	7,76	7,3	5,21	3,8	6,314855876	4,915003777	3,68	5,36
B6	430	330	72,49	606	803	4	20	7,5	7,76	7,3	6,60	4,9	7,697337832	6,012755209	6,6	5,67
B3	499	330	72,49	391	963	5	20	7,2	7,2	7,9	5,71	4,6	6,824813987	5,71975615	6,63	5,39
B4	553	330	72,49	848	1758	5	20	7,2	7,2	7,9	3,94	4,6	5,061707593	5,718890137	4,76	5,25
B5	601	330	72,49	562	926	5	20	7,2	7,2	7,9	5,84	4,5	6,954738222	5,620490756	3,77	5,2
B6	300	330	72,49	606	803	5	20	7,2	7,2	7,9	9,91	9,5	10,23828627	9,842124153	11,47	6,28
B3	368	330	72,49	391	963	4	20	7,6	7,06	7,92	6,60	5,3	7,697383959	6,409410026	7,73	6,62
B4	422	330	72,49	848	1758	4	20	7,6	7,06	7,92	4,83	4,8	5,941974652	5,912183068	5,49	6,62
B5	470	330	72,49	562	926	4	20	7,6	7,06	7,92	6,98	4,7	8,074025173	5,813037029	4,57	6,09
B6	269	330	72,49	606	803	4	20	7,6	7,06	7,92	9,02	10	9,355163732	10,30542484	13,2	7,16
B3	337	330	72,49	391	963	3	20	8,1	7,35	7,05	5,33	8	6,435095432	8,455955374	8,34	7,26
B4	391	330	72,49	848	1758	3	20	8,1	7,35	7,05	3,56	6,5	4,674852512	7,606992519	5,06	7,69
B5	439	330	72,49	562	926	3	20	8,1	7,35	7,05	6,35	8,5	7,454733233	8,862912642	3,99	7,25
B6	295	330	4,31	720	1032	3	20	8,1	7,35	7,05	8,13	12	8,273463385	11,76219196	11,75	8,67
B3	372	330	4,31	981	1260	3	20	8,1	7,55	7	4,32	6,9	5,438217706	7,957732998	8,93	8,71
B4	422	330	4,31	1016	985	3	20	8,1	7,55	7	4,19	8,1	5,305474789	8,280208767	5,11	8,7
B5	478	330	4,31	717	2023	3	20	8,1	7,55	7	5,08	5,1	6,218776234	6,239556476	4,38	8,25
B6	265	330	4,31	720	1032	3	20	8,1	7,55	7	6,35	8,4	7,479630084	8,457772175	12,3	9,66
B3	342	330	4,31	981	1260	4	20	8,2	8,1	7,4	4,57	4,3	5,699198821	5,423835597	7,77	8,33
B4	392	330	4,31	1016	985	4	20	8,2	8,1	7,4	3,81	4,8	4,927060676	5,934762126	4,74	7,97
B5	448	330	4,31	717	2023	4	20	8,2	8,1	7,4	5,71	5,3	6,863554066	6,445025167	4,24	6,82



B6	262	330	4,31	720	1032	4	20	8,2	8,1	7,4	10,80	7,5	10,65863399	8,582589996	12,33	8,17
B3	339	330	4,31	981	1260	4	20	7,6	8,4	9,25	6,60	5,2	7,73971166	6,344985382	8,84	7,39
B4	389	330	4,31	1016	985	4	20	7,6	8,4	9,25	7,37	5	8,451519917	6,140776688	6,43	7,32
B5	445	330	4,31	717	2023	4	20	7,6	8,4	9,25	6,86	4,8	7,977319484	5,932864329	6,03	6,54
B6	295	330	4,31	720	1032	4	20	7,6	8,4	9,25	9,02	7,2	9,270974034	8,232281328	13,86	7,41
B3	372	330	4,31	981	1260	4	20	8,3	8,1	9	7,11	5,6	8,224561854	6,751797075	7,85	6,86
B4	422	330	4,31	1016	985	4	20	8,3	8,1	9	6,22	5,3	7,378180751	6,44586915	6,11	6,92
B6	478	330	4,31	717	2023	4	20	8,3	8,1	9	6,60	6	7,737088598	7,154611179	5,3	6,38
B3	281	330	4,31	720	1032	5	20	7,3	7,3	7	15,50	6,9	15,18295809	7,975045507	15	7,49
B4	358	330	4,31	981	1260	5	20	7,3	7,3	7	10,20	5,5	10,09180943	6,654609461	9,46	7,02
B5	408	330	4,31	1016	985	5	20	7,3	7,3	7	7,87	5,9	7,981453766	7,049825206	7,52	6,88
B6	463	330	4,31	717	2023	5	20	7,3	7,3	7	11,60	6	11,35914583	7,135456565	6,35	6,53

## ÖZGEÇMİŞ



### **Kişisel bilgiler**

Adı Soyadı	Mehmet Kürşat DİLMAÇ
Doğum Yeri ve Tarihi	Kastamonu, 1983
Medeni Hali	Evli
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Atatürk Üniversitesi Oltu Yer Bilimleri Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Oltu/Erzurum
E-posta Adresi	mkdilmac@gmail.com

### **Eğitim ve Akademik Durumu**

Lise	Eskişehir Yunus Emre Lisesi, 2002
Lisans	Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, 2006
Yüksek Lisans	Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, 2009

### **İş Tecrübesi**

Atatürk Üniversitesi	Araştırma Görevlisi, 2010-Devam ediyor.
Fimar Mermer A.Ş.	Maden Mühendisi 2008-2008

### **Ödüller, Teşvikler ve Üyelikler**

TMMOB Maden Mühendisleri Odası