



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**VİTES KOMUTA KONTROL SİSTEMLERİNDE
MEKANİK TİTREŞİM ve AKUSTİK ÖZELLİKLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

Hüseyin KARABULUT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA 2011

**VİTES KOMUTA KONTROL
SİSTEMLERİNDE
MEKANİK TİTREŞİM ve AKUSTİK
ÖZELLİKLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

Hüseyin KARABULUT



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**VİTES KOMUTA KONTROL SİSTEMLERİNDE
MEKANİK TİTREŞİM ve AKUSTİK ÖZELLİKLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

Hüseyin KARABULUT

Prof. Dr. Reşat ÖZCAN

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2011

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Hüseyin KARABULUT tarafından hazırlanan “VİTES KOMUTA KONTROL SİSTEMLERİNDE MEKANİK TİTREŞİM ve AKUSTİK ÖZELLİKLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Reşat ÖZCAN

Başkan : Prof.Dr. ReşatÖZCAN İmza
 Üniversitesi
 Fakültesi
 Anabilim Dalı

Üye : İmza
 Üniversitesi
 Fakültesi
 Anabilim Dalı

Üye : İmza
 Üniversitesi
 Fakültesi
 Anabilim Dalı

Üye : İmza
 Üniversitesi
 Fakültesi
 Anabilim Dalı

Üye : İmza
 Üniversitesi
 Fakültesi
 Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Kadri ARSLAN
Enstitü Müdürü/..../....

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

21.02.2011

Hüseyin KARABULUT

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

VİTES KOMUTA KONTROL SİSTEMLERİNDE MEKANİK TİTREŞİM ve AKUSTİK ÖZELLİKLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Hüseyin KARABULUT

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Reşat ÖZCAN

Gerçekleştirilen bu proje VKKK 'nda meydana gelen titreşim problemi ile ilgilidir. VKKK'nda titreşim ve gürültü problemine araç motoru sebep olmaktadır. Bu titreşim ve gürültü otomobilde konforsuzluğa, dolayısıyla müşteri şikayetine sebep olmaktadır. VKKK'sunun bir ucu vites dişli kutusuna, diğer ucu ise sürücü kabinindeki vites koluna bağlanmaktadır. Bu sebeple motordan gelen titreşim VKKK'ndaki yaklaşık 150 cm uzunluğunda 3 mm çapındaki iç çelik tel (halat) vasıtasıyla sürücü kabinine kadar taşınmaktadır. Bu proje, VKKK'nda müşteri şikayetine sebep olan titreşim sorununu ortadan kaldırmak amacıyla vites kablosunun simülasyon modelinin kurulması amaçlanmıştır. Bir VKKK'nun yaklaşık 45 parçadan oluştuğu bilindiğine göre sistemin karmaşıklığı açık şekilde ortaya çıkmaktadır. Önerilen projede sorunu çözmek amacıyla VKKK 'nu oluşturan temel parçalar, yani hareket ve titreşimi taşıyan parçalar incelenmiştir. Bu parçalar iç çelik tel, dış koruyucu tüp, araç bağlantı parçası ve sürücü kabini-motor ayırma parçası gibi parçalardır.

Bu ürün tanıma çalışmalarından sonra müşteri şikâyetine sebep olan titreşimin tespit edilme çalışması yapılmıştır. Bu amaçla, piyasadaki örnek bir "model araç" üzerinden ivmeölçerler ile veriler toplanarak titreşim girdileri tespit edilmiştir. Bu aşamada elde edilen veriler uygun bir yazılımda işlenerek, bilgisayarda yapılan sonlu elemanlar analizlerinde kullanılabilir hale getirilmiştir. Bu girdilerin (verilerin) bilgisayar analizlerinde uygulanması ile sistemin simülasyon modellenmesi faaliyeti gerçekleştirilmiştir. Böylece elde edilen bu simülasyon modeli, ürünün imalinden önce vites kablosunun titreşim karakteristiğinin tahmin edilmesinde kullanılabileceği düşünülmüştür.. Ayrıca bu simülasyon modeli vites kablosunu oluşturan özel parçaların titreşim karakteristiklerini yansıtabilmesi amaçlanmıştır. Yüksek lisans çalışması, ilgili vites kablosunun bilgisayar simülasyonu analiz sonuçları ile deneysel modelin uyumluluk oranlarının tespit edilmesiyle sonlandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Komuta ve Kontrol kablosu, Vites Kablosu, Titreşim, Vites Kablosunun Sonlu Elemanlar Modeli

2011, xi + 76 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

**DEVELOPMENT of MECHANICAL VIBRATIONS and ACOUSTIC
FEATURES of GEAR SHIFTER TRANSMISSION CABLES****Hüseyin KARABULUT**Uludag University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**Supervisor: Prof. Dr. Reşat ÖZCAN**

This presented project is related with vibrations of transmission cables which come from engine of vehicle. This kind of vibrations cause no conveniences on driver side consequently cause customer complaint. Vibrations are carried through transmission cables from engine to driver side. As it is known that transmission cables consist of about 45 components. In this project, specific parts such as inner tube, steel wire, conduit, bracket which carry vibrations have been investigated in order to solve and/or improve vibration of transmission cables of vehicles.

After these investigations which purpose to detect behaviors of them, data acquisition and processing phase have been carried out and their inputs have been detected through accelerometers on master model vehicle which is current in global market. These inputs have been used on phase of finite element simulations. In this way, simulation model will be able to be used in order to represent the vibration behavior of transmission cable before their production. Also this simulation model will be able to reflect the vibration characteristic of specific parts which constitute of transmission cable. This study has been finalized through to investigate the correlation between experimental model and simulative model of transmission cable which has been used in this project.

Keywords

Command and Control Cable, Transmission Cable, Vibration, Finite Element Model of Transmission Cable

2011, xi + 76 pages

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca danışmanlığımı yapan, bu süreç boyunca her türlü desteği benden hiçbir zaman esirgemeyen ve yüksek lisans tezimin Sanayi Bakanlığı destekli bir SAN-TEZ projesi haline gelmesinde destek veren başta danışman hocam Prof.Dr. Reşat ÖZCAN olmak üzere, Prof. Dr Osman KOPMAZ ve Yard.Doç.Dr Sevda TELLİ 'ye teşekkürü bir borç bilirim. Bununla birlikte yüksek lisans çalışmamızı desteklemeye değer bulan ve tezime başka bir anlam ve değer katan Sanayi Bakanlığına, ayrıca Santez kapsamında bize fabrikalarının kapısını açan TOYOTA Adapazarı Fabrikasına ayrıca teşekkürlerimi sunmak isterim.

Yüksek lisans çalışmamızın, 00358.STZ.2009–1 numaralı SANTEZ projesi kapsamında değerlendirilmesine büyük katkı sağlayan ve ilk günden beri yüksek lisans öğrenimime devam etmem konusunda beni her zaman cesaretlendiren başta müdürüm A.Derya ŞENGENÇ olmak üzere, Ficosa Otomotiv Genel Müdürü Karim EL HAMEL ve proje boyunca desteklerini esirgemeyen Ficosa Otomotiv Mühendislik Bölümü çalışanları ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, yüksek lisans öğrenimim boyunca maddi ve manevi her türlü desteğini benden esirgemeyen eşim Meral KARABULUT 'a ve en az benim kadar yüksek lisans öğrenimime devam etmemi isteyen, başta annem Ümmühan ve babam Hamdi KARABULUT olmak üzere tüm KARABULUT ailesine sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Hüseyin KARABULUT
21/02/2011

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	6
ABSTRACT.....	7
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	8
İÇİNDEKİLER.....	9
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	12
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	14
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	16
1. GİRİŞ.....	17
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMA.....	20
3. VİTES KOMUTA KONTROL KABLOSUNUN GENEL ÖZELLİKLERİ.....	24
3.1 Vites Komuta Kontrol Kablosu Tanımı	24
3.2 Vites Komuta Kontrol Kablosu'nun Tarihi Süreci	25
3.3 Vites Komuta Kontrol Kablosu'nun Fonksiyonları	26
3.3.1 Temel fonksiyonlar	27
3.3.2 Konfor ve performans fonksiyonları.....	27
3.3.3 Diğer fonksiyonlar	27
4. VİTES KOMUTA KONTROL SİSTEMİNİ OLUŞTURAN ALT SİSTEMLER.....	28
4.1 Select kablo.....	28
4.2 Shift kablo.....	29
4.3 Vites kolu	29
4.4 Braket.....	29
4.5 Vites kutusu	30
5. VİTES KOMUTA KONTROL KABLOSUNU OLUŞTURAN PARÇALAR VE PERFORMANS ÖZELLİKLERİ.....	31
5.1 CaEF (İç kablo Sonu).....	31
5.1.1 Ball coupling takma ve çıkarma yükü.....	32
5.1.2 Dış gövde dayanımı	32
5.1.3 İç gövde dayanımı	32
5.1.4 Damper stiffness değeri	33
5.2 CoEF (Koruyucu Zarf Sonu).....	33
5.2.1 Kapak-gövde ayrılma yükü	34
5.2.2 CoEF araca takma-çıkarma yükü	34
5.2.3 Damper stiffness değeri	34

5.3	İç çelik Kablo.....	35
5.3.1	Çekme dayanımı	36
5.3.2	Compression (Baskı) dayanımı.....	36
5.3.3	Yorulma dayanımı.....	37
5.4	Conduit.....	37
6.	VİTES KOMUTA KONTROL KABLOSUNUN PERFORMANS KRİTERLERİ.....	39
6.1	Birincil Fonksiyonel Değerlendirme Kriterleri.....	39
6.1.1	Mekanik beklentiler	39
6.1.1.1	Ömür (durability).....	39
6.1.1.2	Sıkıştırma dayanımı (compression load resistance).....	40
6.1.1.3	Vites komuta kontrol kablosu rijitliği (cable assembly stiffness).....	41
6.1.2	Kimyasal ve diğer dayanım beklentileri	42
6.2	İkincil Fonksiyonel Değerlendirme Kriterleri.....	42
6.2.1	Yüksüz sürtünme performansı (no load sliding resistance).....	43
6.2.2	Kuvvet iletim verimliliği (load efficiency)	44
6.2.3	Titreşim özellikleri.....	45
6.2.3.1	Titreşim büyüklüğü (vibration magnification).....	45
6.2.3.2	NVH (noise vibration harshness).....	47
7.	TİTREŞİM PERFORMANSI ÖLÇÜM VE HESAPLAMA DONANIMLARI ve KULLANIMI.....	48
7.1	Sensörler	48
7.2	Veri Toplama ve Analiz Sistemi	50
7.3	Sonlu Elemanlar Yazılımı	54
7.3.1	Sonlu elemanlar yazılımı ön ve son işlemci özellikleri	55
7.3.2	Sonlu elemanlar yazılımı çözücü özellikleri	56
8.	VİTES KOMUTA KONTROL KABLOSU DENEYSEL VERİ TOPLANMASI VE TOPLANAN VERİLERİN İŞLENMESİ.....	58
8.1	VKKK ‘da Kullanılan Alt Parçaların Mekanik Özelliklerinin Tespit Edilmesi	58
8.1.1	İç çelik tel ve koruyucu dış tüp parçalarının eğilme rijitliklerinin tespiti	58
8.1.2	CaEF ve CoEF parçalarının rijitlik (stiffness) değerlerinin tespiti	63
8.2	Örnek Bir Otomobil Üzerinden Titreşim Verilerinin Toplanması.....	67
8.3	Otomobil Üzerinden Toplanan Verilerin Değerlendirilmesi	71
9.	VİTES KOMUTA KONTROL KABLOSUNUN SONLU ELEMANLAR MODELİNİN KURULMASI VE TİTREŞİM ANALİZLERİ.....	77
9.1	VKKK ‘nun 3 Boyutlu CAD Modelinin Kurulması	77
9.2	VKKK ‘nun Sonlu Elemanlar Modelinin (CAE) Kurulması.....	80
9.2.1	VKKK ‘nun basit sonlu elemanlar modeli.....	80
9.2.2	VKKK ‘nun detaylı sonlu elemanlar modeli.....	81

10. ARAŖTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŖMA.....	86
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	91
ÖZGEMİŖ.....	93

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
C°	- Santigrad Derece
dB	- Desibell
E	- Elastise Modülü
EI	- Eğilme Rijitliği (N.m ²)
ft	- feet (adım)
g	- 9,81 m/s ²
gr	- gram
Hz	- Hertz
I	- Alan Atalet Momenti
kg	- Kilogram
kHz	- Kilohertz
kS	- Kilo Sample
L	- Uzunluk (m)
mg	- Mili g
MHz	- Megahertz
mm	- Milimetre
m	- metre
MPa	- Megapaskal
mV	- Milivolt
N	- Newton
s	- saniye
pk	- Peak ivme
Vpk	- Volt Peak
%	- Yüzdalik Oran
ΣB	- Vites Kablosundaki İvmelerin Toplamı
δ	- Deplasman (m)
Ø	- Çap (mm)

Simgeler	Açıklama
AC	- Alternatif Akım
CAD	- Bilgisayar Destekli Tasarım
CAE	- Bilgisayar Destekli Mühendislik
CoEF	- Koruyucu Zarf Sonu Bağlantı Elemanı
CaEF	- İç Çelik Tel Sonu Bağlantı Elemanı
DAQ	- Veri Toplama Kartı
DC	- Doğru Akım
DXF	- 3D Model Uzantısı
EPDM	- Bir Kauçuk Türü
ESD	- Energy Spectral Density
FFT	- Fast Fourier Transform

FRF	-	Frekans Cevap Fonksiyonu
ICP	-	Bir İvmeölçer Türü
IGES	-	3D Model Uzantısı
NBR	-	Doğal Bir Kauçuk Türü
NVH	-	Ses, Titreşim ve Kabalık
PC	-	Kişisel Bilgisayar
PSD	-	Power Spectral Density
RMS	-	Root Mean Square
RMSSD	-	Root Mean Square Spectral Density
RPM	-	Motor Dakika Devir Sayısı
SEM	-	Sonlu Elemanlar Metodu
STEP	-	3D Model Uzantısı
STL	-	3D Model Uzantısı
VDAFS	-	3D Model Uzantısı
VKKK	-	Vites Komuta Kontrol Kablosu
3D	-	Üç Boyutlu
2D	-	İki Boyutlu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1	Vites komuta kontrol kablosu sistemi	07
Şekil 3.2	Vites-vites kutusu çubuk mekanizması	08
Şekil 4.1	Vites komuta kontrol kablosu ve vites kolu	11
Şekil 4.2	Vites kutusu mekanizması	13
Şekil 5.1	CaEF montajı kesit resmi	14
Şekil 5.2	CaEF damper stiffness grafiği	16
Şekil 5.3	CoEF montajı kesit resmi	17
Şekil 5.4	CoEF damper stiffness grafiği	18
Şekil 5.5	Farklı kesitlerde iç kablo örnekleri	18
Şekil 5.6	İç kablo çekme grafiği	19
Şekil 5.7	İç kablo compression grafiği	20
Şekil 5.8	Conduit iç yapısı	21
Şekil 6.1	Test sonrası burkulma oluşan iç kablo örnekleri	23
Şekil 6.2	Farklı VKKK'na ait rijitlik grafikleri	24
Şekil 6.3	Tuz testinden çıkmış bir VKKK	25
Şekil 6.4	VKKK'nun sürtünme direnci	26
Şekil 6.5	Örnek bir vites kablosu verimliliği	27
Şekil 6.6	VKKK'nun titreşim büyüklüğü ölçümü	29
Şekil 6.7	Vites kablosunun subjektif titreşim cevabı testi	30
Şekil 7.1	Piezo-Elektrik ivmeölçer yapısı	32
Şekil 7.2	PCB Electronics'in 356A22 model ivmeölçer performans özellikleri ...	33
Şekil 7.3	National instrument daq sistemi	35
Şekil 8.1	Üç noktalı eğilme test düzeneği	42
Şekil 8.2	Üç farklı iç telin kesitleri	42
Şekil 8.3	Dış tüp kesitleri	43
Şekil 8.4	İç çelik tel-dış tüp çiftine ait F- δ grafiği	45
Şekil 8.5	İç çelik tel-dış tüp ikilisinin eğilme rijitliğinin değişimi	45
Şekil 8.6	Lineer bölgeye ait eğilme rijitliğinin sehime göre değişimi	46
Şekil 8.7	İç kablo damperi stiffness testi	47
Şekil 8.8	İç kablo damperine ait stiffness grafiği	47
Şekil 8.9	Dış koruyucu zarf damperi stiffness testi	48
Şekil 8.10	Dış koruyucu zarf damperine ait stiffness grafiği	49
Şekil 8.11	18 kanallı veri spektrumu	51
Şekil 8.12	İvmeölçerlerin VKKK üzerindeki konumları	53
Şekil 8.13	Araç global koordinat sistemi	53
Şekil 8.14	Motor tarafı veri toplama çalışması	54
Şekil 8.15	Sürücü tarafı veri toplama çalışması	54
Şekil 8.16	X eksenı datası ivme-zaman spektrumu	55
Şekil 8.17	X eksenı datası ivme-frekans spektrumu	55
Şekil 8.18	X eksenı datası süzgeçli ivme-frekans spektrumu	56
Şekil 8.19	11 noktaya ait 3 eksenli ivme datası (2000 RPM, araç sabit)	57
Şekil 8.20	Sabit araçta 11 noktaya ait farklı devirlerdeki bileşke ivmeler	58
Şekil 8.21	2. viteste 11 noktaya ait farklı devirlerdeki bileşke ivmeler	58
Şekil 9.1	Herhangi bir VKKK üzerindeki kritik noktalar	61
Şekil 9.2	VKKK CAD modeli üzerindeki kritik noktalar	62

Şekil 9.3	Çalışmada kullanılan VKKK üzerindeki kritik noktalar	63
Şekil 9.4	VKKK üzerindeki braket ve grommet sınır şartları	67
Şekil 9.5	VKKK sonlu elemanlar modeli	67
Şekil 9.6	2000RPM'deki VKKK'nun deplasman cinsinden SEM sonuçları.....	68
Şekil 9.7	2000RPM'deki VKKK'nun ivme cinsinden SEM sonuçları	68
Şekil 10.1	2000 RPM'de ölçülen ve hesaplanan uyumluluk değerleri	71
Şekil 10.2	3000 RPM'de ölçülen ve hesaplanan uyumluluk değerleri	72
Şekil 10.3	4000 RPM'de ölçülen ve hesaplanan uyumluluk değerleri	73

ÇİZELGELER DİZİNİ

Tablo 6.1	Titreşim büyüklüğünün hesaplanmasına ait örnek tablo	29
Tablo 8.1	İç çelik tel rijitlikleri	42
Tablo 8.2	Dış koruyucu tüp rijitlikleri	43
Tablo 8.3	İç çelik tel - dış tüp rijitlikleri	44
Tablo 8.4	1-5 noktalarına ait ve devir sayısına bağlı ivme-frekans değerleri	56
Tablo 8.5	6-11 noktalarına ait ve devir sayısına bağlı ivme-frekans değerleri	57
Tablo 10.1	2000 RPM 'de VKKK'nun 3 eksenindeki input ivmeleri	69
Tablo 10.2	2000 RPM 'de VKKK'nun ortalama (magnitude) output ivmeleri	70
Tablo 10.3	3000 RPM 'de VKKK'nun ortalama (magnitude) output ivmeleri	71
Tablo 10.4	4000 RPM 'de VKKK'nun ortalama (magnitude) output ivmeleri	72
Tablo 10.5	VKKK'nun simülasyon ve deneysel sonuçlarının uyumluluk oranları ..	73

1. GİRİŞ

Dünyanın önde gelen sektörlerinden biri olan ve son yıllarda Türkiye’de de büyük bir ivme kazanan Otomotiv Sektörü, her geçen gün kendini değiştirmeye ve yenilemeye devam ederek büyük bir hızla gelişim göstermektedir. Bu gelişim, sürücü ile yolcuların seyahat ve sürüş konforunu ve hatta performansını artırıcı yönde ilerlemektedir.

Bu konfor artırıcı gelişmelerden biri de, araçlarda motor kaynaklı titreşimlerin ve sesin yok edilmesi, azaltılması ya da kontrol altına alınarak en az seviyede araç yolcu kabine iletilmesinin sağlanmasıdır. Otomobil üreticileri, motor şok sönümleyiciler, çeşitli köpükler, izolasyon malzemeleri ve ağırlıklar kullanarak bu titreşimlerin ve sesin en aza indirilmesine ve böylece motor kaynaklı titreşim ve ses yayılımını kontrol altına alınmasına çalışmaktadırlar.

Yukarıda anlatılan titreşim ve titreşim kaynaklı ses sorunu birinci derecede otomobil üreticisi ana sanayi firmalarını ilgilendirmesine rağmen, bu firmalar ile birlikte çalışmak zorunda olan tedarikçi firmaları da ilgilendirmektedir. Bunun sebebi, ilgili ürünleri üreterek ana sanayiye sağlayan firmalar, tedarikçi firmalardır. Ana sanayi firmaları ortaya çıkan sorunların tedarikçi firmalar tarafından çözülmesini beklemektedir. Türkiye’de yerleşik olan veya olmayan otomobil ana üreticilerinin tedarikçileri, müşteri şikâyetine sebep olan sorunları çözmediği sürece ana sanayiler tarafından yeni işler veya siparişler alma konusunda zorluklar yaşamaktadır. Bu da, yerli tedarikçilerin varlığını sürdürmesini zorlaştırmaktadır. Otomotiv tedarikçileri bu zorlukla karşılaşmamak için kendilerini ve teknolojilerini sürekli geliştirmek ve güncellemek zorundadırlar. Bu durum, özellikle yerli firmaların rekabet gücüne önemli katkılar sağlayacaktır.

Araçlarda motor titreşimini sürekli olarak üzerinde bulunduran ve taşıyan önemli bir ürün de “Vites Komuta Kontrol Kablosu” (VKKK) dur. Bu ürün, sürekli araç motoruyla temas halinde olduğundan motordan gelen titreşimleri üzerinden geçirerek sürücünün en

sık kullandığı otomobil parçalarından biri olan vites koluna ve topuzuna aktararak, sürücünün titreşimi hissetmesine sebep olmaktadır. VKKK, kendi üzerinde titreşimi taşıdığı ve ses oluşturduğu gibi aynı zamanda da titreşim ve ses sönümleyici alt parçalara ve tasarım detaylarına da sahip bir üründür. VKKK temelde 3 parça grubundan oluşmaktadır. Bunlardan ilki çelik halat şeklinde olup, çeki ve basıya çalışan “iç çelik tel”, ikinci olarak bu tele yataklık ve korumalık yapan “konduit” ve son olarak da bu iki parçanın araca ve vites sistemine montajını sağlayan “bağlantı parçaları”dır. VKKK bütünüyle esnek bir yapıya sahiptir. Günümüzde araçların *kompakt* olarak tasarlandığı dikkate alındığında, bu esneklik VKKK ‘na ideal bir ürün olma özelliği katmıştır. Çok önceleri çubuk mekanizmalarının kullanıldığı otomobil vites sistemlerinde, araçların küçülmesiyle birlikte esnek yapılar olmazsa olmaz durumuna gelmiştir. Ancak araçların küçülmesi zorlukları da beraberinde getirmiştir. Örneğin küçük araçlar, daha sert VKKK rotası, daha az ürün ömrü ve daha az ürün performansı anlamına gelmektedir. Ancak bu tez çalışmasında VKKK ‘nun ömür ve performans özellikler araştırma konusu kapsamında değildir.

Şimdiye kadar anlatılanlara ek olarak, VKKK kendi içinde *manuel* ve *otomatik* olarak ikiye ayrılmaktadır. Bununla birlikte manuel VKKK’ nun taşıdığı titreşim ve oluşturduğu sesler otomatik olana göre daha yüksek mertebededirler. Bu sebeple çalışmada manuel VKKK ‘nun titreşim davranışları incelenmiştir.

Tez çalışması, VKKK ‘nda meydana gelen titreşim problemi ile ilgilidir. VKKK’nda titreşim ve hatta gürültü problemlerine araç motoru sebep olmaktadır. Bu titreşim ve gürültü otomobilde konforsuzluğa, dolayısıyla müşteri şikâyetine sebep olmaktadır. VKKK ‘nun bir ucu vites dişli kutusuna, diğer ucu ise sürücü kabinindeki vites koluna bağlanmaktadır. Bu sebeple motordan gelen titreşim VKKK’ ndaki yaklaşık 150 cm uzunluğunda 3 mm çapındaki iç çelik tel (halat) vasıtasıyla sürücü kabinine kadar taşınmaktadır. Bu tez çalışmasında, VKKK ‘nda müşteri şikâyetine sebep olan titreşim sorununun ortadan kaldırılması amacıyla vites kablosunun simülasyon modelinin kurulması amaçlanmıştır. Bir VKKK ‘nun yaklaşık 45 parçadan oluştuğu bilindiğine göre sistemin karmaşıklığı açık şekilde ortaya çıkmaktadır. Sorunu çözmek amacıyla VKKK ‘nu oluşturan temel parçalar, yani hareket ve titreşimi taşıyan

parçalar incelenmiştir. Bu parçalar iç çelik tel, iç tüp, dış koruyucu tüp, araç bağlantı parçası ve sürücü kabini-motor ayırma parçası gibi parçalardır.

Vites kablosunun mevcut özelliklerinin tespit edilmesi çalışmalarından sonra müşteri şikâyetine sebep olan titreşimin seviyelerinin tespiti yapılmıştır. Bu amaçla, piyasadaki örnek bir “model araç” üzerinden ivmeölçerlerle veri toplanarak titreşim girdileri tespit edilmiştir. Bu girdilerin (verilerin) bilgisayar analizlerinde uygulanması ile sistemin ilk modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu model “Sonlu Eleman Modeli” olarak adlandırılmıştır. Çalışmanın son aşamasında, bilgisayar simülasyon sonuçları ile deneysel modelin arasındaki titreşim seviyelerinin uyumlulukları araştırılmıştır.

Araştırma, mevcut ürünlerin iyileştirilmesi amacıyla yeni bir sistem geliştirilmesine yönelik hazırlanmıştır. Bu sistem, sonlu elemanlar yöntemiyle vites kablosunun simülasyon modelini temsil edecektir. Böylece vites kablosunun titreşim davranışlarını ve seviyelerini, ürünün prototip ve imalat aşamalarının öncesinde ve bilgisayar ortamında tespit edilmesini sağlayabilecek bir model kurulmuş olacaktır. Bu kapsamda, malzeme özelliklerinin tespiti, malzemelerin birbiri ile etkileşimi ve davranışları, veri toplama, veri işleme, CAD tasarım, sistem modelleme, CAE analizleri ve deneysel çalışmalar gibi iş adımları gerçekleştirilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMA

Vites komuta kontrol sistemini oluşturan ana yapının yani iç çelik tel yapısını, titreşim karakteristiğini, sonlu elemanlar şeklinde modellenenebilirliğini, veri toplama yöntemlerini inceleyen bilimsel makaleler araştırılmıştır. Bu makalelerde dünya genelinde yapılan ilgili çalışmalar incelenmiştir. Birçok yayının incelenmesi sonucunda araştırmaya referans oluşturabilecek çalışmalar aşağıda listelenmiştir;

Jiang ve arkadaşları (1998) yaptıkları çalışmada, çok katlı sarımlı çelik tellerin mekanik özelliklerini tespit etmeye yönelik telin sonlu elemanlar modelini ortaya koymuşlardır. Çalışmada, çok sarımlı tellerin sonlu elemanlar modelinin Costello'nun elastik teorisine uyumluluğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte analitik yollarla çözülemeyecek nonlineer stres dağılımı, sürtünme, plastik deformasyon gibi bir çok kompleks olgu bu model ile tespit edilmiştir.

Nawrocki ve Labrosse (1999) çalışmalarında, çok sarımlı çelik halatların telleri arasındaki ilişkinin tespitine yönelik sonlu elemanlar analizi sonuçları ile deneysel verileri kıyaslamışlardır. Halatların sonlu elemanlar modeli oluşturularak halatı oluşturan tellerin birbirleri ile olan hareketleri salt aksenal ve yanal yükler altında incelenmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki, halatın aksenal yüklemelerdeki davranışını halatı oluşturan çekirdek tel, yanal eğme yüklemelerinde ise halatın davranışını sarımlı teller temsil etmektedir.

Vielsack (1999) çalışmasında, çok sarımlı çelik halatların mekanik ve titreşim özelliklerini incelemiştir. Çalışmada, ön form verilen çelik halatlarla ön form verilmeyen çelik halatlar arasından titreşim davranışları incelenmiştir. Buna göre, her iki eleman tipinin de aynı titreşim özelliklerine sahip olduğu teorisi geçersiz kılınmaya çalışılmıştır.

Barbieri ve arkadaşları (2002) yaptıkları çalışmada, çelik halatların teorik ve deneysel olarak titreşim özelliklerini tespit etmeye çalışmışlardır. Çalışmanın

sonuçlarına göre, halatın uzunluğu arttıkça sönümleme oranının arttığı ve mekanik yüklerin arttıkça da sönümleme oranının düştüğü tespit edilmiştir.

Mitchell (2003) çalışmasında, çelik kabloların koruyucu bir zarf (konduit) içindeki davranışlarını sürtünme ve plastisite etkisini de içerecek şekilde sonlu elemanlar modelinin oluşturulması konularını incelemiştir.

Elata ve arkadaşları (2003) yaptıkları çalışmada, çelik halatların mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada, çok sarımlı tellerin mekanik davranışlarının tespiti için bir model önerilmiştir. Söz konusu modelde, teller arasında sürtünmesiz ve sürtüneli olarak iki farklı kinematik dikkate alınmıştır. Çalışmanın sonucuna göre, önerilen model teller arasındaki çalışma kinematiğini dikkate alarak stres ve eksenel strain ile yüklenmiş tellerin ömür ve dayanımları hakkında öngörü sağlayabilmektedir. Dolayısı ile bu model, optimum kesit ve özelliklere sahip sarımlı tel tasarımında kullanılabilir.

Volokh ve arkadaşları (2003) çalışmalarında çelik halatların dinamik davranışlarını incelemişlerdir. Bu çalışmada araştırmacılar, halatların yapılarını geometrik nonlineer olarak kabul ederek analizlerini tamamlamışlardır. Buna göre çalışma sonucunda genel dinamik formülasyon elde edilmiştir. Bu formülasyon, zamana bağlı ve periyodik titreşimlerin hesaplanabilmesinde kullanılabilirliği önerilmiştir.

Kim ve Jeong (2004) yaptıkları çalışmada, çelik halatların dinamik davranışlarının tespiti konusunu incelemişlerdir. Sarımlı halatların titreşim davranışlarının tespit edilmesi amacıyla, halatların matematik modelinden ve deneysel sonuçlarından bir formülasyon türeterek halata ait bir titreşim sistemi geliştirme çalışması yapılmıştır. Buna göre çalışma sonucunda, halat içindeki boşlukların halatın titreşim sönümleme özelliklerini değiştirdiği tespit edilmiştir. Bu boşlukların oranına göre halatların sönümleme kabiliyeti de lineer orantılı olarak değiştiği gösterilmiştir.

Giglio ve Manes (2004) yaptıkları çalışmada, eksenel ve yanal yükler altındaki çelik halatların gerilme ve gerinme analizlerini incelemişlerdir. Çalışmada, eğilme yükleri

altında çalışan ve çentik ihtiva eden çok sarımlı tellerin ömürlerini tayin etmek amacıyla özel bir tasarım kat sayısı tespit edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre analitik model ile deneysel sonuçlar arasında yakın bir uyum olduğu tespit edilmiştir.

Campbell ve arkadaşları (2005) çalışmada, vites kablolarında titreşim olgusunun sonlu elemanlar yöntemi ve deneysel olarak analiz edilmesi çalışması yapmışlardır. Çalışma, vites kablolarının titreşim transferinin tespit edilmesi amacıyla deneysel ölçümler ve sonlu elemanlar analizleri için veri toplama çalışmalarından oluşmaktadır. Araştırma, vites kablolarının titreşim seviyelerini düşürmek için yapılacak dizayn değişikliklerini önermektedir. Buna göre, koruyucu dış zarfın rijitliğinin azaltılması, iç kablonun rijitliğinin arttırılması ve iç kablo ile dış zarfın arasındaki mesafenin azaltılması gerektiği sonuçlarına varılmıştır.

Nono ve arkadaşları (2006) çalışmalarında vites kablosuna ait özelliklerin sonlu elemanlar ile modellenmesi çalışmasını yapmışlardır. Çalışmada, araç pozisyonuna göre uzanan vites kablosunun elastik ve nonlinear özelliklerini barındıran sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Bu model, vites ömür performansının tahmin edilmesi amacıyla kullanılacaktır.

Zhu ve Meguid (2006) çalışmalarında, çok sarımlı çelik halatların serbest titreşim hareketini deneysel olarak tespit ederek sonlu eleman analiz sonuçları ile kıyaslanması çalışmalarını yürütmüşlerdir. Bu çalışmada, çok sarımlı tellerin sönüm özelliklerinin Rayleigh yaklaşımını kullanarak incelemişlerdir. Sonuçlar ortaya koymuştur ki, %37,7'lik kritik sönüm oranı ile çok sarımlı tellerde yüksek bir oranda sönümleme ortaya çıkmaktadır.

Otrin ve Boltezar (2006) çalışmalarında çelik kabloların düz ve bükümlü hallerde titreşim davranışlarının matematik model ve deneysel olarak incelenmesi çalışmalarını yapmışlardır. Yapılan çalışmada, çelik sarımlı teller farklı uzunluklara sahip olduklarında her farklı uzunluğun sönümleme özelliği de farklı olacağından Rayleigh sabitlerindeki değişmelerde matematik modelde ihmal edilmemesi gerektiği ortaya konmuştur.

Ghoreishi ve arkadaşları (2007) çalışmada, aksiyel yük altındaki çok sarımlı tellerin mekanik davranışları incelenmiştir. Çok sarımlı tellere ait analitik modelin doğruluğu tespit edilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak, 20° 'lik açıya kadar olan sarımlarda analitik model ile deneysel model arasında yüksek uyum tespit edilmiştir.

Jun ve arkadaşları (2008) çalışmalarında, yüklere maruz bırakılan çelik halatların deformasyonunu tespit etmeye yönelik halat sonlu elemanlar modelinin geliştirilmesi konusunu çalışmışlardır. Araştırmada, bir çok çok sarımlı tellerin simülasyon ve deneysel çalışması yapılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Modelde, tellerin bir ucu sabit kabul tutulup diğer ucundan aksiyel yükler uygulanmıştır. Sonuçlara göre, hesaplamada ve deneysel çalışma arasında sarımlı tellerin iç telleri ile dış telleri arasındaki bağımlı hareketlerden kaynaklanan küçük sonuç farklılıkları olmasına rağmen tellerin sarım şekilleri ile distorsiyonları arasında ilişki tespit edilmiştir.

Otrin ve Boltezar (2009) çalışmada, vites kablolarının koruyucu bir dış zarf etkisi altındaki düz ve bükümlü hallerde titreşim iletimini incelemişlerdir. Buna göre, kablo ve koruyucu zarf Euler-Bernoulli temeline dayanan beam eleman şeklinde modellenmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki, oluşturulan matematik model kablonun doğal frekanslarını tahmin etme amacıyla kullanılabilir.

Leib ve arkadaşları (2009) çalışmalarında vites kablolarının titreşim karakteristiğinin incelenmesi çalışmalarını yürütmüşlerdir. Çalışmada vites kablosunun titreşim davranışlarını incelemek amacıyla shaker ve modal çekiç kullanılmıştır. Deneysel veriler ile sonlu elemanlar analizleri kıyaslanmıştır. Ayrıca çalışmada, titreşim sonucu ortaya çıkan sesin iyileştirilmesi çalışmaları yapılmıştır. Sonuç olarak, iç kablo ile dış koruyucu zarf arasındaki etkileşimden dolayı ortaya çıkan sesin giderilmesi amacıyla büyük oranda deneysel sonuçlara uyum sağlayan sonlu elemanlar modeli geliştirilmiştir. Bununla birlikte sesin ortaya çıkışının iç kablo ve dış koruyucu zarfın modları ile ilgili olduğu tespit edilmiştir.

3. VİTES KOMUTA KONTROL KABLOSUNUN GENEL ÖZELLİKLERİ

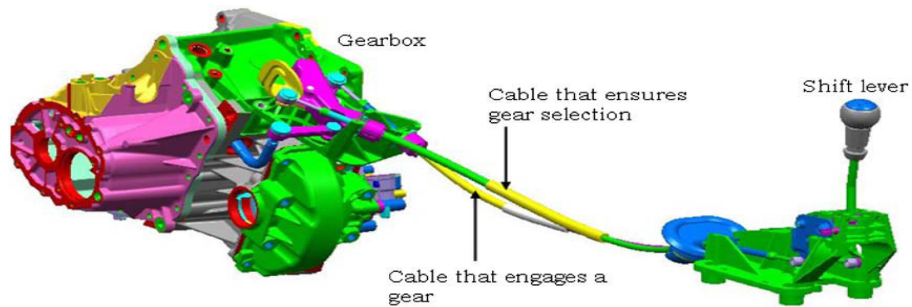
3.1 Vites Komuta Kontrol Kablosu Tanımı

VKKK, sürücü tarafından vites koluna uygulanan vites değiştirme kuvvetinin oluşturduğu yer değiştirmeyi, aracın transmisyon dişlilerinin bulunduğu dişli kutusuna aktararak vitesin değiştirilmesini sağlayan, çeki ve basıya çalışan eleman veya elemanlar topluluğudur.

VKKK literatürde ve otomotiv sektöründe,

- Push-Pull Cable
- Shift Cable
- Transmission Cable
- Bowden Cable

gibi bir çok şekilde adlandırılmıştır. Ancak buna karşın, sayılan tüm isimler tek bir ürünü işaret etmektedir. İsimlendirme farklılığı sebebi dönemselsel olarak ürünün kaşifinin yada fonksiyonunun göz önünde bulundurulması ile ilgili olmuştur. Aslında yukarıda sayılan tüm isimlerin birleşimi VKKK 'nun tanımını oluşturur. Şöyle ki, Frank Bowden tarafından keşfedilen ve otomobillerin transmisyon sisteminde vites değiştirme (shift) hareketini çeki-bası yönünde ileten, esnek çelik tel-halat şeklindeki yapıya VKKK denir. Örnek bir Vites Komuta Kontrol Sistemi şekil 3.1 'de verilmiştir.

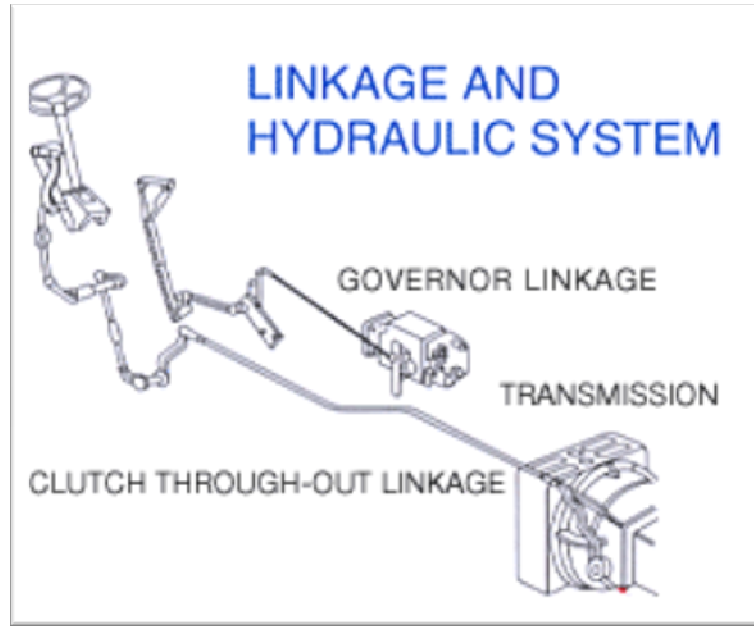


Şekil 3.1: Vites komuta kontrol kablosu sistemi

Kaynak: Experimental and numerical study of a vibro-impact phenomenon in a gearshift cable (Leib ve ark., 2007)

3.2 Vites Komuta Kontrol Kablosu'nun Tarihi Süreci

Otomobiller hayatımıza girdiğinden bugüne kadar vites değiştirme işlemi, vites kabloları ile yapılmamaktaydı. Önceleri sürücüler, vites hareketini dişli kutusuna çubuk mekanizmaları yardımı ile aktarmaktaydı. Farklı serbestliklere sahip olan mafsal tiplerinin kombinasyonları ile oluşan bu yerdeğiştirme, vites kutusundaki dişliler arasında gerçekteşerek farklı vitesler oluşturuluyordu. Örneğ bir Vites-Vites Kutusu Çubuk Mekanizması Şekil 3.2 'de verilmiştir.



Şekil 3.2: Vites-vites kutusu çubuk mekanizması
Kaynak: www.hi-lex.co.jp, 2010

1908 yılında Henry FORD ilk seri üretim arabasını banttandır çıkardığında, bu araçlar günümüz araçlarına göre daha az donanımlı ve karoseri altında daha fazla boşluklara sahipti (<http://tr.wikipedia.org>, 2010). Bu boşluklar Şüphesiz ki, araç içi mekanizmaların ve donanımların yerleştirilmesinde kolaylıklar sağlamaktaydı. Bu mekanizmalardan biri de transmisyon mekanizmasıydı. Araç vitesinden başlayan çubuk mekanizması, dişli kutusuna kadar herhangi bir engelle karşılaşmadan çok rahat bir Şekilde ulaşabiliyordu. Ancak bu boşluk ve geniş hacimler, gelişen araç donanımı, güvenliği ve konforu sebebiyle her geçen gün azalmış ve günümüz araçlarını daha kompakt hale getirmiştir. Küçülen araçlarla birlikte çubuk transmisyon mekanizmalarının araç içi yerleşimi de

problem oluşturmaya başlamıştır. O halde sürücünün, vites kuvveti ve oluşturduğu deplasman, vites kolundan dişli kutusuna daha esnek bir şekilde nasıl taşınabilirdi? 1990 'ların başına kadar kullanılan çubuk mekanizmalı vites sistemleri, ilk değişikliği 1992 yılında yaşamıştır. Avrupalı kökenli birkaç “Otomotiv Ana Üreticisi” (OEM), kompakt araçların yapısına uygun ve esnek bir vites sisteminin kullanımına başlamıştır (Ficotriad SA, 2010). Böyle bir esnek yapıya sahip olan yeni vites sistemi, yeni nesil araç tasarımlarının çeşitlenmesine de katkıda bulunmuştur. Örneğin; Nissan Vannette, Mercedes Vito ve Renault Espace ile Picasso gibi marka ve modeller, araçlarındaki vites kolunu koltuk yanından alıp aracın ön konsol kısmına yerleştirebilmişlerdir (Ficotriad SA, 2010). Esneklik ile birlikte gelen tasarım çeşitliliğinin otomobil satışlarına katkısı kuşkusuz ki yadsınamaz.

VKKK' nun sağlamış olduğu birçok yapısal ve fonksiyonel avantajlar ortaya çıkmıştır. Bunlar,

- Esnek yapısı sayesinde kablonun, karoseri altında bulacağı her boşluktan dolambaçlı şekilde geçebilmesi
- Vites kolunun aracın istenilen her yerine rahatlıkla taşınabilmesi (ön konsol, direksiyon yanı gibi)
- Motordan gelen titreşimin sürücüye daha az seviyede aktarılması
- Daha hafif bir yapıya sahip olması

3.3 Vites Komuta Kontrol Kablosu'nun Fonksiyonları

VKKK 'nun temel görevi, vites kolundan uygulanan belirli bir kuvvet ile oluşan yerdeğiştirmeyi (strok) vites dişli kutusuna iletmektir. Bununla birlikte VKKK 'nun sağlaması gereken birçok temel ve yardımcı fonksiyonları mevcuttur. Bu fonksiyonlar niteliğine ve önemine göre 3 ana gruba ayrılabilir.

Bunlar, “Temel Fonksiyonlar, Konfor ve Performans Fonksiyonları ile Diğer Fonksiyonlar” ‘dır (<http://designhandbook.ficosa.com>, 2007)

3.3.1 Temel fonksiyonlar

- Vites kolundan itme yükünü vites dişli kutusuna iletmek
- Vites kolundan çekme yükünü vites dişli kutusuna iletmek
- En düşük yerdeğiştirmeyi iletmek
- Her iki uçtaki (vites kolu tarafı ve vites dişli kutusu tarafı) iç çelik tel (iç kablo) montajının sağlanması
- Her iki uçtaki (vites kolu tarafı ve vites dişli kutusu tarafı) koruyucu boru kılıfın (konduit) montajının sağlanması

3.3.2 Konfor ve performans fonksiyonları

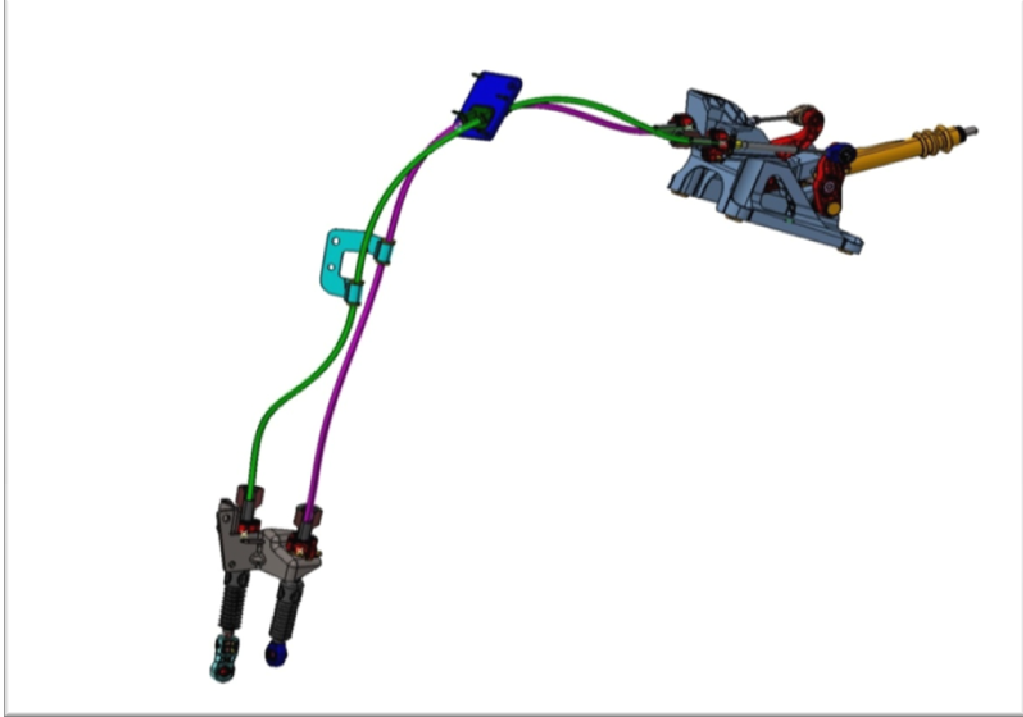
- Hareket ve kuvvet iletimini istenen verimlilikte iletmek
- Düzenli ve stabil bir şekilde hareketi iletmek
- Motor kaynaklı ses ve titreşimi belirli oranda sönmölemek
- Motor ve sürücü kısımlarını bir birinden ayırmak
- Kendisinin araç gövdesine montajını sağlayacak yapıya sahip olmak
- Araç içindeki boşluğa göre oluşan rotayı takip etmek
- Servis edilebilir olmak
- Vites ve vites dişli kutusu ile senkronize olarak çalışabilmek

3.3.3 Diğer fonksiyonlar

- Sahip olduğu alt parçaların birbiri ile montajlanabilir olmak
- İstenen yıllık adetlerde üretilebilir olmak
- Araçlara montaj edilebilir olmak
- Çevre regülasyonlarına uygun olmak
- OEM 'ler tarafından onaylı malzemelerden oluşmak
- Tekrar kullanılabilen malzemelerden oluşmak
- Üretim hattı içinde taşınabilir olmak

4. VİTES KOMUTA KONTROL SİSTEMİNİ OLUŞTURAN ALT SİSTEMLER

VKKK, sürücü tarafından uygulanan kuvvet ve deplasman ile vites değişimini sağlayan bir sistem veya ürün değildir. VKKK ile birlikte “Vites Kolu”, “Braket” ve “Vites Kutusu” gibi alt sistemlere entegre olarak çalışır. Bununla birlikte VKKK kendi içinde de 2 farklı alt kablodan oluşmaktadır. Bu iki kablodan biri “*Shift*” diğeri “*select*” olarak isimlendirilir. Shift ve Select kablodan oluşan bir örnek bir VKKK ’u şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1: Vites komuta kontrol kablosu ve vites kolu
Kaynak: Ficotriad SA, 2008

4.1 Select kablo

Select kablo, VKKK ‘nu oluşturan iki kablodan biridir. Bu kablo sürücünün vites koluna uygulamış olduğu sadece sağ ve sol yöndeki, yani araç global eksen takımına göre $\pm Y$ yönündeki kuvveti vites kutusuna iletir. Her bir dişli grubu kendi üzerinden bir

ve/veya birden fazla vitesi bulundurduğuna göre; select kablosu, vites kutusu içinde yer alan dişli grupları arasında seçim yapmayı sağlar. Örneğin, 1. ve 2. vitesin 1. dişli grubunda, 3. ve 4. vitesin 2. dişli grubunda ve 5. ve geri (R) vitesin 3. dişli grubunda yer aldığı düşünüldüğünde, select kablosu bu dişli gruplar arasında seçim yapılmasını sağlar.

4.2 Shift kablo

Shift kablo VKKK 'nu oluşturan iki kablodan diğeridir. Bu kablo sürücünün vites koluna uygulamış olduğu sadece ileri ve geri yöndeki, yani araç global eksen takımına göre $\pm X$ yönündeki kuvveti vites kutusuna iletir. Shift kablosu, her bir dişli grubundaki 2 vitesten hangisinin seçileceğini belirler.

Vites değiştirme işlemini kısaca açıklamak gerekirse, select kablosu ile seçilen farklı dişli gruplarından biri üzerinde shift kablosu ile vites takma hareketi gerçekleştirilir.

4.3 Vites kolu

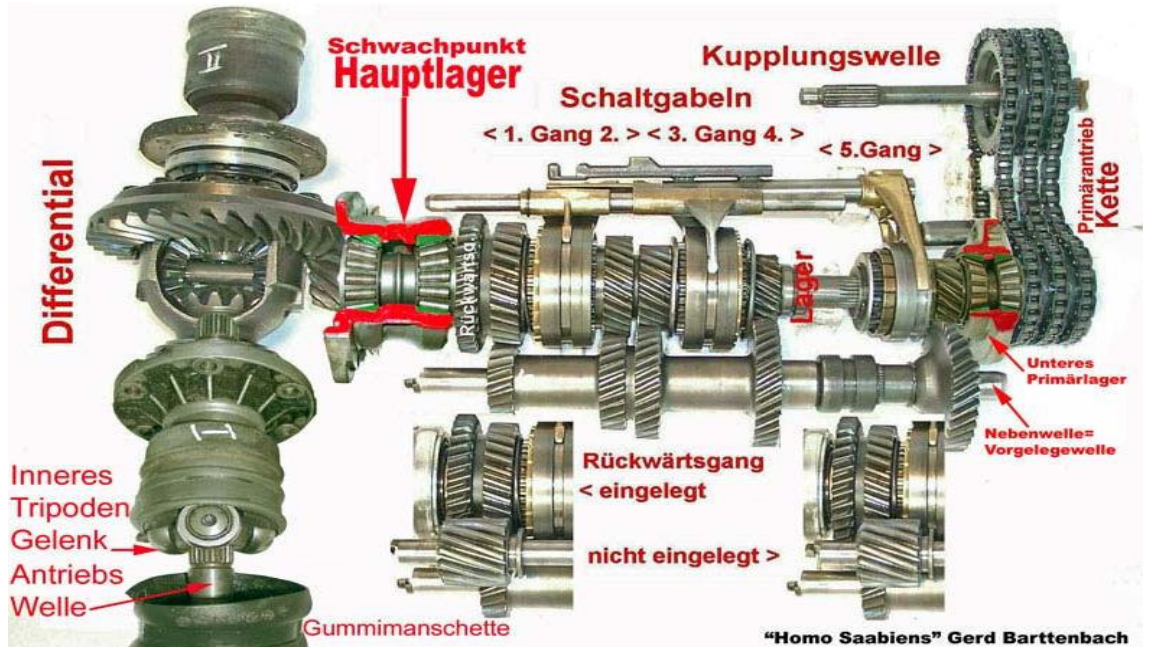
Vites kolu, sürücünün ileri, geri, sağa ve sola hareketleri ile shift ve select kabloyu çalıştıran ve vites değiştirme işlemi için deplasman oluşturmaya yaran koldur. Vites kolu aynı zamanda sürücünün vites kutusu ve dolayısıyla motor ile teması sağlayan bir parçadır. Motor kaynaklı oluşan titreşimler VKKK aracılığıyla vites koluna kadar gelir. Vites değiştirme sırasında bu titreşimler sürücü tarafından algılanabilmekte ve müşteri memnuniyetsizliğine sebep olabilmektedir.

4.4 Braket

Shift ve select kabloların motor tarafındaki uçlarının dişli kutusuna montajının yapılmasını sağlayan metal parçalardır. Parça, kendi üzerinde kablo montajının yapılmasını sağlayacak özel boşluk ve şekiller ihtiva etmektedir.

4.5 Vites kutusu

Aracın hızını ayarlamaya yarayan dişlilerin bulunduğu kutudur. “Şanzıman” da denir. “Vites kutusunun içinde üst üste iki mil üzerinde iki sıra dişli vardır. Üst sıradaki milin üzeri yivlidir. Milin bir ucu şaftta bağlıdır. Diğer ucu ise debriyajdan gelen milin karşısındaysa da, buna bağlı değildir. “Kamalı mil” denen bu mil yivlidir. Dişliler yivler üzerinde hareket edebilir. Bu hareketi “hilâl” ya da “değiştirme çatalı” denen bir düzen sağlar. Hareket halindeyken vites değiştirme ise “senkromenç bileziği” denen bir halkayla sağlanır. Alttaki mil üzerinde “grup dişlileri” vardır. Bu dişliler kamalı milin dişlileri gibi yer değiştirmez. Debriyajdan gelen hareket, priz direkt dişlisi aracılığıyla, doğrudan doğruya grup dişlilerine geçer. Hangi vitesle gidilmek isteniyorsa, o vitesin kamalı mildeki dişlisi grup dişlilerinin aynı vites dişlisine takılır. Böylece kamalı mil hareketi grup dişlilerinden sağlar. Vites kutusu yağ doludur. Dişliler yağın içinde döner.” (<http://www.bilimveteknoloji.info/vites-kutusu,2008>) Örnek bir dişli kutusu şekil 4.2 ‘de verilmiştir.



Şekil 4.2 Vites kutusu mekanizması

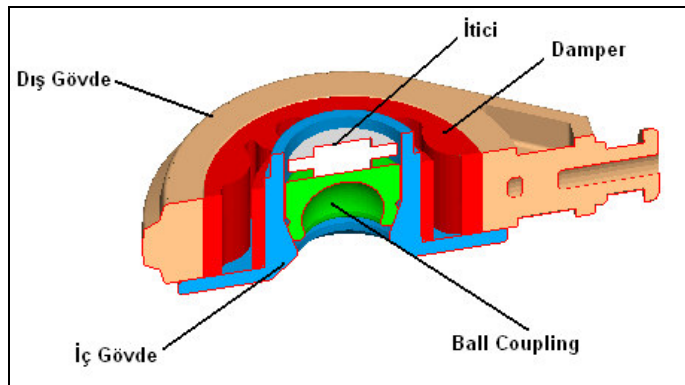
Kaynak: www.forum-auto.de

5. VİTES KOMUTA KONTROL KABLOSUNU OLUŞTURAN PARÇALAR VE PERFORMANS ÖZELLİKLERİ

Her bir VKKK, 40 shift kablo alt parçası + 40 select kablo alt parçası olmak üzere yaklaşık 80 kadar alt komponentten oluşan bir ürün grubudur. Bununla birlikte üzerinde taşıdığı parça türü ve sayısına bakıldığında shift ve select kablolar birbirine aynısıdır denilebilir. Üzerlerinde metal, plastik, kauçuk, yağ gibi çok farklı gruplardan ürünler bulundurmaktadırlar. Bu bölümde her bir parçanın detayına girilmeyeceği gibi VKKK'nun titreşim karakteristiği açısından önem arz edecek parça ve alt parça grupları incelenecektir.

5.1 CaEF (İç kablo Sonu)

CaEF (Cable End Fitting), bir VKKK'nun en önemli ve etkin titreşim sönümleme elemanıdır. Tak başına bir parça olmayıp içinde plastik, metal kauçuk, yağ gibi bir çok farklı malzemeyi barındırır. Bunlardan kauçuk, özel geometrisi ve malzeme özellikleri ile titreşim sönümleyici temel elemandır. Örnek bir CaEF montajının kesit resmi şekil 5.1 de verilmiştir.



Şekil: 5.1 CaEF montajı kesit resmi
Kaynak: Ficotriad SA, 2009

Şekil 5.1 'de VKKK CaEF üzerinde bulunan “Ball Coupling” parçası ile araç transmisyona bağlantısı gösterilmiştir. Transmisyona bağlanan VKKK bu bölge aracılığı ile üzerinden her türlü titreşimleri geçirmekte ve çalışma esnasında da sürücünün vites değiştirme yüklerine maruz kalmaktadır. Ayrıca CaEF, motor tarafına en yakın VKKK parçasıdır. Bu açıklamalar dikkate alındığında çok açıktır ki, CaEF sistemi bir VKKK'nda en çok zorlanan ve titreşimi üzerine alan ilk parçadır.

Çalışma şartları yukarıda açıklanan CaEF 'in, VKKK'nun en kritik parçası olduğu açıktır. Birçok görevi üzerinde barındıran CaEF'in çalışma karakteristiğini de belirleyen birçok parametre ve performans göstergesi mevcuttur. Bu parametreler alt başlıklar halinde aşağıda incelenmiştir.

5.1.1 Ball coupling takma ve çıkarma yükü

VKKK'nu araç transmisyona bağlama performansını ölçmek amacıyla kullanılır. Bu performans aracın yollarda kaldığı süre içerisinde VKKK'nun sağlıklı çalışması açısından özellikle çıkma performansı son derece önemlidir. Bu yükler, araç üretimi ve araç servis aşamalarında operatörün uygulaması gereken yükü ifade eder. Genellikle maksimum takma yükü 80 N, minimum çıkarma yükü 200 N dur. (Ficotriad SA, 1998)

5.1.2 Dış gövde dayanımı

CaEF'in en dış parçasıdır ve tüm alt parçaları içinde tutar. Ürünün radyal yönde dağılmaması ve uzun çalışma sürelerinde konstrüksiyon bütünlüğünün sağlanması amacıyla belirli bir dayanıma sahip olması istenmektedir. Genellikle 1.800-2.000 N civarında olması tercih edilir.

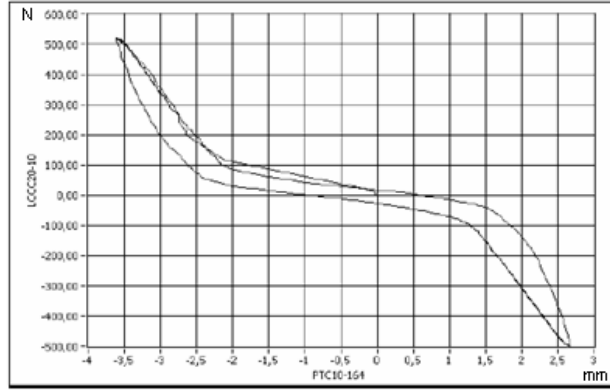
5.1.3 İç gövde dayanımı

CaEF'in aksenal doğrultuda maruz kalacağı çalışma yüklerine dayanması amacıyla kullanılır. Genellikle 1.000N olarak tercih edilir.

5.1.4 Damper stiffness değeri

Damper stiffness değeri, VKKK'nun titreşim karakteristiğini belirleyen en önemli parametredir. Sahip olduğu özel geometri ve malzeme özellikleri ile motordan gelen titreşimi sönmülemeye çalışır. Genellikle EPDM ve NBR gibi kauçuk esaslı malzemelerden imal edilir. Damper, çalışma koşulları bakımından yağlı, kirli ve 100 C° 'nin üzerindeki sıcaklıklarda da aynı performansla çalışabilmelidir.

Damperin stiffness ölçümü, özel bir test yöntemi ile yapılmaktadır. Buna göre, test esnasında Kuvvet (N) – Deplasman (mm) grafiği oluşturularak damperin sahip olduğu stiffness'ı tespit edilir. Genellikle her bir damper kendine has stiffness özelliği ile her bir araca özgü olacak şekilde tasarlanmaktadır. Bunun sebebi, her bir aracın sahip olduğu farklı motor seçenekleri ile ortaya çıkan farklı titreşim davranışlarıdır. C sınıfı araca ait örnek bir CaEF damper stiffness grafiği şekil 5.2 'de verilmiştir.



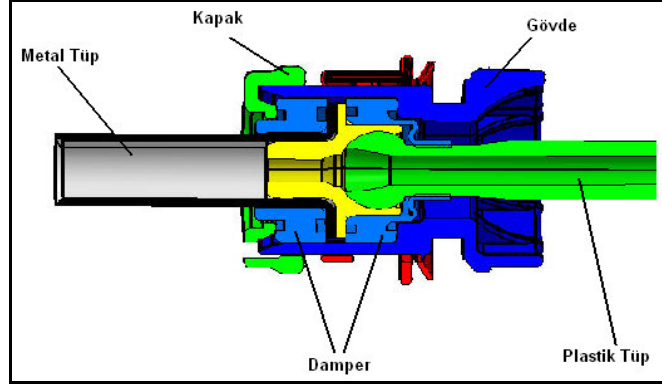
Şekil 5.2: CaEF damper stiffness grafiği

Kaynak: Ficotriad SA, 2008

5.2 CoEF (Koruyucu Zarf Sonu)

CoEF (Conduit End Fitting), VKKK'nda ikinci derecede öneme sahip titreşim sönmüleme elemanıdır. İçinden geçen çelik halata koruyuculuk ve yataklık yapan conduit'in araca bağlantısını yapan parçadır CoEF. Esasen titreşimi taşıyan parça iç çelik tel olmasına karşın, bu tele yataklık yapan ve sürekli temas halinde bulunan conduit de titreşimin bir kısmını üzerinde taşır. Bu sebeple, CoEF'in de titreşim davranışı son derece önemlidir. CaEF'lerde olduğu gibi CoEF'lerin de iç yapısında bir

sönümleyici eleman (damper) bulunmaktadır. Örnek bir CoEF montajının kesit resmi şekil 5.3 de verilmiştir.



Şekil 5.3: CoEF montajı kesit resmi
Kaynak: Ficotriad SA, 1999

5.2.1 Kapak-gövde ayrılma yükü

CoEF parçası, içinde birkaç farklı komponenti ihtiva eden bir sistem olduğundan, bu sistemi bir arada tutacak dayanıma da sahip olmalıdır. Bu amaçla, kapak-gövde parçaları iç parçaları alttan ve üstten bir arada tutar. Kapak ve gövdenin genellikle 2000N 'a kadar dayanması beklenmektedir.

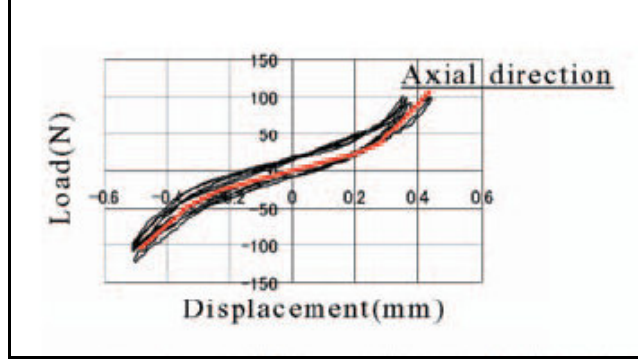
5.2.2 CoEF araca takma-çıkarma yükü

CoEF'in araca montajını ve demontajını sağlarken uygulanması gereken kuvvetleri ifade eder. Aracın yol ömrü boyunca CoEF'lerde de herhangi bir çıkma sorunu meydana gelsin istenmez. Bu amaçla CoEF'in takma yükü maksimum 45 N, çıkarma kuvveti ise minimum 300 N dur.

5.2.3 Damper stiffness değeri

İç çelik tele yataklık yapması münasebetiyle conduit üzerinde de titreşim oluşmakta, bu titreşimlerde sürücü kabinine kadar taşınmaktadır. Bu sebeple CoEF üzerinde de titreşim sönümlenmek ikinci derecede önem arz etmektedir. Damperin stiffness ölçümü, özel bir test yöntemi ile yapılmaktadır. Buna göre, test esnasında Kuvvet (N) –

Deplasman (mm) grafiği oluşturularak damperin sahip olduğu stiffness'ı tespit edilir. Örnek bir CoEF damper stiffness grafiği şekil 5.4'de verilmiştir.

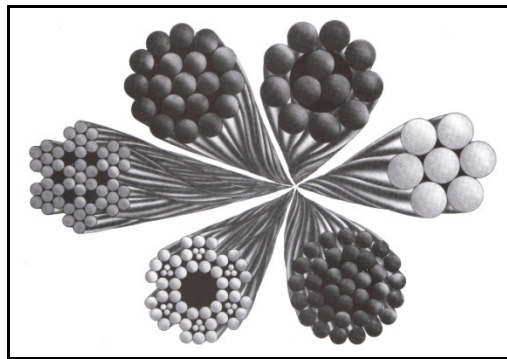


Şekil 5.4: CoEF damper stiffness grafiği

Kaynak: Nono ve ark. The Elastic Analysis of the Construction with Non-linear Stiffness Property and Its Application to the Design 2006, s.3 (şekil 7)

5.3 İç çelik Kablo

İç çelik kablo, VKKK'nu oluşturan en önemli elemandır. Çeki ve bası yönünde çalışır ve sürücü tarafından uygulanan kuvveti iletir. Bununla birlikte motor ile vites arasındaki direk bağlantıyı sağlar. Bu sebeple motor kaynaklı titreşimleri de üzerinde barındıran ve conduit ile etkileşimi sonucunda sesi oluşturan esas parçadır. Farklı kesitlere sahip iç kabloları şekil 5.5 de görülebilir.



Şekil 5.5: Farklı kesitlerdeki iç kablo örnekleri

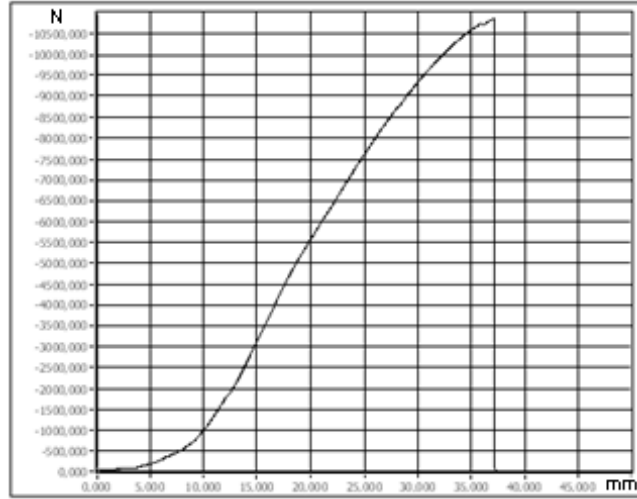
Kaynak: <http://www.burncrete.co.za>

Vites sisteminde, iç kablonun en önemli parça olduğu düşünöldüğünde şüphesiz ki bu elemanın değerlendirme kriterleri de son derece önem arz etmektedir. Ancak, iç

kablonun titreşim karakteristiği ile ilgili doğrudan bir değerlendirme kriteri yada testi bulunmamaktadır. Bu sebeple iç kablonun performansı, dayanım ve yorulma özellikleri ile ölçülmektedir. İç kablo performansına ait detaylar kısaca aşağıda açıklanmıştır.

5.3.1 Çekme dayanımı

Yaklaşık 3.00 - 3.50 mm civarında olan iç kabloların çalışma şartlarına dayanımının tespit edilmesi amacıyla uygulanan yöntemdir. Genellikle dikey çekme cihazlarında tespit edilen çekme dayanımı, bu tür ürünler için 2000 – 2200 MPa civarındadır. Bu değerlendirmeye ait örnek bir çekme dayanım grafiği şekil 5.6 'da verilmiştir.



Şekil 5.6: İç Kablo çekme grafiği
Kaynak: Ficosa Otomotiv, 2009

5.3.2 Compression (Baskı) dayanımı

İç kablonun çeki ve bası'ya çalışması sebebiyle, iç kablonun bası performansının ölçülmesi amacıyla compression testi uygulanmaktadır. Compression testi, sürücü tarafından vites koluna dolayısıyla iç kabloya uygulanan vites değiştirme kuvvetini simüle eder. Ölçüm sırasında 2 mm'lik bir deplasman iç kabloya uygulanarak, kablo üzerinde plastik deformasyon oluşup oluşmadığı kontrol edilir. Örnek bir compression ölçüm grafiği şekil 5.7 'de verilmiştir.



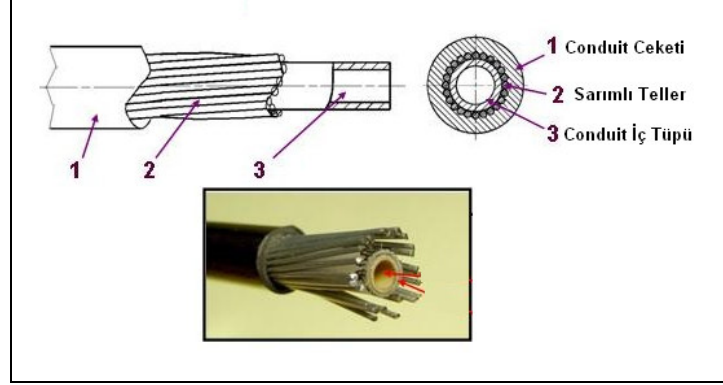
Şekil 5.7: İç kablo compression grafiği
Kaynak: Ficosa Otomotiv, 2008

5.3.3 Yorulma dayanımı

VKKK 'nun ve dolayısıyla iç kablonun çeki ve bası çalışmasını yorulma açısından temsil edecek bir değerlendirme düzeneği ile kontrol edilir. Buna göre iki şaft arasında bağlanan iç kablo, piston yardımı ile +900 N ve -900 N olacak şekilde 1.000.000 çevrimlik zorlanmaya maruz bırakılarak yorulma dayanımı tespit edilmektedir.

5.4 Conduit

Conduit parçasının birincil fonksiyonu iç kabloya yataklı yaparak onu korumasıdır. Ancak bununla birlikte üzerinde barındırdığı bağlantı parçaları ile VKKK 'nun araca ve transmisyona bağlantısını da sağlar. İç kabloya yataklık yaparken iç kablonun üzerinde bulunan titreşimi de üzerine alır. Standart bir conduit'e ait iç yapıyı gösteren şekil 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.8: Conduit İç Yapısı

Kaynak: <http://designhandbook.ficosa.com>

Isıl performans haricinde conduit 'den tek başına herhangi bir mekanik performans beklenmez. Isıl performans olarak, conduit'in polimerlerden oluşan dış ceket ve iç tüpün 120 C° çalışma sıcaklıklarında kararlılığını bozmaması sayılabilir. Conduit'in mekanik özellikleri, iç kablo ve diğer parçalar ile birlikte çalıştığında söz konusu olduğundan, conduit'in titreşim özellikleri VKKK 'nun performans kriterleri konusunda ele alınacaktır.

6. VİTES KOMUTA KONTROL KABLOSUNUN PERFORMANS KRİTERLERİ

VKKK 'nun performans kriterleri iki ana başlık halinde incelenecektir. Bunlardan ilki, ürünün çalışma esnasındaki performanslarını temsil eden, birinci derece öneme sahip fonksiyonel kriterlerdir. İkincisi ise, daha çok ürünün kullanım konforu ve kolaylığına yönelik ikincil performans kriterleridir.

6.1 Birincil Fonksiyonel Değerlendirme Kriterleri

VKKK 'nun temel performans göstergelerini ifade etmektedir. Bunun anlamı, ürün çalışırken temel fonksiyonları olan vites geçişlerinin yapılmasını sağlamak ve araç ömrü boyunca araç üzerinde VKKK 'nun kusursuz şekilde sabit kalmasını sağlayacak performansı sergilemesidir. Bahsedilen ürün performanslarının istenen değerleri sağlamaması durumunda, VKKK fonksiyonelliğini yitirecektir. Bu durum, aracın sürülmesini engellediği gibi sürücü ve yolcuların hayati bir tehlike ile karşılaşması anlamına da gelmektedir. Bu bilgilere ilave olarak, yukarıda sayılan az sayıda temel fonksiyonun performans kriterleri oldukça fazla test ve deney ile tespit edilmektedir. Bu konunun açıklanması amacıyla, şuan piyasada dolaşan birçok markanın VKKK ürün gereksinimleri incelenmiş ve buna göre her bir araç üreticisi tarafından standart olarak kullanılan performans beklentileri “mekanik beklentiler” konusunda ele alınmıştır.

6.1.1 Mekanik beklentiler

Bu bölümde, ürünün temel fonksiyonlarını yerine getirmesi amacıyla otomobil üreticileri tarafından VKKK 'ndan beklenen dayanım kriterleri kısaca incelenmiştir.

6.1.1.1 Ömür (durability)

Bu kriter, ürünün en önemli özelliğinin yani ömrünün tespit edilmesi amacıyla kullanılır. Bu amaçla gerçekleştirilen ömür testi, VKKK 'nun araç içindeki pozisyonunu

korumak suretiyle teste tabi tutulur. Yalıtkan bir hacim içine kurulan ve araçtaki pozisyonunu almış bir VKKK, genellikle $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralıklarında teste tabi tutulur. Bu testler sırasında shift ve select kablosu olarak adlandırılan her iki kabloya da vites kolu yardımıyla ana üretici tarafından belirlenen vites geçiş yükleri uygulanır. Ortalama olarak, her iki kabloda da 1.000.000 vites geçişini tamamlayan VKKK testi tamamlamıştır. Ömür testlerinin bitirilmesinin ardından VKKK 'nın fonksiyonelliği ve vites geçiş performansları kontrol edilmektedir. Yeterli performansı gösteren ve üzerinde herhangi bir kırılma, çatlama, kopma gözlemlenmeyen ürün yeterli kriterleri yerine getirmiş demektir. Ömür testi öncesi performans ile test sonrası performans arasında %15 oranında bir düşüşün oluşması kabul edilebilir bir kriterdir

6.1.1.2 Sıkıştırma dayanımı (compression load resistance)

VKKK basma ve çekme yüklerine maruz kaldığından, mekanik beklentiler arasında iç çelik tel'in baskıya karşı dayanımı da son derece önem arz etmektedir. Vites geçişleri sırasında vites koluna uygulanan kuvvetin iç çelik tel üzerinde herhangi bir burkulma etkisi oluşturulması istenmez. Bu amaçla yapılan testlerde, iç çelik tel'in ortalama 1.800 N 'luk bir baskı kuvvetine karşı dayanması yani burkulma ve plastik deformasyon oluşmaması beklenmektedir. Test sonrası deforme olmuş 3 farklı tipteki iç çelik tel'lere ait resimler şekil 6.1 'de verilmiştir.



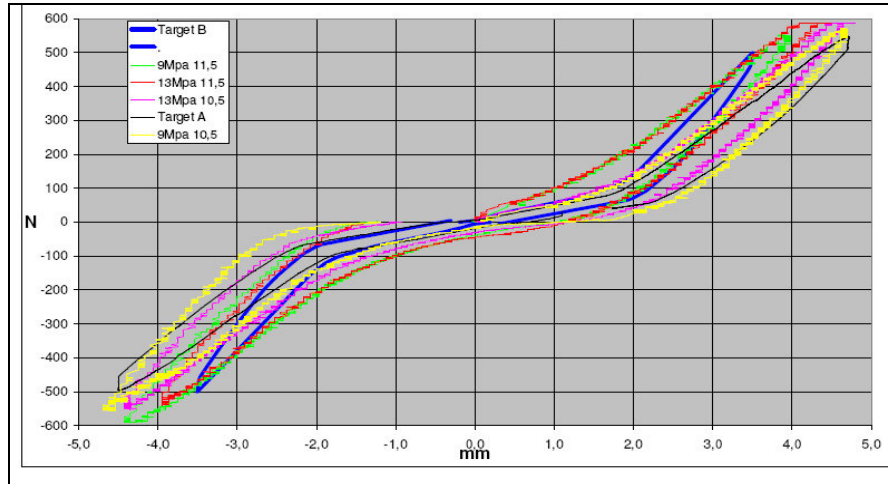
Şekil 6.1: Test sonrası burkulma oluşan iç kablo örnekleri
Kaynak: Technical dossier for shifter cables, Ficosa 2010

Yukarıda bahsedilen yükler statik olabileceği gibi bir darbe olarak da vites kolu vasıtasıyla VKKK'na uygulanabilmektedir. Darbe testleri özellikle vites kolu konsol üzerinde olan araçlar için yapılmaktadır. Bunun sebebi, vites kolunun direksiyona yakın olması ve sürücünün vücut ve kol pozisyonu itibarıyla vites koluna daha fazla yük uygulayabileceği varsayımdır.

6.1.1.3 Vites komuta kontrol kablosu rijitliği (cable assembly stiffness)

Vites geçiş performansını etkileyen önemli parametrelerden biridir. Yapılacak testlerle, araç rotasında uzanan vites kablosunun doğal olarak sahip olduğu alt parça içi ve alt parçalar arası montaj boşluklarının incelenmesi yapılır. Düşük kuvvetler (10N) ve yüksek kuvvetler (500N) uygulanarak iki farklı değerlendirme şekli vardır. Bu doğal boşluklar, sürücünün vites değiştirme işlemi yani kuvvet uyguladığı esnasında minimize olarak vites kablosuna strok kaybettirir. Strok kaybı ise dişli kutusundaki dişlilerin yer değiştirmesi için gerekli deplasmandan kaybettireceğinden, vites geçiş işleminin gerçekleşmesi zorlaşacaktır.

Titreşim açısından düşünöldüğünde, motor kaynaklı titreşimlerin sürücüye transferini engellemek için özellikle VKKK damperlerinin belirli bir boşluğa sahip olması istenmektedir. Bu boşluklar ne kadar büyük olursa titreşimin transferi o kadar az olur. Ancak, vites geçiş performansı açısından baktığımızda ise durum tam tersine dönmektedir. Boşluklar ne kadar fazla ise vites geçişi o kadar zorlaşmakta ve hatta gerçekleşmemektedir. Bu bakımdan VKKK, hem titreşim transferini azaltacak hem de vites geçişini rahatlıkla yapacak optimum boşluklara sahip olacak şekilde tasarlanmalıdır. Farklı bir çok VKKK 'na ait rijitlik grafikleri şekil 6.2 'de verilmiştir.



Şekil 6.2: Farklı VKKK 'na ait rijitlik grafikleri
Kaynak: Technical dossier for shifter cables, Ficosa 2010

6.1.2 Kimyasal ve diğ er dayanım beklentileri

VKKK araç içerisinde çalışırken yaşlanmakta ve bu yaşlanma devam ettikçe de başlangıç performanslarından uzaklaşmaktadır. Her gidilen mesafe ve geçen zaman VKKK 'nun maruz kalacağı kimyasal, korozif, sıcaklık, ozon, taş ve kum gibi çevresel etkilere daha fazla maruz kalacağı anlamına gelmektedir. Bu ise, başlangıçta mevcut olan dizaynın zamanla güvenilirliğini yitirmesi anlamına gelmektedir. Her geçen zaman VKKK 'nun başlangıçtaki çalışma toleranslarını bozarken, metal ve plastik gibi tüm parçaların da mekanik özelliklerini zayıflatmaktadır. Özellikle suyun ve havanın korozif etkisi VKKK tasarımı ve değerlendirilmesi aşamasında son derece önemlidir. Bu etkileri incelemek ve değerlendirmek amacıyla VKKK 'nun validasyon sürecinde tuz, su sızdırmazlığı ve ozon testleri gibi testler uygulanmaktadır. Özellikle metal parçaların, sağlıklı çalışması için belirli saatlerdeki tuz testlerine dayanması gerekmektedir. Bu süre parçanın konumuna ve fonksiyonuna bağlı olarak 120 saat ile 720 saat arası olabilmektedir. Tuz testinden çıkmış bir VKKK 'na ait resim, şekil 6.3 'de verilmiştir.



Şekil 6.3: Tuz testinden çıkmış bir VKKK
Kaynak: Ficosa 2010

6.2 İkincil Fonksiyonel Değerlendirme Kriterleri

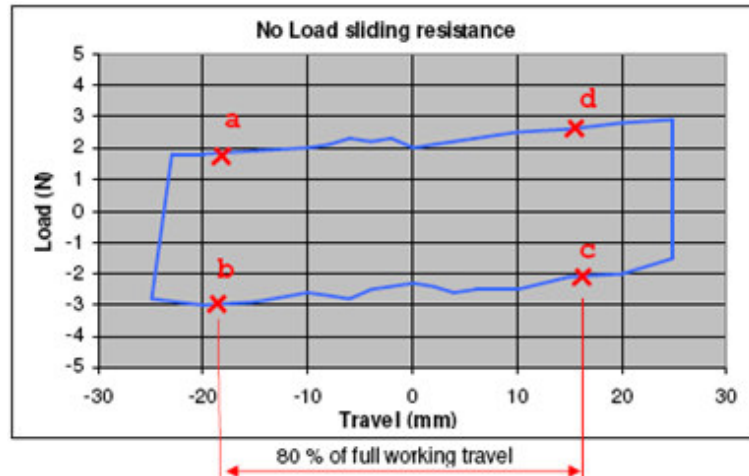
Bu değerlendirme kriterleri, fonksiyonel değerlendirme kriterlerinin etkinliğini ölçen ve güvenli bir sürüş konforu oluşturan değişkenlerdir. Bu değişkenlerin yeterli oranlarda olmaması, zamanla birincil fonksiyonları da etkilemeye başlayacağından oldukça kritik bir öneme sahiptir. Bunun anlamı, sürüş esnasında yaşanması muhtemel bir vites geçiş problemine dönüşmesidir. Bu problem de sürücü ve yolcular için hayati bir tehlike oluşturabilir veya vites sisteminin fonksiyonunun yerine getirememesine sebep olabilir.

6.2.1 Yüksüz sürtünme performansı (no load sliding resistance)

Sürtünme performansı, bir VKKK 'nun çalışma rahatlığını ölçen önemli parametrelerden bir tanesidir. Vites kablosunun sürtünme direnci yükseldikçe vites geçişlerinde zorlanmalara sebep olacaktır. Dolayısıyla bir süre sonra bu zorlanma sürücüyü rahatsız etmeye başlayacaktır. Ayrıca sürtünme direncinin yükselmesi zamanla iç çelik tel'i yataklayan iç tüp'ü zedelemeye başlayacak ve ürünün ömrünü kısıltacaktır.

Ancak yukarıda bahsedilen olumsuzlukların tersine, sürtünme direncinin artmasının VKKK 'nun titreşim performansına katkıda bulunduğu da açıktır. Yüksek sürtünmeye sahip olan VKKK, motor titreşimine maruz kaldığında üzerine gelen titreşimlerin oluşturduğu deplasman ve kuvvetleri iç kablo sonu (CaEF) damperinde sönmülebilmektedir. Böylece titreşimlerin önemli bir kısmı vites kablosu üzerine aktarılmadan ilk damper istasyonunda absorbe edilmektedir. Bu sebeple, bir VKKK tasarlanırken onun vites geçiş performansı ve titreşim özellikleri de dikkate alınmalıdır.

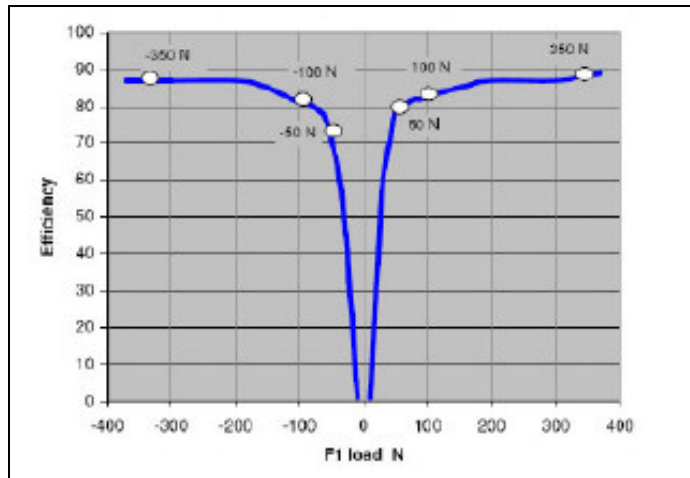
Sürtünme direncinin ölçümü vites kablosunun araç pozisyonundaki yerleşimine göre yapılmaktadır. Shift ve select kablolarından her birinin sürtünme direnci statik ve dinamik olarak ölçülmektedir. Şekil 6.4 'de örnek bir ölçüm grafiği verilmiştir.



Şekil 6.4: Bir VKKK'nun Sürtünme Direnci
Kaynak: Technical Dossier For Shifter Cables, Ficosa 2010

6.2.2 Kuvvet iletim verimliliği (load efficiency)

Sürücü tarafından vites koluna uygulanan kuvvetin vites kablosunun diğer ucuna yani vites dişli kutusuna iletilen kısmını temsil eden değişkendir. Vites geçişinin güvenilirliğini tespit eden önemli bir göstergedir. Verimliliğin düşük olması durumunda, vites kutusunda yetersiz deplasmanlar meydana gelecek ve bunun sonucunda da vites geçişi sağlanamayacaktır. Dolayısıyla da vites kablosu görevini yerine getiremeyecektir. Vites kablolarında genel olarak %80 'in üzerinde bir kuvvet iletim verimliliği, vites geçişleri yeterli kabul edilmektedir. Örnek bir verimlilik grafiği şekil 6.5 'de verilmiştir. Verimlilik değerlendirilmesi yapılırken uygulanan kuvvetin 100 N 'un üzerinde olan noktalarına dikkate edilir. Aksi halde daha düşük kuvvetlerde değerlendirilme yapılırsa çıkan sonuçlar yanıltıcı olacaktır. Bunun sebebi, 100 N 'a kadar olan kuvvetlerin VKKK 'nun parça içi ile parçalar arası boşluklarının kapatılması ve sürtünme direncini yenmesi için harcanmasıdır. Şekil 6.5 'de, gerçek verimlilik değerleri 100 N 'dan sonra ortaya çıkmaya başlamaktadır.



Şekil 6.5: Örnek bir vites kablosu verimlilik grafiği
Kaynak: Technical dossier for shifter cables, Ficoso 2010

Verimlilik değerlendirmesi ömür testlerinden önce yapıldığı gibi ömür testlerini tamamlamış vites kabloları için de yapılmaktadır. Ömür testlerini tamamlamış bir vites kablosu için başlangıca göre ortalama %15 'lik bir verim düşüşü ana sanayiler için kabul sınırları içerisinde kalmaktadır. Verimlilik testi vites kablosunun fonksiyonu

itibariyle hem baskı yönünde hem de çekme yönünde uygulanır. Bu sebeple verimlilik test grafikleri hem eksi (-) hem de artı (+) yönde elde edilmektedir.

6.2.3 Titreşim özellikleri

Vites kabloları, araç üzerindeki yaşayan ürünlerden bir tanesidir. Fonksiyonu ve konumu itibariyle sürekli dinamik yüklere maruz kalmaktadır. Araç motoru çalıştığı sürece vites kablolarında oluşan mekanik titreşimler sürücüye belirli büyüklüklerde iletilirler. Motor kaynaklı titreşimlerin vites kablolarından tamamiyle izole edilmesi mümkün olmadığından belirli bir sınır değere sahip olması yeterlidir. Bu sınır değerleri, vites kolu tarafından sürücüye ileildiğinde sürücüye rahatsızlık vermeyecek seviyelerdir. Söz konusu sınır değerler her bir otomotiv ana sanayii için farklılık arz ettiği gibi motor ve transmisyon kaynaklı zorunluluklarda dikkate alınmaktadır. Tasarlanan motor ve transmisyonların üreteceği titreşim seviyeleri, sönümleme ve akustik konusunda otomotiv ana sanayilerini kısıtlamaktadır. Bu sebeple, bu tasarımların alt ürün gruplarından biri olan vites sistemleri de titreşim sönümleme konusunda dikkate alınmaktadır. Titreşim ve akustik özelliklerin iyileştirilmesi, her bir ana sanayinin kendi belirlediği kriterler doğrultusunda yapılmaktadır. Her bir ana sanayinin belirlediği titreşim test ve istekleri, yöntem olarak farklılık arz etmesine rağmen temel de aynı amaca yöneliktir. Bu amaç, vites kablosunda oluşan titreşimleri belirli seviyelere indirmek ve kulak ile algılanabilen sesleri azaltmaktır.

Aşağıda sıralanan titreşim testleri, yöntem olarak farklılık arz etmesine rağmen titreşim seviyelerinin tespitine yönelik olarak yapılmaktadır. Söz konusu testler, birçok ana sanayi tarafından yapılan genel amaca hizmet eden ortak testlerdir.

6.2.3.1 Titreşim büyüklüğü (vibration magnification)

Söz konusu test, vites kablosunun araca montaj yapıldığı noktalardan (CoEF) geçen titreşimlerin büyüklüğü ile ilgilidir. Yöntemin prensibi, motor tarafından üretilen titreşimlerin (input) vites kablosu üzerinden geçtikten sonra vites kolunun bağlı olduğu yapıya ileildiği kısmın (output) büyüklüğünün tespitiyle ilgilidir. Özetle, input titreşimlerin output titreşimlere oranıdır. Bu oran, ana sanayilerin motor ve transmisyon

değerlerine göre değişim göstermektedir. Titreşim büyüklüğünün nasıl tespit edildiğine dair ayrıntıları şekil 6.6 'da verilmiştir.



Şekil 6.6: Vites kablosunun titreşim büyüklüğü ölçümü
Kaynak: Cable vibration magnification report, Ficosa Otomotiv 2010

Titreşim büyüklüğü, genellikle 500 Hz ile 2.000 Hz frekans aralığında sabit bir ivme ile taranarak yapılır. Output kısmından ölçülen vites sisteminin titreşim cevabı, aynı frekans aralıklarında 100 Hz 'lik bantlar halinde analiz edilir. Her bir bantın sahip olduğu değerlerin ortalaması tespit edilerek toplamda kaç dB titreşim sönümlendiği tespit edilir. Tablo 6.1 titreşim analizinin nasıl yapıldığını göstermektedir.

Tablo 6.1: Titreşim büyüklüğünün hesaplanmasına ait örnek tablo

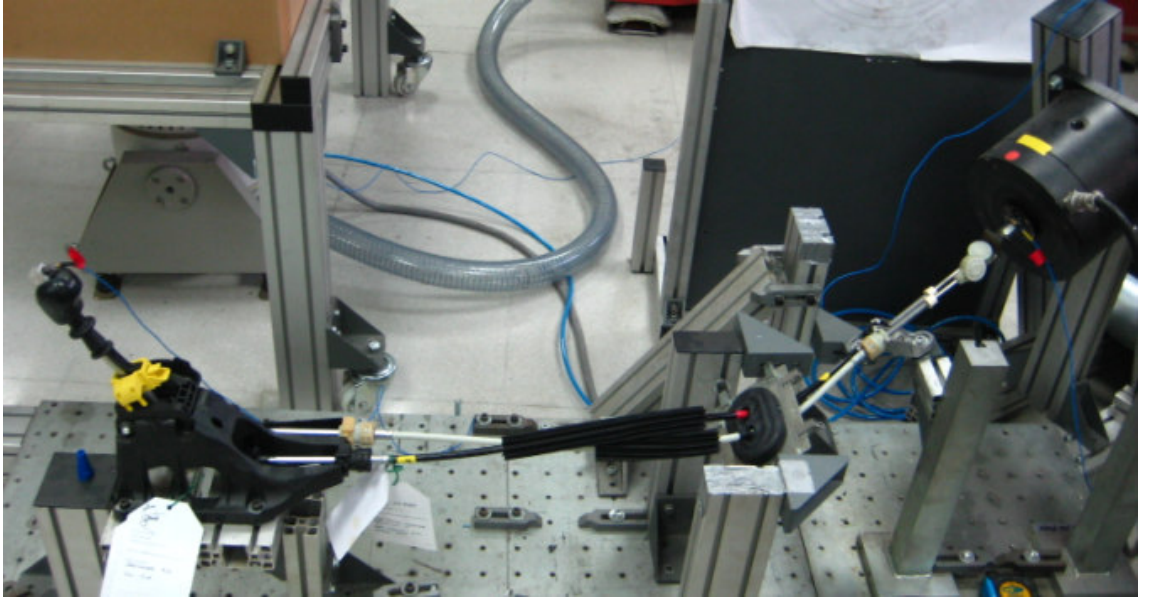
Frequency Range (Hz)	B (g)
500-600	0,0532
600-700	0,0385
700-800	0,1012
800-900	0,1629
900-1000	0,2134
1000-1100	0,2203
1100-1200	0,2309
1200-1300	0,1044
1300-1400	0,093
1400-1500	0,0245
1500-1600	0,0389
1600-1700	0,0509
1700-1800	0,057
1800-1900	0,0603
1900-2000	0,0411
$\Sigma B = 1,490499871$	
$D = 20 \log_{10} (\Sigma B/15)$	
$D = -20,05518633 \text{ dB}$	

Kaynak: Cable vibration magnification, Ficosa Otomotiv 2010

6.2.3.2 NVH (noise vibration harshness)

“Titreşim Büyüklüğü” değerlendirmesinden ve hesabından farklı olarak yapılır. Bu değerlendirmede titreşim hesabı, vites kablosunun araç karoserine bağlantı yerlerinden (CoEF) değil, vites kablosunun transmisyon ve vites kolu bağlantı noktalarından (CaEF) yapılır. Buna göre, transmisyon noktasından uygulanan bir titreşimin vites topuzundan okunan titreşim cevabına oranı dikkate alınır. Bu cevaplar, belirli her frekans veya frekans aralıkları için belirli bir ivme değerine sahip olacak şekilde değerlendirilir. Bu değerlendirme yöntemi, sürücünün konforunu doğrudan etkileyecek bir değerlendirme olduğu için ana sanayiler tarafından oldukça önemsenmektedir.

Ayrıca NVH değerlendirmesi yapılırken aynı test düzeneği içinde ve aynı test esnasından akustik değerlendirme de subjektif olarak uzman kişilerce yapılır. Bu değerlendirmede vites kablosunun, titreşim esnasında herhangi bir tıkırtı, çarpma veya vurma sesi oluşturmaması beklenir. Benzer test düzeneğini gösterir resim şekil 6.7 ‘de verilmiştir.



Şekil 6.7: Vites kablosunun subjektif titreşim cevabı testi
Kaynak: Kablo NVH laboratuvarı, Ficsa Otomotiv 2009

7. TİTREŞİM PERFORMANSI ÖLÇÜM VE HESAPLAMA DONANIMLARI ve KULLANIMI

Bu proje çalışmasında, vites kablosunun titreşim davranışlarının tespiti, davranışların analizi ve sonlu elemanlar modelinde bu davranışların doğrulanması konuları ele alınmıştır. Buna göre incelenecek donanımlar,

- Sensörler (Transducers)
- Veri toplama ve analiz sistemi
- Sonlu elemanlar yazılımı

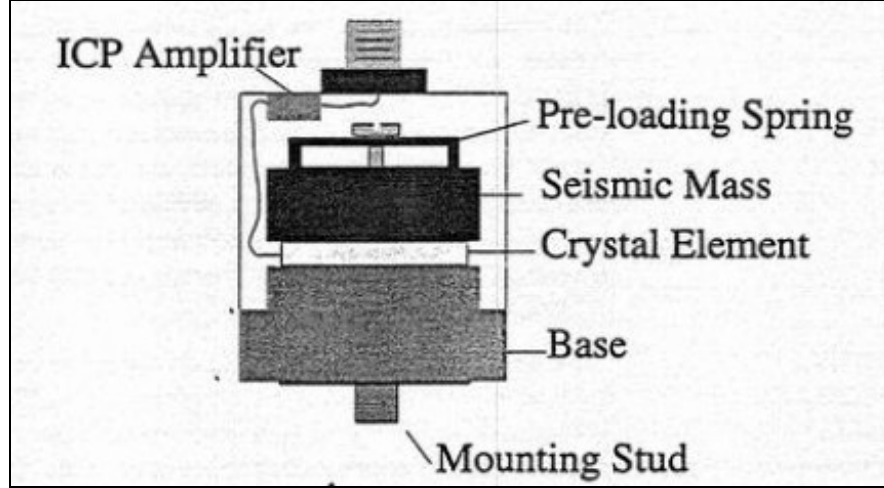
7.1 Sensörler

“Hareketi veya analog sinyalleri elektrik sinyaline dönüştüren elektromekanik aygıtlara verilen isimdir”. (Taylor, 2003) Temelde 5 farklı gruba ayrılırlar,

- Deplasman ölçerler
- Hızölçerler
- İvmeölçerler
- Basınçölçerler
- Mikrofonlar

Sensörlerin her grup içerisinde birden fazla çeşidi mevcuttur. Burada, ivmeölçerler haricinde diğer sensörlerin detayı verilmemiştir.

İvmeölçerler, piezo-elektrik adı verilen özel bir malzemenin ivmeölçer içindeki sıkışması ile elektriksel sinyal üreten aygıtlardır. Farklı tipteki piezo-elektrik malzemeler farklı sıcaklıklara dayanabilmektedir. Ancak, yüksek sıcaklıklar ve yüksekte düşmeler, ivmeölçerlere zarar verecek istisnalardır. İvmeölçerlerin yapısını detaylı gösteren bir resim şekil 7.1 'de verilmiştir.



Şekil 7.1: Piezo-Elektrik ivmeölçer yapısı
Kaynak: White, introduction to machine vibration 1995, s.25

“İvmeölçerler kendi içerisinde birçok farklı konfigürasyona sahip olmakla birlikte bugün endüstride en çok kullanılan tip, “ICP” olarak bilinendir. Bununla birlikte, bu tip ivmeölçerler birkaç Hz’den 30kHz ‘e kadar geniş bir frekans aralığında çalışabilmektedir. Bu aygıtların rezonans noktaları oldukça yüksektir, ancak unutulmaması gereken nokta, ivmeölçerin montaj şekli rezonans noktasının değişmesine sebep olabilmektedir”. (White, 1995)

Çalışmada, vites kablosunun titreşim dataları 5 adet aynı tip ivme ölçer aracılığı ile toplanmıştır. Bu ivmeölçerlerin özellikleri otomotiv sektöründe en çok kullanılan tipler analiz edildikten sonra tespit edilmiştir. Otomotiv sektöründe genellikle $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ arası sıcaklıklarda çalışmalar yapıldığından bu sıcaklık aralıkları ortam şartları olarak kabul edilmiş ve PCB Electronics’in 356A22[®] model ivmeölçeri testlerde kullanılmak üzere seçilmiştir. Bunun yanında ivmeölçerler, 3 eksenli, 5 gr ve ICP tip’dir. İvmeölçerlerin performans özellikleri şekil 7.2 ‘de verilmiştir.

PERFORMANCE	ENGLISH	SI
Sensitivity ($\pm 10\%$)	100 mV/g	10.2 mV/(m/s ²)
Measurement Range	± 50 g pk	± 491 m/s ² pk
Frequency Range ($\pm 5\%$)	0.5 to 4000 Hz	0.5 to 4000 Hz
($\pm 10\%$)	0.4 to 5000 Hz	0.4 to 5000 Hz
Resonant Frequency	≥ 25 kHz	≥ 25 kHz
Broadband Resolution (1 to 10,000 Hz)	0.0002 g rms	0.002 m/s ² rms [1]
Non-Linearity	$\leq 1\%$	$\leq 1\%$ [2]
Transverse Sensitivity	$\leq 5\%$	$\leq 5\%$

Şekil 7.2: PCB Electronics'in 356A22 model ivmeölçer performans özellikleri
Kaynak: <http://www.pcb.com>

Söz konusu ivmeölçerlerin, proje çalışmasında vites kablosunun daha önce belirlenen ilgili noktalarına belirli bir düzen ve yöntem ile montajı yapılmıştır. İvmeölçerlerin montaj noktaları ve yöntemleri ile ilgili ayrıntılı bilgi bölüm 8 'de açıklanmıştır.

İvmeölçerlerden alınan verilerin veri toplama sistemine hatasız bir şekilde iletilmesini sağlamak için de özel kabloların kullanılması gerekmektedir. Bu kablolar, özel şekilde sarılarak, toplanan veri üzerinde parazit yaratmayacak şekilde tasarlanmışlardır. “Genel amaçlı kullanılan kablolar 5 Hz 'den daha düşük frekanslarda yada elektromanyetik etki altında çalıştıklarında sorun yaratabilirler. Bu sorun, verilerin toplanması sırasında gerçek titreşimleri maskeleyebilir”. (Mobley, 1999)

Tez çalışmasında kullanılacak kablo, genel amaçlı veri kablosu olup özellikleri ve modeli, PCB marka 010F10 4-conductor, twisted shielded, Teflon cable, 10-ft, 4-pin plug to (3) 10-32 plugs (labeled X,Y,Z) (<http://www.pcb.com>) olarak karar verilmiştir.

7.2 Veri Toplama ve Analiz Sistemi

Donanım ve yazılım yeteneklerinin her geçen gün artması, PC'leri artık her alanda olduğu gibi veri toplama sistemlerinde de standart platform haline getirmiştir. Belirli bir amaca yönelik üretilmiş kartlar ve PC veri yoluna takılarak kullanılan DAQ kartları

büyük ölçüde yazılıma dayanan PC temelli veri toplama sistemlerinin en hızlı gelişen dalı olmuştur.

PC temelli tipik bir veri toplama sistemi şu elemanlardan oluşmaktadır;

Duyar Elemanlar (Sensörler): Sıcaklık, basınç, hız, deplasman gibi fiziksel büyüklükleri işaretlere çeviren sistemin uç elemanlarıdır.

İşaret Düzenleme (Signal Conditioning): Duyar elemanların ürettiği işaretleri uygulanabilecek standart işaret seviyelerine göre düzenleyen çeviricilerdir.

DAQ Kartları: Düzenlenmiş işaretleri alan ve PC veri yoluna aktarılacak biçimde düzenleyen kartlardır. Çeşitli konfigürasyonlarda analog ve dijital giriş/çıkışlar içeren bu kartlar, amacına uygun olarak, farklı hassasiyet ve hızlarda seçilebilir.

Bilgisayar ve Yazılım: DAQ kartlarının topladığı verileri görselleştirir, işler, analiz eder. Veri toplama sistemi yazılımları büyük miktarda veriyi işleyebilecek ve analiz edebilecek yetenektedirler.

Titreşim ile alakalı bir veri toplama işindeki en önemli unsurlardan biri tekrar edilebilir doğru bir dataya sahip olmaktır. Bunun için sensörlerin konumu, yönü ve bağlantı şeklinin tanımlanması ne kadar önemli ise bir veri toplama sisteminin de elde edilen datayı hangi şartlarda kaydettiği, hangi örnekleme (sampling) hızı, çözünürlüğü, frekans aralığı gibi parametrelerde son derece önemlidir.

Çalışmada, vites kablolarının titreşim karakteristiğinin tespiti amacıyla kullanılan veri toplama sistemi ve analiz yazılı piyasada en çok kullanılan ürünler arasından seçilmiştir. Veri toplama amacıyla National Instrument 'in 4 kanallı DAQ kartlarından beş adet, standart daq şasesinden bir adet ve gerekli kablolama ekipmanları kullanılmıştır. Proje çalışmasında kullanılan ürün şekil 7.3 'de gösterilmiştir.



Şekil 7.3: National instrument daq sistemi
Kaynak: <http://www.ni.com>

Kullanılan ürün, National Instrument 'in katalogunda NI 9234[®] kodu ile yer almaktadır ve ürüne ait teknik özellikler ise şu şekildedir (<http://www.ni.com/manuals>);

Number of channels.....	4 analog input
ADC resolution.....	24 bits
Type of ADC	Delta-sigma (with analog prefiltering)
Data rate (fs)	
Minimum.....	1.65 kS/s
Maximum.....	51.2 kS/s
Master timebase (internal)	
Frequency.....	13.1 MHz
Accuracy	±50 ppm max
Input coupling	Software-selectable AC/DC
AC cutoff frequency	
-3 dB.....	0.5 Hz typ
-0.1 dB.....	4.6 Hz max
AC voltage full-scale range	
Typical	5.1 Vpk
Minimum.....	5 Vpk
Maximum.....	5.2 Vpk

Veri toplama sisteminin en önemli unsurlarından biri de analiz yazılımıdır. Sensörler yardımıyla toplanan ve veri kartlarıyla sayısallaştırılan veriler, analiz yazılımı (analizör) yardımı ile görsel hale getirilmekte ve analiz edilebilmektedir. Analizörler, kullanıcının isteğine ve amacına bağlı olarak, birçok veri işleme tekniğini ve teorisini kendi içinde barındırırlar. Titreşim alanında en çok kullanılan analizör tipleri FFT (Fast Fourier Transform) teorisini kullanan analizörlerdir. FFT analizörler, zaman domaininde toplanan verileri frekans domainine çevirirler. FFT yöntemi, titreşim büyüklüklerini spektrum haline getirerek kullanıcının daha kolay anlamlandırabileceği hale dönüştürür. Bu spektrum veriyi, istenen her frekans için kullanıcıya sunar.

Tez çalışmasında da vites kablosunun titreşim davranışlarının incelenmesi amacıyla National Instrument 'in bir ürünü olan LabView® yazılımı ve LabView ile özellikle veri işleme amaçlı olarak yazılmış Signal Express® yazılımı kullanılmıştır. Araştırmadaki veri analizi ile ilgili detaylar bölüm 8 'de ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Titreşim datalarının analiz edilmesi ile ilgili olarak, tez çalışmasında kullanılan yazılımın teknik özellikleri şöyledir (<http://www.ni.com/labview/signalexpress>):

- Özellikle titreşim ölçümlerinde kullanılan “FFT” ve akustik ölçümlerde tercih edilen “Oktav Bant” Analizlerini yapabilmelidir.
- FFT analizörü 6400 çizgilik, 20kHz’lik aralığı gösterebilmeli, time, autospectrum, cross-spectrum, FRF (H1,H2,H3), Coherence, auto-correlation, cross-correlation, cepstrum, orbit fonksiyonlarını hesaplayabilmelidir.
- Ölçüm sonuçlarına gerektiğinde iki kez türev veya entegrasyon uygulayabilmeli ve bu sayede ivme-hız-deplasman geçişi yapabilmelidir.
- 1/1, 1/3, 1/12 ve 1/24 Oktav bantlarında analiz yapabilmelidir
- IEC 60651’e göre A-, B-, C- ve D- ağırlıklandırma eğrileri üzerinde mevcut olmalıdır.
- X/Y/Z eksenleri lineer, logaritmik veya dB olarak seçilebilmelidir. Ayrıca dB değerine ait referans istendiği gibi seçilebilmelidir.
- Çeşitli ortalama alma yöntemlerini kullanabilmelidir (Linear, Exponential, Peak, Max/Min Hold gibi) ölçüm sonuçlarını RMS (Root Mean Square), PWR

(Power), PSD (Power Spectral Density), RMSSD (Root Mean Square Spectral Density) ve ESD (Energy Spectral Density) olarak gösterebilmelidir.

- Word veya Excel gibi programlara kolaylıkla data transferi yapabilmelidir.
- ASCII formatında (text) başka program ve analiz paketlerine veri aktarımı kolayca yapabilmelidir.
- Sinyalleri zaman ve frekans tabanlı olarak sistemi tanımlayacak şekilde işleyebilmelidir.

7.3 Sonlu Elemanlar Yazılımı

Sonlu elemanlar metodu (SEM), günümüzde karmaşık mühendislik problemlerinin hassas olarak çözülmesinde etkin olarak kullanılan sayısal bir metottur. İlk defa 1956 yılında uçak gövdelerinin gerilme analizi için geliştirilmiş olan bu metodun, daha sonraki on yıl içerisinde uygulamalı bilimler ve mühendislik problemlerinin çözümünde de başarı ile kullanılabileceği anlaşılmıştır. Daha sonraki yıllarda ise sonlu elemanlar metodu ve çözüm teknikleri hızlı gelişmeler kaydetmiş ve günümüzde birçok pratik problemin çözümü için kullanılan en iyi metotlardan birisi olmuştur. Metodun değişik mühendislik alanları için bu kadar popüler olmasının ana nedenlerinden birisi genel bir bilgisayar programının yalnız giriş verilerini değiştirerek herhangi bir özel problemin çözümü için kullanılabilmesidir.

Sonlu elemanlar metodundaki temel düşünce, karmaşık bir probleme, problemi basite indirgeyerek bir çözüm bulmaktır. Esas problemin daha basit bir probleme indirgenmiş olması nedeni ile kesin sonuç yerine yaklaşık bir sonuç elde edilmekte, ancak bu sonucun çözüm için daha fazla çaba harcayarak iyileştirilmesi ve kesin sonuca çok yaklaşılması, hatta kesin sonuca ulaşılması mümkün olmaktadır. Elde bulunan konvansiyonel matematiksel araçların kesin sonucu, hatta yaklaşık bir sonucu dahi bulmakta yetersiz kalması durumunda ise sonlu elemanlar metodu kullanılabilecek tek metot olmaktadır.

Özel problemlerin çözümü için genel bir programın kullanılabiliyor olması, sonlu elemanlar metodunun güçlü ve çok amaçlı bir araç olmasına neden olmuş ve çok sayıda

genel amaçlı sonlu elemanlar program paketi geliştirilmiştir. Bu paketlerden bazıları oldukça genel amaçlı olup, değişik mühendislik alanlarındaki problemlerin çözümü için çok az veya hiçbir değişikliğe gerek duyulmadan kullanılabilir. “Bu paketlerden günümüzde yaygın olarak kullanılanlardan biri olan NASTRAN® (National Aeronautics and Space Administration Structural Analysis), yaklaşık 150 000 satırdan oluşmakta ve bir uçak veya otomobil gövdesinin komple çözümü için dahi kolaylıkla kullanılabilir”. (Arkan, 2005)

SEM, araştırmada kullanılan en önemli proje adımlarından biridir. Bu metot yardımıyla, deneysel yöntemlerle vites kablosu üzerinden toplanan titreşim datalarının nümerik analizleri PC ortamında yapılmıştır. SEM yazılımlarının tümüne yakını benzer altyapılara sahip olduğundan tez çalışmasında, titreşim datasını kullanabilecek standart bir yazılım paketi kullanılmıştır. Bu çalışmada sonlu elemanlar yazılımı olarak NASTRAN kullanılmıştır. Kullanılan SEM yazılımının sahip olduğu özellikler şöyledir;

7.3.1 Sonlu elemanlar yazılımı ön ve son işlemci özellikleri

- Grafik tabanlı bir kullanıcı ara yüzü
- CAD yazılımları ile dosya transferi
- Sonlu eleman analizi amaçlarına uygun yeteri kadar eleman çeşidi
- Değişik analiz programlarına girdi dosyası hazırlayabilmesi
- Otomatik ağ (mesh) oluşturabilmesi
- Oluşturulmuş ağa kullanıcının müdahale edebilme ve ağın düzeltilmesi için gerekli araçları bünyesinde bulundurması
- Yüklemeler, sınır koşulları, malzeme ve eleman özellikleri doğrudan geometriye uygulanabilme ve tasarım değişiklikleri geometriye yansıtılabilmesi
- Sonuç dosyaları, animasyon ve rapor şeklinde görülebilmesi
- Dinamik analizler için modelleme ve son işlem esnasında uygun özelliklere sahip olması
- İvmeölçerler ile toplanan yol datası frekans ve/veya zaman domaininde modele yüklenebilmesi

- Deneysel olarak bulunan modelin frekans cevap eğrisini sonlu eleman modeline entegre edilebilmesi
- Eleman sayısı konusunda bir sınırlama olmaması

7.3.2 Sonlu elemanlar yazılımı çözücü özellikleri

- Eleman ve düğüm noktası sayısında bir sınırlama olmaması.
- İmplicit nonlinearer çözüm yapabilmesi
- Otomatik kontakt algoritması olması
- Eleman ağı bozuldukça otomatik olarak kendini yenileyebilmesi
- Temas problemlerini çözebilmesi
- Lagrangian çözücü teknolojisine sahip olması
- Önceden yapılmış olan hesaplamaları yeniden yapma gerekliliği kalmadan bu sonuçları tekrar kullanma özelliğine sahip olması
- Temel analizler yapabilmesi
 - Lineer Statik
 - Doğal Frekans, Öz Değer - Öz Vektör (Normal Mod)
 - Burkulma
 - Optimizasyon
- Dinamik analizler yapabilmesi
 - Modal ve direkt frekans cevabı
 - Modal ve direkt frekans geçiş cevabı
 - Eigen Value analizleri
 - Rastgele cevap analizleri
 - Tepki spektrum analizleri
- Geometrik ve malzeme nonlinearity özelliklerine sahip olması
- Çözücü bir elemanda birden çok özelliği taşıyabilmesi
- Constraint elemanları ile modal analiz kullanabilmesi
- Mekanik ve termal birleşik çözüm yapabilmesi
- Temas (contact) tanımlamaları yapılabilmesi
- Mevcut tüm elemanlar ile temas problemi çözülebilmesi

- Malzeme ve basma deney sonuçlarından malzeme modeli sabitlerini hesaplayabilmesi
- Analizlerde katmanlı yapı kullanılabilmesi
- Analiz sonuçlarını XY diyagramları FFT, PSD ve kazanç eğrileri olarak verebilmesi
- Analiz sonuçlarını gerçekçi animasyonlar olarak gösterebilmesi
- CAD programlarında oluşturulan geometrik modeller, IGES, STEP, VDAFS, STL, DXF formatlarından herhangi biri ile yazılım içerisine,katı ve/veya tel olarak aktarılabilmesi

8. VİTES KOMUTA KONTROL KABLOSU DENEYSEL VERİ TOPLANMASI VE TOPLANAN VERİLERİN İŞLENMESİ

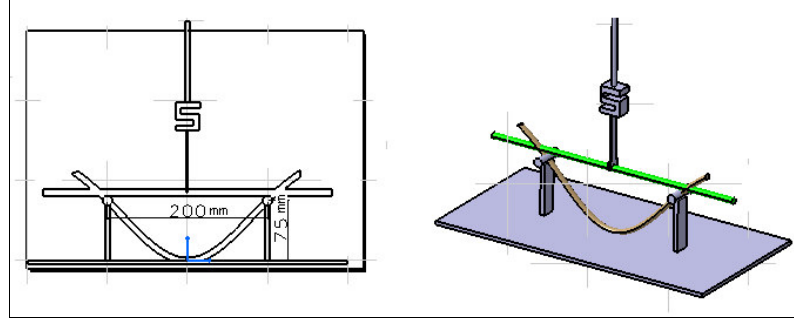
Çalışmanın bu bölümünde, sektörde hali hazırda kullanılan ve vites kablosunu oluşturan temel alt parçaların deneysel yöntemler kullanılarak mekanik özelliklerinin tespit edilmesi ve vites kablosunun araç üzerinde titreşim verilerinin toplanması işleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen veriler, VKKK ‘nun sonlu elemanlar modelinin kurulması çalışmasında kullanılmıştır.

8.1 VKKK ‘da Kullanılan Alt Parçaların Mekanik Özelliklerinin Tespit Edilmesi

Çalışmanın bu bölümünde, vites kablosunun titreşim özelliklerine katkı koyabilecek ya da değiştirebilecek ve VKKK ‘nu oluşturan temel parçaların mekanik özelliklerinin tespit edilmesi çalışmaları yapılmıştır. Buna göre, koruyucu dış tüp (conduit), iç çelik tel (inner cable), CoEF ve CaEF gibi vites kablosunun titreşim davranışlarını doğrudan ve büyük bir oranda etkileyen alt parçaların, mekanik özellikleri farklı parametrelerle incelenmiştir.

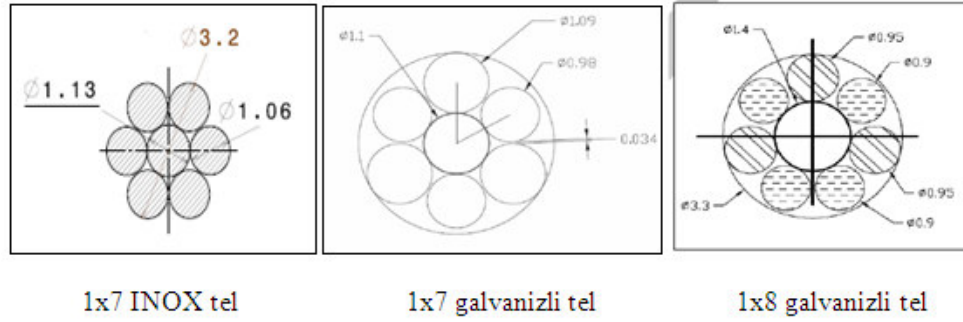
8.1.1 İç çelik tel ve koruyucu dış tüp parçalarının eğilme rijitliklerinin tespiti

Vites kablosunu oluşturan ana parçalardan iç çelik tel ve koruyucu dış tüpün farklı tiplerinin ayrı ayrı ve birbiri ile olan bağıl eğilme rijitliği incelenmiştir. Bu rijitlik, bölüm 7 ‘deki vites kablosunun sonlu elemanlar modelinin kurulumu aşamasında ve titreşim davranışlarının incelenmesi çalışmasında kullanılan bir değişkendir. Vites kablosunun eğilme rijitliği (Nono ve ark., 2006), üç noktalı eğilme (Three point bending) yöntemi kullanılarak her bir iç tel-dış tüp eşleniğinin ve her bir iç çelik tel ile dış tüp için ayrı ayrı tespit edilmiştir. Test düzeneği, iki adet basit mesnet, loadcell ve itme çubuğundan oluşmaktadır. Test düzeneğine ait basit bir resim şekil 8.1 ‘de verilmiştir. Test esnasında mesnet noktalarındaki sürtünmeler ihmal edilmiştir.



Şekil 8.1: Üç noktalı eğilme test düzeneği

Sektörde haliz hazırda kullanılan 3 farklı iç çelik tel ve 3 farklı koruyucu dış tüp test edilmiştir. Buna göre şekil 8.2 'de 3 farklı iç çelik tel'e ait kesitler gösterilmiştir.



1x7 INOX tel

1x7 galvanizli tel

1x8 galvanizli tel

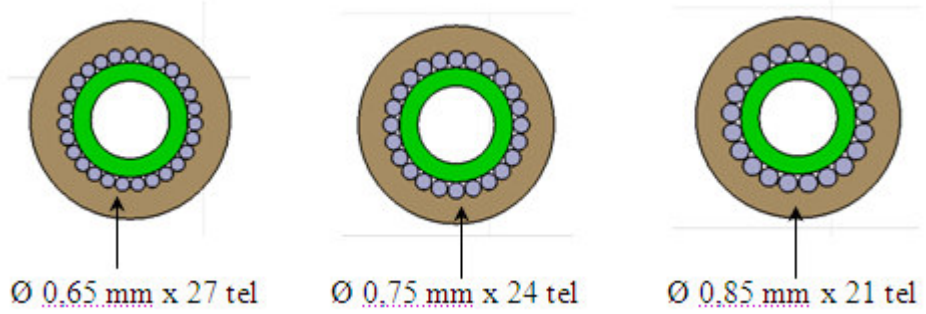
Şekil 8.2: Üç farklı iç çelik tel'in kesitleri

Bununla birlikte, söz konusu iç çelik tellere ait elde edilen kuvvet-deplasman değerleri tablo 8.1 'de verilmiştir.

Tablo 8.1: İç çelik tel rijitlikleri

İç Çelik Tel					
1x7 INOX		Galvanizli 1x8		Galvanizli 1x7	
N	mm	N	mm	N	mm
10,0	45,0	13,9	49,8	12,7	57,4
11,3	52,3	14,3	57,8	12,1	46,8
12,0	52,5	14,1	56,8	12,0	59,4
12,1	55,7	13,9	51,9	12,5	48,8
10,3	49,6	13,4	55,0	11,7	53,6
10,4	52,0	13,6	55,5	11,5	50,3
10,4	51,5	14,0	55,9	12,3	57,7
10,4	53,2	14,6	52,6	12,2	59,9
10,6	52,2	14,4	53,2	12,6	49,4
10,4	52,1	13,6	48,1	12,7	55,4

İç çelik tellerde olduğu gibi dış koruyucu tüplerin mekanik özelliklerinin tespit edilmesinde de aynı test yöntemi kullanılmıştır. Test edilen üç farklı dış koruyucu tüpe ait kesitler şekil 8.3 'de verilmiştir.



Şekil 8.3: Dış tüp kesitleri

Bununla birlikte, söz konusu dış koruyucu tüplere ait elde edilen kuvvet-deplasman değerleri tablo 8.2 'de verilmiştir.

Tablo 8.2: Dış koruyucu tüp rijitlikleri

Dış Tüp					
0,65 mm		0,75 mm		0,85 mm	
N	mm	N	mm	N	mm
37,2	45,2	50,0	39,0	40,7	43,0
39,4	41,6	53,8	43,5	43,9	43,4
33,9	43,5	52,1	43,6	42,3	47,7
36,3	38,0	47,1	37,7	44,0	43,3
33,3	44,4	49,4	37,9	48,5	43,0
35,8	41,2	52,3	43,1	46,0	41,6
36,5	36,0	49,5	40,2	47,4	42,1
36,0	36,0	50,2	42,5	48,0	47,4
34,5	44,0	47,6	42,9	48,3	41,7
36,8	43,3	52,4	42,0	50,4	44,4

Buraya kadar elde edilen mekanik özellikler her bir parçanın tek başına gösterdiği özelliklerdir. Ancak, proje çalışmasının bir sonraki bölümünde gerçekleştirilen sonlu elemanlar modelinin kurulması esnasında iç çelik tel ve dış koruyucu tüp parçalarının birlikte çalışması esnasında sergilediği mekanik performanslar dikkate alınmıştır. Vites kabloğunun araç üzerinde çalışması esnasında ortaya çıkan titreşimin tek bir parça

üzerinde ilerlemeyeceği kabulü yapılırsa, iç çelik tel-dış koruyucu tüp çiftine ait kuvvet-deplasman değerleri tablo 8.3 'de gösterilmiştir.

Tablo 8.3: İç çelik tel - dış tüp rijitlikleri

1x8 Galvanizli		1x7 Galvanizli		1x7 INOX	
Ø 0.65 Dış Koruyucu Tüp					
N	mm	N	mm	N	mm
-52,67	39,638	-49,31	37,351	-47,46	40,007
-50,84	41,374	-49,17	39,274	-49,29	38,452
-50,74	42,046	-49,37	40,269	-47,05	40,201
Ø 0.75 Dış Koruyucu Tüp					
-67,33	44,419	-67	43,692	-60,33	42,88
-65,58	42,661	-57,34	49,512	-67,64	44,954
-63,38	44,519	-65,42	44,59	-60,4	41,863
Ø 0.85 Dış Koruyucu Tüp					
-62,1	43,99	-61,29	48,402	-57,76	43,128
-61,75	44,55	-59,04	44,559	-56,12	42,565
-62,79	47,766	-60,6	42,8	-56,63	44,142

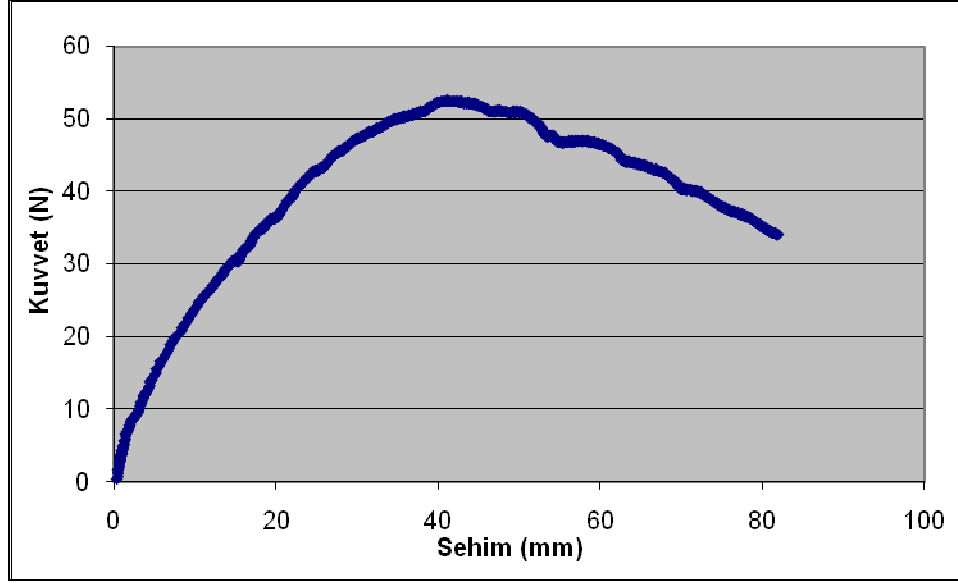
Yukarıda elde edilen veriler ham deney sonuçları olup, henüz işlenmemiş haldedir. Bu şekli ile verilerin kullanılması mümkün değildir. Sonuçları kullanılabilir hale getirilmesi amacıyla her bir test sonucunu nokta data olarak binlerce aralıkta toplanmıştır. Data üzerindeki belirsizlikler süzöldükten sonra her bir numunenin gerçek “EI” yani Eğilme Rijitliği değerine ulaşılmıştır.

$$\delta = \frac{FL^3}{48EI} \quad (8.1)$$

(8.1) eşitliğinde “EI” ’ya cismin “eğilme rijitliği” de denir ve birimi $N.m^2$ ‘dir. Söz konusu eşitlikte EI çekildiğinde numunelere ait eğilme rijitliği ifadesine ulaşılmış olur.

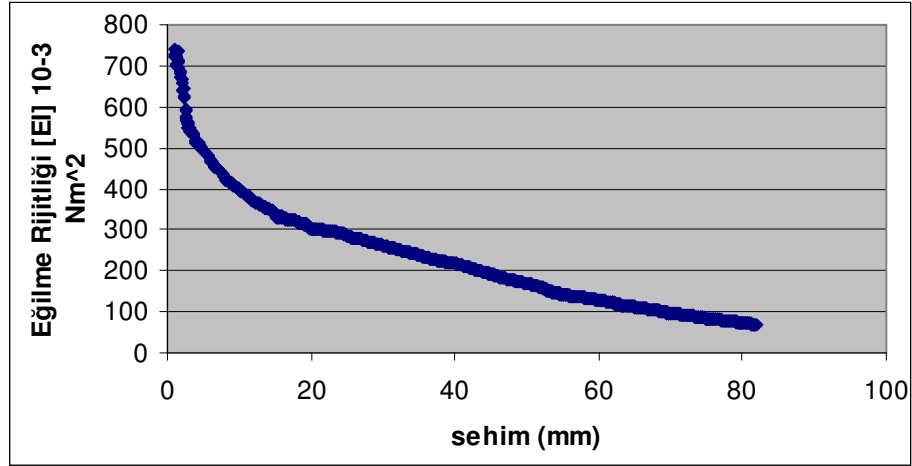
$$EI = \frac{FL^3}{48\delta} \quad (8.2)$$

Buna göre, elde edilen verilere göre örnek bir iç çelik tel-dış tüp çiftine ait eğilme rijitliği aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Aşağıda, “three point bending” testinden elde edilen yaklaşık 2000 adet F- δ noktasının eğrisi şekil 8.4 ‘de çizilmiştir.



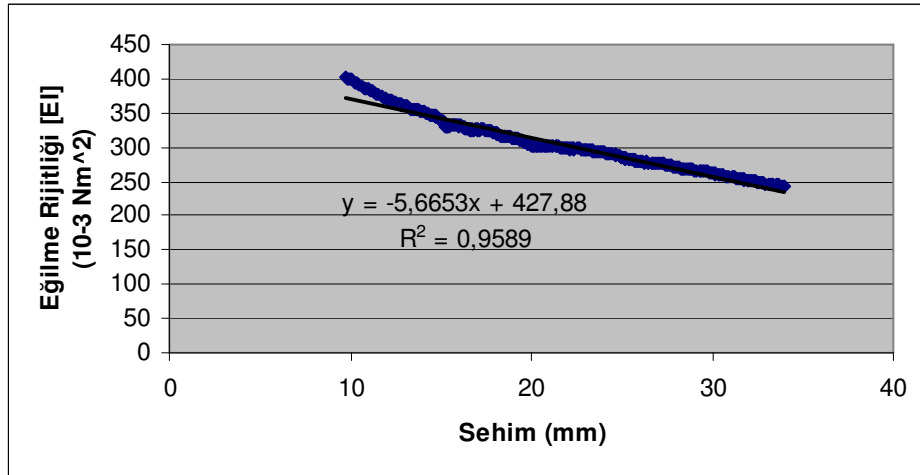
Şekil 8.4: İç çelik tel-dış tüp çiftine ait F-δ grafiği

Elde edilen verilere göre numunenin anlık Eğilme Rijitliği (EI) grafiği elde edilmiştir. Yani belirli bir kuvvet altında ve deplasmanda hangi rijitliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Buna göre elde edilen eğilme rijitliği grafiği şekil 8.5 'de verilmiştir.



Şekil 8.5: İç çelik tel-dış tüp ikilisinin sehime bağlı olarak eğilme rijitliğinin değişimi

Elde edilen anlık eğilme rijitliği grafiğine göre, numunenin lineer davranış gösterdiği aralık tespit edilmiştir. Buna göre elastik aralıktaki eğilme rijitliği doğru denklemi şekil 8.6 'da verilmiştir.



Şekil 8.6: Lineer bölgeye ait eğilme rijitliğinin sehime göre değişimi

Denklem (8.2) 'e göre, istenen her anın (ya da noktanın) Eğilme Rijitliği (EI) bu formül sayesinde hesaplanabilmektedir.

Örneğin,

İç çelik tel: 1x7 INOX iç tel

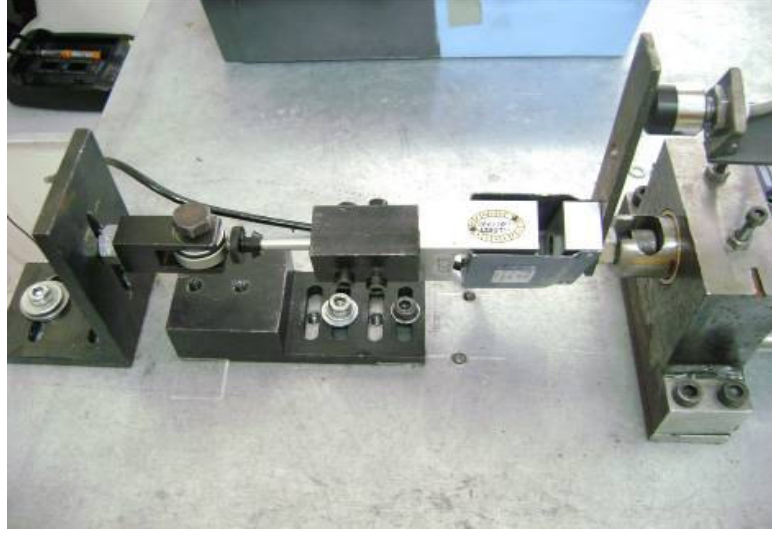
Dış tüp: Ø 0,75 tel x 24 adet

alt parçalarından oluşan bir deney numunesi eşleniği, elastik davranışın gözlemlendiği 13,60 mm sehime karşılık gelen eğilme rijitliği yaklaşık 351 N.m² olarak hesaplanmaktadır.

Deneysel olarak elde edilen bu veriler, vites komuta kontrol kablosunun titreşim karakteristiğine etki edecek temel değişkendir. Ayrıca bu veri, ürünün sonlu elemanlar modelinin kurulması esnasında iç çelik tel ve dış koruyucu zarf çiftinin tanımlanması esnasında kullanılacaktır.

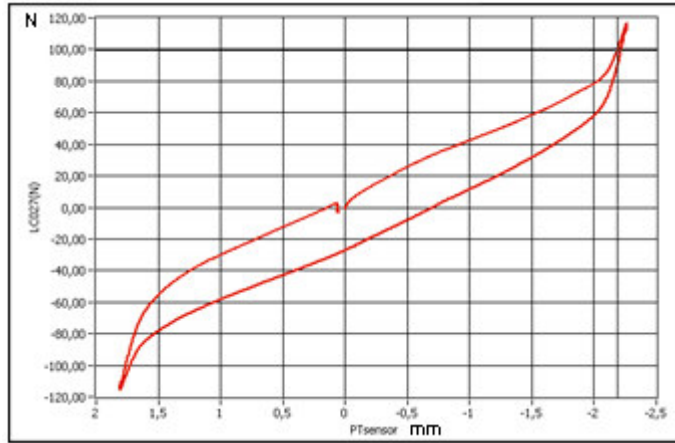
8.1.2 CaEF ve CoEF parçalarının rijitlik (stiffness) değerlerinin tespiti

Sonlu elemanlar modelinde kullanılacak verilerden biri de CoEF ve CaEF 'lerde kullanılan damperlerin stiffness özellikleridir. Bu elemanlar, hiper elastik malzemelerden mamul olup vites kablosunda titreşim sönümleyici olarak kullanılırlar. CaEF stiffness grafiğinin elde edilmesi ile ilgili örnek bir çalışma şekil 8.7 'de verilmiştir.



Şekil 8.7: İç kablo damperi stiffness testi

Buna göre, motor montaj noktasından bağlanan ve sabitlenen CaEF, diğer tarafından loadcell'in bağlı bulunduğu bir piston yardımıyla çekilerek kuvvet-deplasman yani stiffness grafiği elde edilir. Bu test, CaEF için üç ekseninde de yapılarak her bir doğrultuda parçanın stiffness değerleri elde edilir. Bu test sonuçlarına göre CaEF 'e ait X eksenindeki örnek stiffness grafiği şekil 8.8 'de verilmiştir.



Şekil 8.8: İç kablo damperine ait stiffness grafiği

Şekil 8.8 'de, CaEF damperi, özellikle uçlara doğru nonlineer özellikler gösterme eğilimindedir. Ancak bu nonlineerlik, damperin en uç noktalarında yani çalışmaya maruz kalmayacağı uç deplasmanlarda meydana geldiğinden çalışmada damperlerin stiffness değerleri "lineer" olarak kabul edilmiştir.

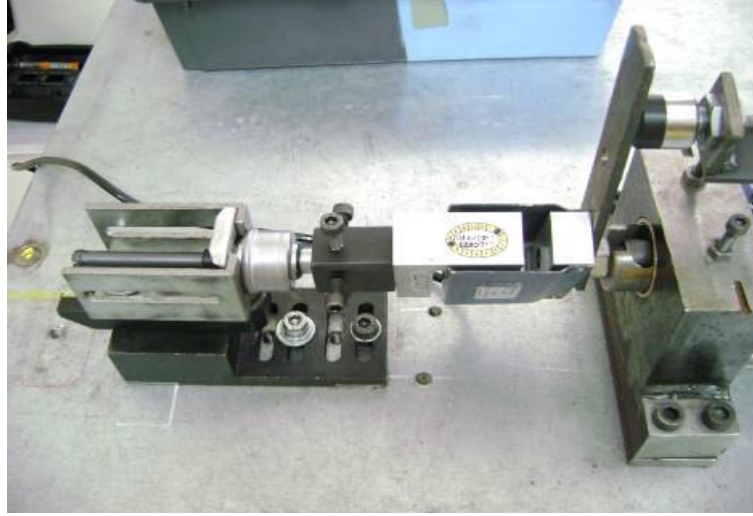
CaEF stiffness testleri sonuçlarına göre, CaEF'e ait X, Y ve Z eksenlerindeki damper stiffness değerleri yaklaşık olarak şu şekilde tespit edilmiştir;

X-CaEF_{stiffness}: 40 N/mm

Y-CaEF_{stiffness}: 40 N/mm

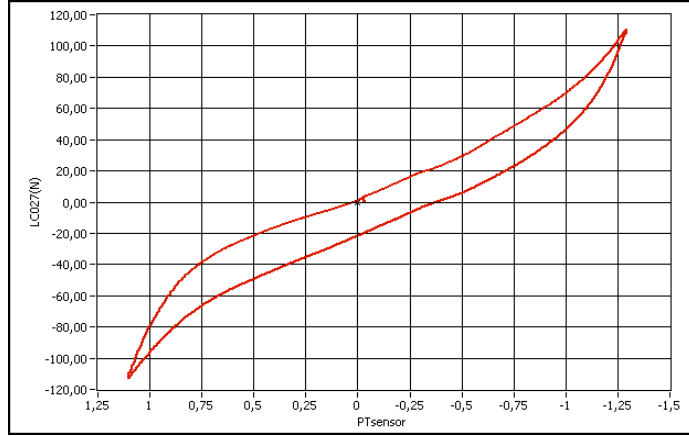
Z-CaEF_{stiffness}: 400 N/mm

CoEF 'ler, CaEF elemanlar gibi bünyesinde hiper elastik elemanlar barındırmaktadırlar. CoEF 'ler, vites kablosunun araca bağlanmasını sağlayan vites kablosunun en önemli elemanlarından biridir. Doğrudan gövdeye bağlı olduklarından titreşime olan etkileri üst düzeydedir. CoEF elemanın stiffness özelliklerinin tespitinde, CoEF 'in araç montaj noktasından sabitlenen eleman diğer taraftan da loadcell bağlı bir piston yardımıyla itilip çekilerek elemanın kuvvet-deplasman grafiği elde edilir. Yönteme ilişkin resim şekil 8.9 'da verilmiştir.



Şekil 8.9: Dış koruyucu zarf damperi stiffness testi

Bu test, CoEF 'ler için üç eksen de yapılarak her bir doğrultuda parçanın stiffness değerleri elde edilir. Bu test sonuçlarına göre motor tarafı CoEF 'e ait X eksenindeki örnek stiffness grafiği şekil 8.10 'da verilmiştir.



Şekil 8.10: Dış koruyucu zarf damperine ait stiffness grafiği

Şekil 8.10 'da, CoEF damperi, özellikle uçlara doğru nonlineer özellikler gösterme eğilimindedir. Ancak bu nonlineerlik, damperin en uç noktalarında yani çalışmaya maruz kalmayacağı uç deplasmanlarda meydana geldiğinden araştırmada damperlerin stiffness değerleri “lineer” olarak kabul edilmiştir.

CoEF stiffness testleri sonuçlarına göre, motor tarafı CoEF'e ait X, Y ve Z eksenlerindeki damper stiffness değerleri yaklaşık olarak şu şekilde tespit edilmiştir;

X-CoEF_{stiffness}: 60 N/mm

Y-CoEF_{stiffness}: 5000 N/mm

Z-CoEF_{stiffness}: 5000 N/mm

Ayrıca, aynı şekilde vites tarafı CoEF 'e ait X, Y ve Z eksenlerindeki damper stiffness değerleri yaklaşık olarak şu şekilde tespit edilmiştir;

X-CoEF_{stiffness}: 100 N/mm

Y-CoEF_{stiffness}: 5000 N/mm

Z-CoEF_{stiffness}: 5000 N/mm

Buraya kadar elde edilen CaEF ve CoEF stiffness değerleri, araştırmanın bir sonraki aşaması olan sonlu elemanlar modelinin kurulması kısmında kullanılacak en önemli parametrelerdir.

8.2 Örnek Bir Otomobil Üzerinden Titreşim Verilerinin Toplanması

Hedef otomobil üzerinden gerçek verilerin toplanması işlemine geçmeden önce veri toplama esnasında ortaya çıkabilecek problem veya sorunların önlenmesi ve veri toplama sisteminin denenmesi amacıyla herhangi bir araçtan veri toplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında piyasada, hali hazırda yollarda çalışmakta olan bir C sınıfı binek otomobilden veri toplanmıştır. Kaput altındaki muhtelif parçalara yapıştırılan 6 adet ivmeölçer ile veri toplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneme çalışmaları yapılırken ortaya çıkan sorun veya zorluklar şöyledir özetlenmiştir;

- İvmeölçer bağlantı geometri sorunu

İvmeölçerlerin bağlanacağı parçaların belirli ve düzgün bir geometriye sahip olmaması sebebiyle ortaya çıkmıştır. Sensörlerin bağlanacağı yüzeyler belirli çaplarda ve eğrisel bir geometriye sahiptirler. Bunun yanında ölçüm yapılacak parçalar sıcaklık etkisi altında çalışırken hem plastik hem de metal olabilmektedirler. Bu sorunun ortadan kaldırılması amacıyla ölçüm yapılacak her bir parça için özel geometriye ve montaj kolaylığı sağlayacak 3-5 g arası kütleye sahip ara parçalar tasarlanmış ve polimer malzemeden imal edilmişlerdir.

- İvmeölçer bağlantı şekli

İvmeölçerlerin her birinin bağlanacağı yüzeyler ve malzeme cinsleri vidalı bağlantıya müsaade etmemesi sorun teşkil etmiştir. Sorunun ortadan kaldırılması amacıyla piyasa kullanılan, sıcaklığa dayanıklı, rijit ve aynı zamanda da sökülebilir bağlantı sağlayan özel yapıştırıcılar araştırılmıştır. Bu amaçla istenen kriterlere uygun ticari bir yapıştırıcı “Loctite 480®” olarak seçilmiş ve denemeler esnasında kullanılmıştır.

- Veri toplama işlemi

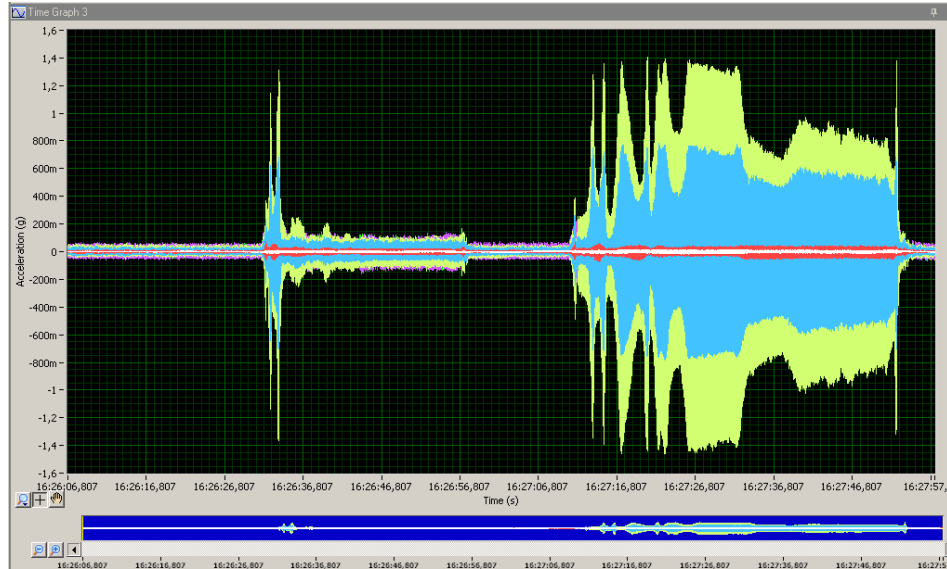
İvmeölçerlerin aracın motor tarafında belirli yerlere yapıştırılarak veri toplanması sağlanmıştır. Ancak 6 adet ivmeölçerin aynı anda bağlanması ve her ivmeölçerin 3 eksene sahip olması veri toplama işlemi karmaşık hale getirmiştir. Ortaya çıkan kablo yoğunluğu motorun sebep olduğu sıcaklık etkisinde kalması sorun oluşturmuştur.

Bunun önüne geçmek için kabloların özel bir koruyucu tüp ile sarılması sorunu ortadan kaldırmıştır.

- Veri toplama esnasında elektriksel güç temini

Veri toplama işleminin yapılması esnasında aracın hareket edeceğini göz önüne aldığımızda, sabit bir kaynaktan güç sağlanması mümkün değildir. Bu da, gerçek araç üzerinde veri toplarken problem yaratacaktır. Bu sorunun ortadan kaldırılması amacıyla araçların çakmaklığından güç temin edilmesine karar verilmiştir. Bunu sağlamak için ara bağlantı aparatı temin edilmiştir. Gerekli bağlantı uç ayarlamaları yapıldıktan sonra, veri toplama esnasında gerekli güç araç çakmaklığından temin edilmiştir.

Tüm sorunların giderilmesinin ardından araç üzerinde veri toplama denemesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Veriler, 6 adet ivmeölçerle ve üçer eksenden olacak şekilde toplanmıştır. Dolayısıyla aynı anda 18 kanaldan veri toplanmıştır. Toplanan veriler “Labview Signal Express” yazılımı aracılığı ile kaydedilmiştir. Deneme çalışması sırasında elde edilen örnek bir veri spektrumu şekil 8.11 ‘de verilmiştir.



Şekil 8.11: 18 kanallı veri spektrumu

Deneme işleminin sorunsuz tamamlanmasının ardından gerçek araç üzerinden veri toplama işlemine geçilmiştir.

Piyasada bulunan C Sınıf binek bir otomobilden veri toplamak için Ficosa Otomotiv müşterisi olan, Ficosa Türkiye'nin en iyi satış yaptığı firmalardan biri olan ve mühendislik düzeyinde sıkı ilişkilerinin olduğu "Toyota" firması ile araştırma kapsamında ortak bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu ortak çalışma, araç üzerinden veri toplama işlemini kapsamaktadır.

Toyota tarafından dünya pazarında en çok satılan binek araçlardan biri olan "Auris" modeli, veri toplanacak araç olarak tespit edilmiştir. Bu araç, Toyota'nın Sakarya fabrikasında üretilen bir araç olup, manuel vites kablosu Ficosa Türkiye tarafından tedarik edilmektedir. Buna göre veri toplama işleminin gerçekleştirildiği aracın genel özellikleri şu şekildedir;

- Araç Modeli: *Toyota Auris*
- Motor Hacmi ve Tipi: *1.4 Litre – 4 silindir*
- Yakıt Türü: *Dizel*
- Şanzıman Türü: *Manuel*

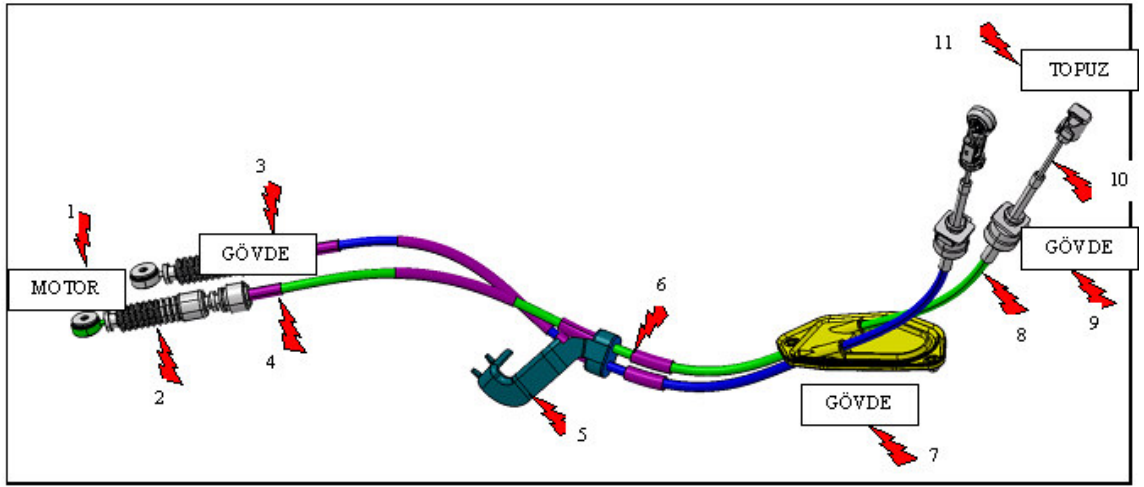
Toyota personelinin de katıldığı veri toplama işlemi 1 tam günde tamamlanmıştır. Proje başında VKKK üzerinde 17 noktadan ve 3 eksenden alınması planlanan ivme-zaman verisi, yaşanan konstrüktif zorluklar sebebiyle 11 kanaldan ve 3 eksenden toplanabilmiştir. Veri toplanamayan 6 kanal, VKKK'nun araç içinde geçtiği yerler sebebiyle ivmeölçer yapıştırmaya ve veri toplamaya müsaade etmeyen bir konuma sahipti. Veriler, 6 ivmeölçerle aynı anda ve 2 seferde toplanabilmiştir. Böylece 11 noktadan data toplama işlemi gerçekleştirilmiş oldu.

Veri toplama noktası olarak tespit edilen 11 nokta sırasıyla şu şekildedir;

1. Motor Takozu
2. Rod (Motor Tarafı)
3. CoEF Braket
4. CoEF Konduit
5. Braket
6. Konduit üstü (Braket Tarafı)

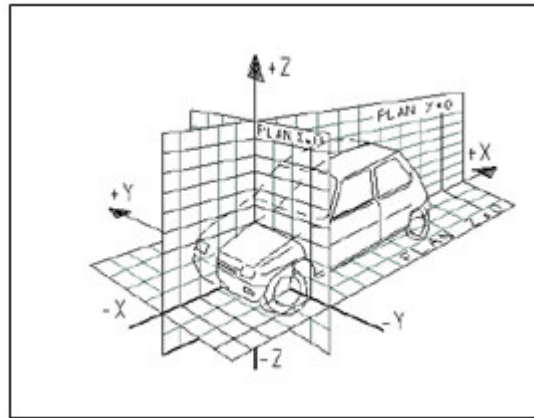
7. Grommet Gövde
8. Konduit (Vites Tarafı)
9. Vites yuvası
10. Rod (Vites Tarafı)
11. Vites Topuzu

VKKK üzerinde veri toplanan noktaların konumları şekil 8.12 'de verilmiştir.



Şekil 8.12: İvmeölçerlerin VKKK üzerindeki konumları

11 noktaya ait veriler, 3 eksen ve ISO 16949 standartlarında belirtilen araç global koordinat sistemi'ne göre toplanmışlardır. Kullanılan "araç global koordinat sistemi" şekil 8.13 'de verilmiştir.

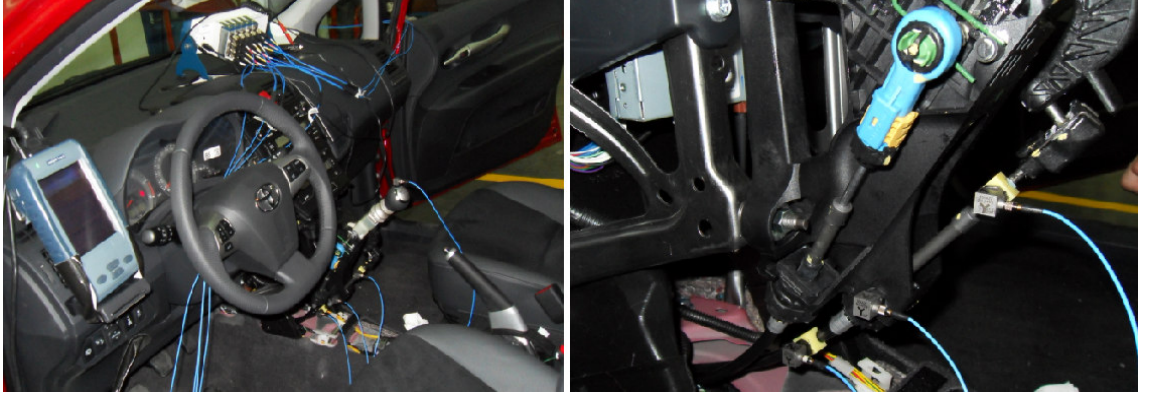


Şekil 8.13: Araç global koordinat sistemi

Veri toplama çalışmalarına ilişkin görseller şekil 8.14 ve 8.15 'de verilmiştir.



Şekil 8.14: Motor tarafı veri toplama çalışması



Şekil 8.15: Sürücü tarafı veri toplama çalışması

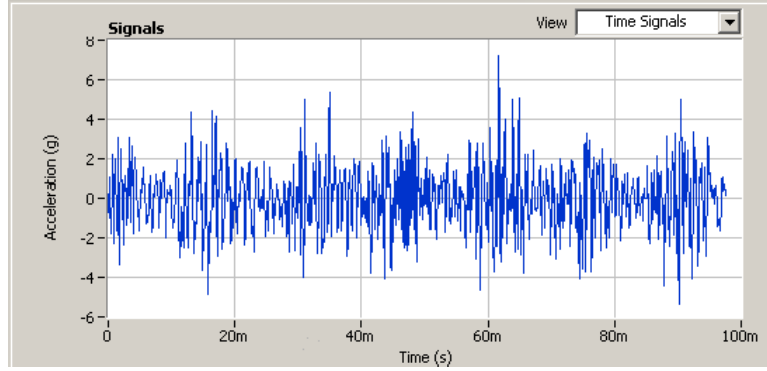
8.3 Otomobil Üzerinden Toplanan Verilerin Değerlendirilmesi

Veri Toplama işleri aracın farklı durumlarında ve farklı yol şartlarında gerçekleştirilmiştir. Buna göre toplanan veri 2 farklı yol durumunda ve farklı RPM'lerde elde edilmiştir. Özetle,

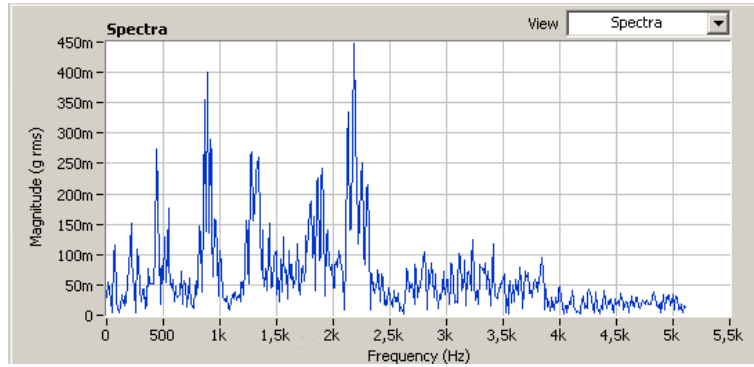
- ❖ Araç Sabit (Boşta)
 - 768 RPM (Rölanti)
 - 2000 RPM
 - 3000 RPM
 - 4000 RPM
- ❖ Araç Yolda (2. vites)
 - 2000 RPM

- 3000 RPM
- 4000 RPM

Bu aşamadan sonra toplanan verilerin işlenmesi aşmasına geçilmiştir. Pratikte, vites kablosu üzerinde gerek araç sabitken gerekse de araç yoldayken birçok frekansta titreşim mevcuttur. Bu titreşimler yol kaynaklı olabildiği gibi motor tahrikli çalışan şanzıman ve içerisindeki dişliler, fan ve kayışlardan da kaynaklanabilmektedir. Ancak burada veri, zaman-ivme boyutundan alınarak ivme-frekans düzlemine aktarılır. Böylece istenen titreşimlerin kullanılabilir hale getirilmesi mümkün olur. Herhangi bir örnek nokta üzerinden toplanan X yönündeki titreşim verisinin ivme-zaman ve ivme-frekans düzlemindeki 2 farklı gösterimi şekil 8.16 ve şekil 8.17 'de verilmiştir.



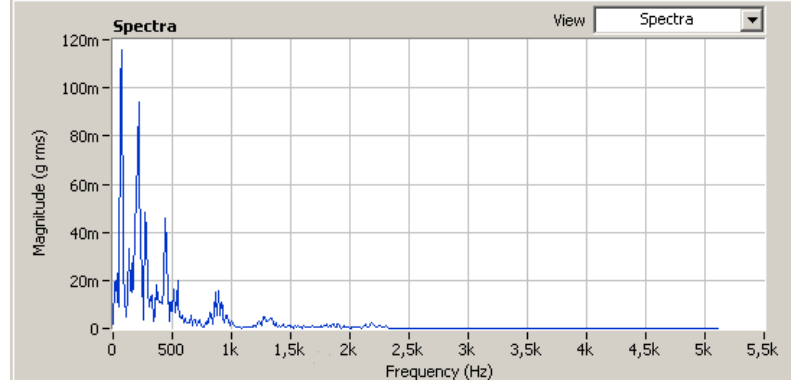
Şekil 8.16: X eksenli ivme-zaman spektrumu



Şekil 8.17: X eksenli ivme-frekans spektrumu

Ancak bu datalar, birçok farklı ve çalışma kapsamında olmayan değerleri içermektedir. İstenen verilerin elde edilmesi için bir süzgeç işleminin yapılması gerekmektedir. Bu süzgeç, istenilen veri aralığını ihtiva edecek şekilde olmalıdır. Normal şartlar altında 4

silindirli ve dizel araçların kullanım hızları ve dolayısı ile devir sayıları bellidir. Bunlar genellikle, rölanti ve 4000 devir/dakika (RPM) arası olacak şekilde kabul edilebilir. Bu sebeple oluşturulacak süzgeç 20 hertz (Hz) ve 200 Hz arasına duyarlı olacak şekilde düzenlenmiştir. Buna göre, şekil 8.17 'de gösterilen süzgeçsiz verinin süzildikten sonraki değerleri şekil 8.18 'de verilmiştir.



Şekil 8.18: X eksenli verinin süzgeçli ivme-frekans spektrumu

Bu aşamadan sonra süzölmüş datalar içerisinde istenilen ivme değerleri, motorun çalışma devir sayıları ile ilintili olacaktır. Yani motorun devir sayıları, istenen titreşim datalarının hangi frekanslarda bulunabileceğini belirtmektedir. Buna göre “X” RPM ile çalışan bir motorun silindir sayısına göre motor ateşleme frekansı kolaylıkla tespit edilebilmektedir. Örneğin, her bir silindir 2 devirde 1 defa olmak üzere ateşlenmektedir. Dolayısıyla, her yarım devirde 1 silindir ateşlenmektedir. Buradan da 4 silindirli bir motorda motor ateşleme frekansı $2x(\text{RPM}/60)$ formülü ile tespit edilir. Örneğin, 3000 RPM ile çalışan bir motorun motor ateşleme frekansı 100 Hz 'dir.

Toplanan datalar belirli yol şartlarında ve devir sayılarında olduğundan bu bilgiler doğrultusunda devir sayısına bağlı olarak VKKK 'da oluşan frekans-ivme dataları tespit edilmiştir. Buna göre, projenin sonraki aşmalarında kullanılacak datalar tablo 8.4 ve tablo 8.5 'de özetlenmiştir. 11 noktadan her birinin sahip olduğu değerler X, Y ve Z eksenlerinde olup birimleri mg (rms) 'dir.

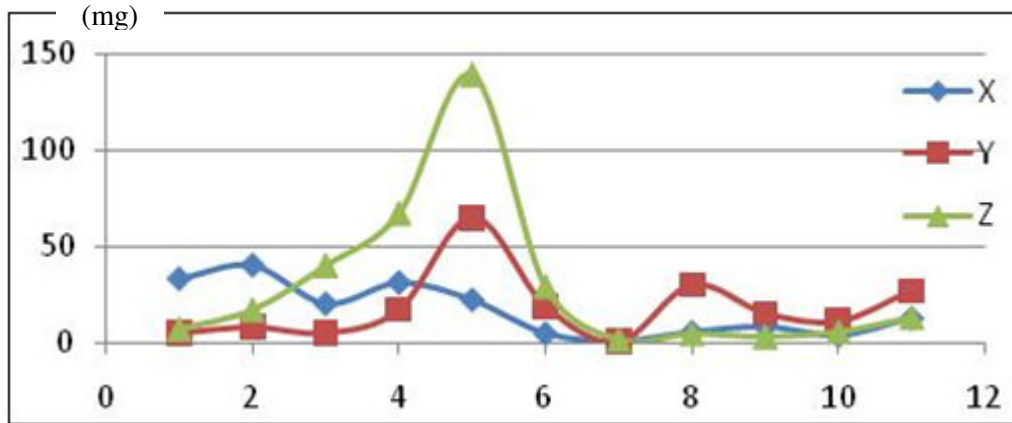
Tablo 8.4: 1-5 noktalarına ait ve devir sayısına bağlı ivme-frekans değerleri

	RPM	Hz	1			2			3			4			5		
ROLANTI	768	25,6	88	20	55	100	24,5	84	65	20	137	73,5	37	187	27,5	7	172,5
	2000	66,6	33	5	7	40	8	17	20	5	40	31	17	67	22	65	138,5
	3000	1000	25	10	8	40	32	17,5	10	3	14	12	5	18	10	6	22
	4000	133,3	2,5	4,8	3	3	4,8	6	2	5	4	4,8	7	7	3	4	5
2.VİTES YOL	2000	66,6	108	107	265	175	218	417	98,5	47	283	96,3	159	394	280	691	361
	3000	100	159	281	115	523	923	675	223	64	700	226	203	763	120	128	389
	4000	133,3	278	31	848	290	736	500	431	98	1195	334	659	1725	472	208	982

Tablo 8.5: 6-11 noktalarına ait ve devir sayısına bağlı ivme-frekans değerleri

	RPM	Hz	6			7			8			9			10			11		
ROLANTI	768	25,6	4	11	37	1,8	2	4,5	1,6	5,5	4,8	1,3	5	5,3	2,8	5	5,3	2	3	6
	2000	66,6	4,5	19	28,5	0,4	0,4	1,5	5,2	30	4,5	8	15,2	3	3,5	11	5,5	12,5	27	13
	3000	1000	2	6,5	3	0,1	0,2	0,3	2	5	1,2	1	2,7	0,6	0,4	3	0,9	3,2	6	3
	4000	133,3	1	2,5	1,2	0,1	0,1	0,4	0,5	0,7	0,8	0,6	0,4	0,7	0,5	1	0,6	1,5	0,5	0,1
2.VİTES YOL	2000	66,6	25	145	44	4,4	4,2	1,5	23	92	11	20	66	6,5	3,5	53,5	3,5	21	31	14
	3000	100	34,5	55	29	3	13	12	20	33	20	30	27	6	16	36	15	26	41	42
	4000	133,3	104	248	102	13	10	18	121	165	28	21	28	4	28	74	7,5	35	90	16

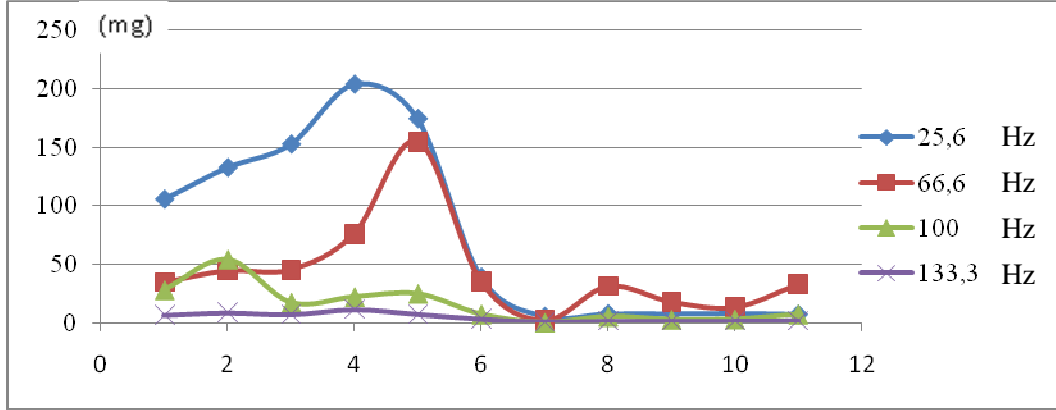
Elde edilen verilerin daha anlamlı hale getirilmesi amacıyla VKKK'nun titreşim datalarının dağılımı grafiklerle incelenmiştir. Grafiklerde her bir veri noktasının X, Y ve Z eksenlerindeki ivme değerleri dikkate alınmıştır. Örneğin 2000 RPM'de, sabit ve boş vitesteki araç üzerinden alınan verilerin grafiği, şekil 8.19 'da verilmiştir.



Şekil 8.19: VKKK üzerindeki 11 noktaya ait 3 eksenli ivme datası (2000 RPM, araç sabit)

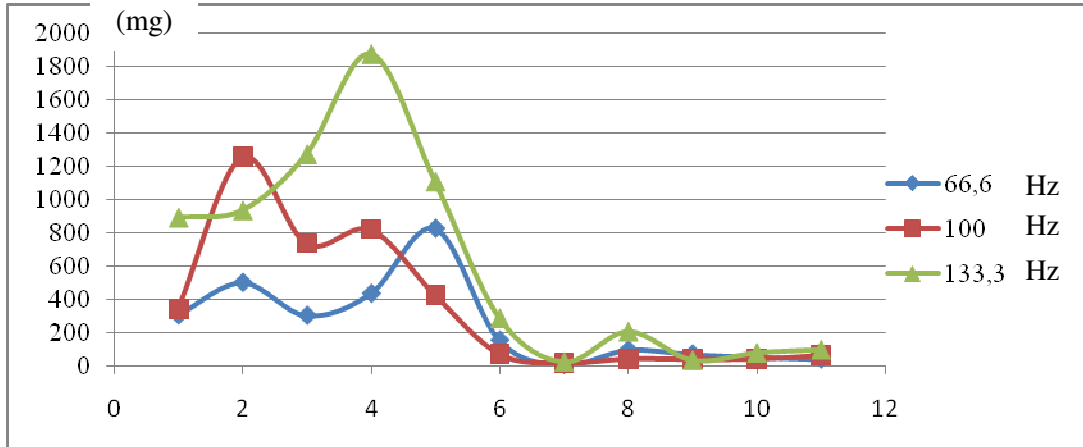
Yukarıdaki grafiğe benzer şekilde, veri toplanan yedi grup için de benzer grafikler elde edilmiştir. Bu veriler dikkate alındığında, her noktadan alınan 3 farklı eksendeki dataların tek bir değere indirgenmesi yani titreşim karakteristiğinin büyüklüğünü ortaya koyma adına daha anlamlı olacağı düşünülmüştür. Böylece her bir veri noktasını

temsilen tek bir veri elde edilmiştir. Bu veriler, RPM 'den frekans düzlemine çevrilerek aracın sabit haldeki ve yoldaki titreşim karakteristikleri ayrı ayrı grafiklere çizdirilmişlerdir. Bu şekilde, bir veri noktasından elde edilen 3 eksenli ivme datalarının vektörel toplamları alınarak bileşke bir büyüklük elde edilmiştir. Aracın duran halde ve farklı RPM 'lerdeki ivme-frekans grafiği, şekil 8.20 'de verilmiştir.



Şekil 8.20: Sabit araçta VKKK üzerindeki 11 noktaya ait farklı devirlerdeki bileşke ivmeler

Yine aynı şekilde şekil 8.21 'de aracın ikinci viteste ve yol üzerindeyken üç farklı devirde VKKK üzerinde ortaya çıkan bileşke ivmeler görülebilmektedir.



Şekil 8.21: 2. Viteste VKKK üzerindeki 11 noktaya ait farklı devirlerdeki bileşke ivmeler

Elde edilen bu veriler dikkate alındığında, titreşim seviyelerinin en yüksek olduğu yerler ilk beş nokta olarak tespit edilmiştir. Bu değerlendirme göstermektedir ki, titreşim seviyelerinin alt seviyelere çekilmesi için yapılacak iyileştirmeler ilk beş nokta üzerinde olmalıdır.

Araştırmadaki bu bölümün esas amacı, sonlu elemanlar çalışmalarında kullanılacak ürün karakteristiklerinin tespit edilmesidir. Bu kapsamda yapılan çalışmaların tamamı sonuçlandırılarak bir sonraki çalışmaya girdi olacak şekilde tamamlanmıştır.

Şimdiye kadar gerçekleştirilen faaliyetler sonucunda oluşan çıktılar şu şekildedir,

- Koruyucu dış zarfın eğilme rijitliği
- İç çelik tellerin eğilme rijitliği
- Koruyucu zarf ve iç çelik telin birlikte oluşturduğu rijitlik
- İç kablo sonlarının (CaEF) stiffness (N/mm) değerleri
- Dış koruyucu zarf sonlarının (CoEF) stiffness (N/mm) değerleri
- Labview yazılımının kullanılması
- Örnek bir otomobil üzerinden titreşim datalarının elde edilmesi
- Elde edilen verilerin derlenmesi ve analizi

9. VİTES KOMUTA KONTROL KABLOSUNUN SONLU ELEMANLAR MODELİNİN KURULMASI VE TİTREŞİM ANALİZLERİ

Çalışmanın son aşamasında, vites kablosunun bilgisayar ortamında kurulan simülasyon modeli ile deneysel yöntemlerle toplanan veriler kullanılarak oluşturulan deneysel modelin karşılaştırılması çalışmaları yapılmıştır. Bu amaçla öncelikle vites kablosuna ait matematiksel model bilgisayar ortamında oluşturularak gerçeğe en yakın geometrik özellikler elde edilmeye çalışılmıştır. Aynı model simülasyon ortamına alınarak bölüm 8 'de elde edilen verilerin kullanılması sağlanmıştır. Böylece vites kablosunun simülasyon ortamında çalışmasını sağlayacak simülasyon modelinin alt yapısı hazır hale getirilmiştir.

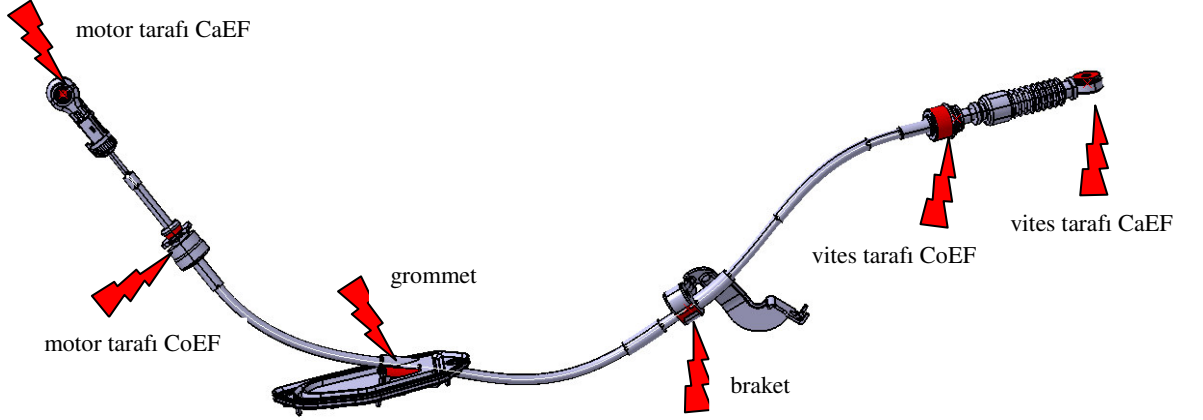
9.1 VKKK 'nun 3 Boyutlu CAD Modelinin Kurulması

Araştırmada deneysel model olarak Toyota'nın Auris model aracının vites kablosu kullanıldığından, çalışmada Toyota Auris'e ait vites kablosunun CAD modeli oluşturulmuştur.

Her bir otomobil ve dolayısıyla her bir vites kablosu kendine has geometrik ve mekanik özelliklere sahip olduğundan çalışmaların doğru model üzerinden yürütülmesi son derece önemlidir. Her farklı vites kablosu araç içindeki farklı boşluklarda uzandığı için sergileyeceği titreşim özellikleri de farklı olacaktır. Tedarikçiler tarafından ana sanayiler için bir vites kablosu tasarlanırken kablonun araç içinden geçeceği koordinatlar veya güzergah ana sanayiler tarafından tedarikçiye mutlaka sağlanmak zorundadır. Çünkü tedarikçiler, bu temin edilen boşluklara uygun olarak vites kablolarını tasarlayabilmektedirler.

Araştırmada kullanılan örnek modelin CAD modelinin oluşturulmasında da Toyota Türkiye'nin işbirliğine ihtiyaç duyulmuştur. Vites kablosunun CAD modelinin oluşturulması ancak ve ancak ana sanayiler tarafından tedarik edilecek bilgiler ile

oluşturulabilmektedir. Toyota Türkiye 'den temin edilen vites kablosuna ait "kritik koordinatlar¹" vites kablosunun CAD modelinin oluşturulması için yeterli bir girdidir. Vites kablolarındaki kritik noktalar şekil 9.1 'de görselleştirilmiştir.



Şekil 9.1: Herhangi bir VKKK üzerindeki kritik noktalar

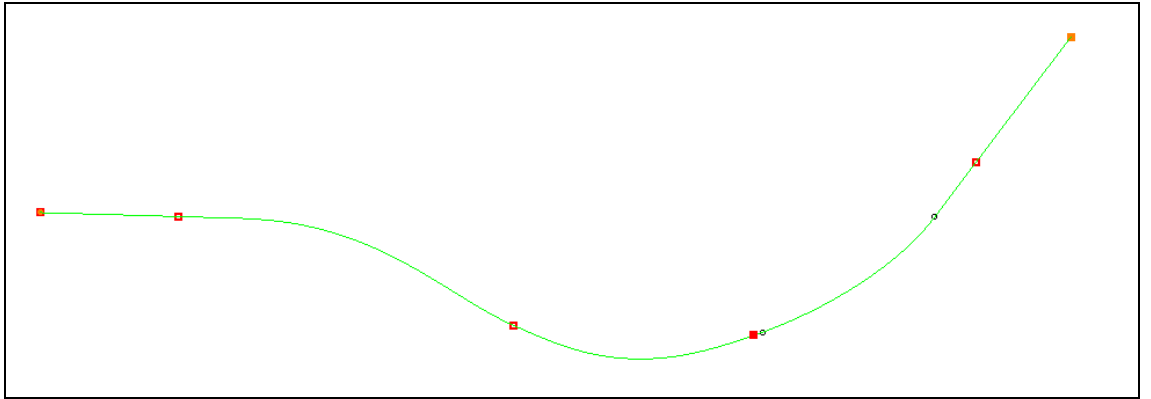
Bu çalışmada Toyota Türkiye 'den alınan Auris marka araca ait kritik koordinatlar şekil 8.13'de verilen araç global koordinat sistemi dikkate alındığında şu şekilde oluşmuştur;

- Motor tarafı CaEF
 - X: 899,6
 - Y: -278,2
 - Z: 1281,7
- Motor tarafı CoEF
 - X: 1020,2
 - Y: -215,4
 - Z: 1281,7

1) Kritik koordinatlar, vites kablosuna ait ve vites kablosunun araç içindeki yönelimini belirleyen noktalardır. Bu noktalar, vites kablosunun araç içine, motora, vites koluna montajını sağlayan koordinatları ifade eder.

- Braket
X: 1317,5
Y: -58
Z: 1181,2
- Grommet
X: 1575,1
Y: -3,6
Z: 1160,6
- Vites tarafı CoEF
X: 1813,2
Y: 0
Z: 1308,4
- Vites tarafı CaEF
X:1916
Y: 0
Z: 1424,7

Kritik koordinatlar elde edildikten sonra projede CAD programı olarak kullanılan Catia®V5 yazılımında kritik noktalar oluşturulmuştur. Daha sonra bu noktalardan geçen 2D curve 'ler çizilerek Toyota Auris model araca ait vites kablosunun CAD modeli oluşturulmuştur. Söz konusu vites kablosunun CAD modeli şekil 9.2 'de verilmiştir.



Şekil 9.2: VKKK CAD model üzerindeki kritik noktalar

9.2 VKKK ‘nun Sonlu Elemanlar Modelinin (CAE) Kurulması

VKKK shift ve select olmak üzere iki farklı tek kablodan oluştuğundan, bunlardan shift kablosu, titreşimi üzerinde taşıyan ve çalışma yüklerine maruz kalan kablodur. Bu sebeple titreşim dataları sadece shift kablo üzerinden toplanmıştır ve vites kablosuna ait sonlu elemanlar modeli yalnızca shift kablo için kurulmuştur. Ayrıca, tüm çalışmalar bu kablo üzerinden ilerlemiştir.

9.2.1 VKKK ‘nun basit sonlu elemanlar modeli

Proje kapsamında kullanılan Nastran sonlu elemanlar yazılımı içerisinde CAE modeline ait ilk çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamda VKKK, ilgili yazılımda beam eleman yani 2D model olarak modellenmiştir. Ancak bu beam eleman, kendi içerisinde de 6 alt sisteme ayrılmış olarak modellenmiştir. 6 elemanı ve bu 6 elemanın VKKK’nun hangi elemanına karşılık geldiğini şekil 9.3 ’de görülebilir. Bu elemanların her biri titreşim seviyelerini değiştirebilecek özelliklere sahip elemanlardır.



Şekil 9.3: Çalışmada kullanılan VKKK üzerindeki kritik noktalar

9.2.2 VKKK ‘nun detaylı sonlu elemanlar modeli

Bir önceki bölümde şekil 9.3 ‘de gösterilen ve 6 farklı elemana ayrılarak basit şekilde sonlu elemanlar modeli oluşturulan vites kablosunun detaylı modellenmesi bu kısımda incelenmiştir. Buna göre, daha önce test ve deneylerle elde edilen veriler, her bir 6 eleman için ayrı ayrı tanımlanıp vites kablosunun sonlu elemanlar modeline yüklenmiş ve vites kablosunun sınır şartları belirlenmiştir.

- Eleman 1

Eleman 1, vites kablosunun vites kolu tarafındaki metal çubuğu ifade eder. Sonlu eleman modelinde iki boyutlu beam eleman olarak modellenmiştir. Tek bir eleman olup sonlu elemanlar modelinde kullanılacak fiziksel özellikleri homojendir. Buna göre sonlu elemanlar modelinde, eleman 1 için kullanılan parametreler şu şekildedir;

- Yoğunluk: 7.850 kg/m^3
- Elastisite modülü: 210.000 N/mm^2
- Poison oranı: 0.3
- Eleman çapı: 5 mm
- Eleman uzunluğu: 170 mm

- Eleman 2

Eleman 2, vites kablosunun vites kolu tarafındaki vites kablosunun araca montajını sağlayan CoEF ‘i ifade eder. CoEF, içinde titreşim sönümlenme özelliği olan elastik malzeme ihtiva eden bir bağlantı parçasıdır. Sonlu elemanlar modelinde tek boyutlu node (düğüm) eleman olarak modellenmiştir. Bu elemana ait fiziksel özellikler önceki bölümlerde deney ve testler ile tespit edildiğinden, sonlu elemanlar modelinde eleman 2 için node eleman olarak tanımlanan vites tarafı CoEF ‘in aksenal yöndeki hareketi serbest bırakılmıştır. Bunun sebebi, iç çelik telin dış koruyucu zarf içinde aksenal yönde serbest hareket edebilmesidir. Ancak aynı node elemana yatay ve dikey yönleri için testler sonucu elde edilen stiffness verileri 5000 N/mm olarak tanımlanmıştır.

- Eleman 3

Eleman 3, vites kablosunun dış koruyucu zarf kısmını temsil eder. Gerçekte birçok farklı malzemenin üst üste sarılması ile üretilen bu elemana bir çeşit kompozit malzeme de denebilir. Farklı malzemelerden oluşmasının yanı sıra, eleman 3 'ün içinden ayrıca iç çelik tel de geçmektedir. Bu sebeple, deneysel çalışmalar esnasında eleman 3 'e ait tespit edilen eğilme rijitliği değerleri iç kablonun etkisini de içermektedir. Söz konusu eleman, sonlu elemanlar modelinde iki boyutlu beam eleman olarak geometrik özelliklerini de ihtiva edecek şekilde modellenmiştir. Eleman 3 'e ait sonlu elemanlar modelinde kullanılan parametreler şu şekildedir;

- Yoğunluk: 2.400 kg/m^3
- Elastisite modülü: 1.140 N/mm^2
- Poison oranı: 0.25
- Eleman çapı: 9 mm
- Eleman uzunluğu: 905 mm

- Eleman 4

Eleman 4, vites kablosunun motor tarafındaki vites kablosunun araca montajını sağlayan CoEF 'i ifade eder. Sonlu elemanlar modelinde tek boyutlu node (düğüm) eleman olarak modellenmiştir. Bu elemana ait fiziksel özellikler önceki bölümlerde deney ve testler ile tespit edildiğinden, buna göre sonlu elemanlar modelinde, eleman 4 için node eleman olarak tanımlanan motor tarafı CoEF 'in aksel yöndeki hareketi serbest bırakılmıştır. Bunun sebebi, iç çelik telin dış koruyucu zarf içinde aksel yönünde serbest hareket edebilmesidir. Ancak aynı node elemana yatay ve dikey yönleri için testler sonucu elde edilen stiffness verileri 5000 N/mm olarak tanımlanmıştır.

- Eleman 5

Eleman 5, vites kablosunun motor tarafındaki metal çubuğu ifade eder. Sonlu eleman modelinde iki boyutlu beam eleman olarak modellenmiştir. Tek bir eleman olup

sonlu elemanlar modelinde kullanılacak fiziksel özellikleri homojendir. Buna göre sonlu elemanlar modelinde, eleman 5 için kullanılan parametreler şu şekildedir;

- Yoğunluk: 7.850 kg/m^3
- Elastisite modülü: 210.000 N/mm^2
- Poison oranı: 0.3
- Çubuk çapı: 6 mm
- Çubuk uzunluğu: 138 mm

- Eleman 6

Eleman 6, vites kablosunun vites kutusuna montajını sağlayan CaEF 'i ifade eder. CaEF, içinde titreşim sönümleme özelliği olan elastik malzeme ihtiva eden bir bağlantı parçasıdır. Sonlu eleman modelinde iki boyutlu beam eleman olarak modellenmiştir. Bu elemana ait fiziksel özellikler önceki bölümlerde deney ve testler ile tespit edildiğinden sonlu elemanlar modelinde, eleman 6 için kullanılan parametreler şu şekildedir;

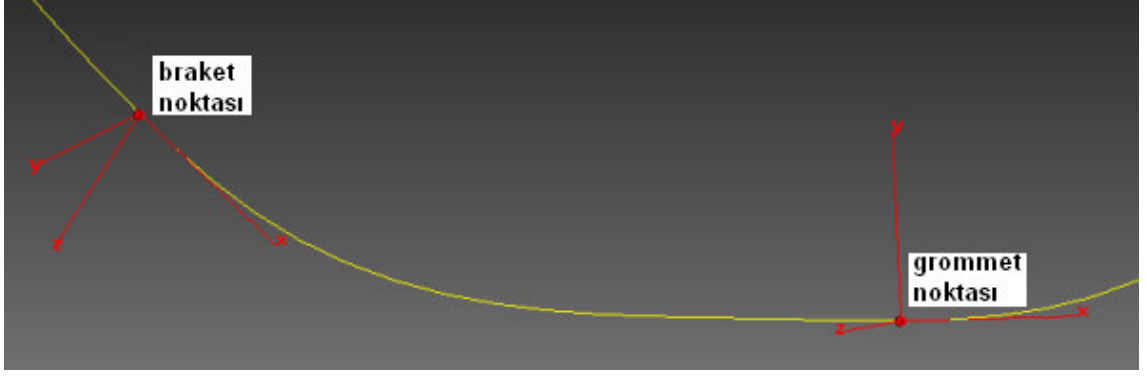
Stiffness_{eksenel}: 40 N/mm

Stiffness_{yatay}: 40 N/mm

Stiffness_{dikey}: 400 N/mm

- Diğer sınır şartları

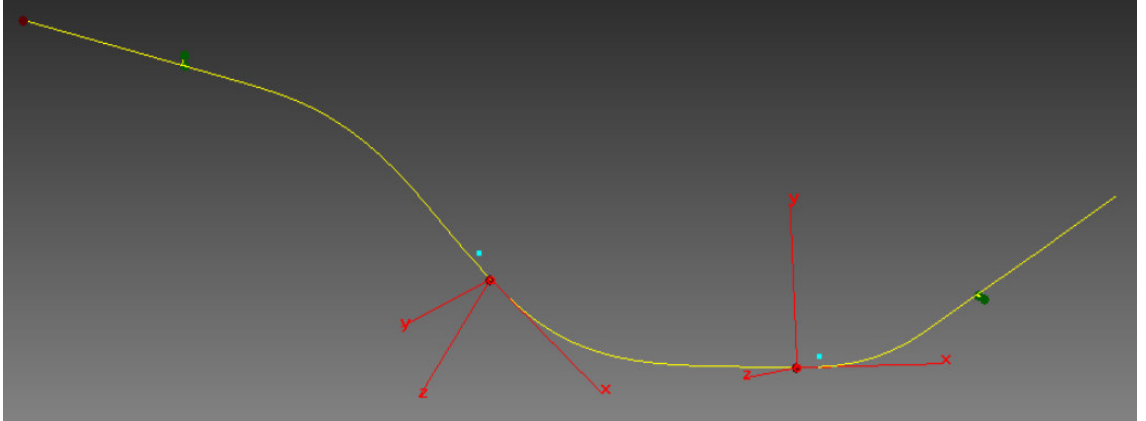
Yukarıda sayılan 6 elemanın detaylarına ek olarak, vites kablosunda bulunan 2 eleman daha vites kablosunun sonlu elemanlar modeline etki etmektedir. Bu elemanlar, vites kablosunun uzanışına yön veren “braket” ve “grommet” parçalarıdır. Bu parçaların etkisi, vites kablosunun hareketini ekstenel yön haricinde kısıtlamasıdır.



Şekil 9.4: VKKK üzerindeki braket ve grommet sınır şartları

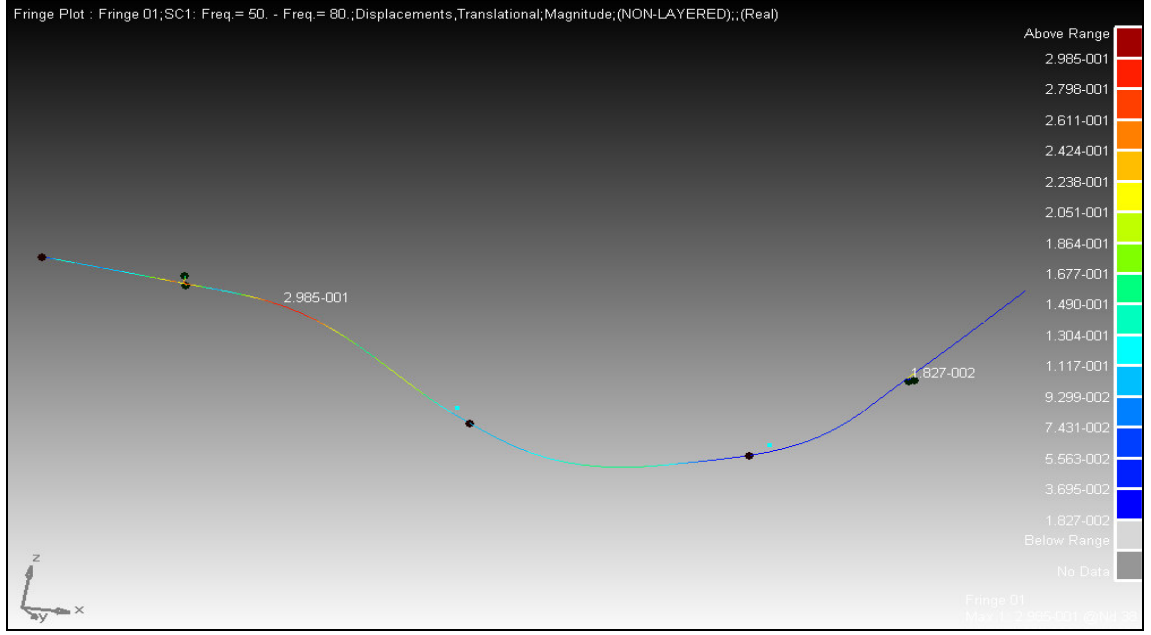
Bu sebeple, sonlu elemanlar modelinde bu etkiyi oluşturmak için bu iki elemanın her birinin merkezine lokal koordinat sistemi tanımlanmış ve böylece o noktalardaki hareketi yatay (y) ve dikey (z) doğrultuda sınırlamıştır. Bu noktalarda sadece eksenel (x) yöndeki harekete serbestlik tanımlanmıştır. Grommet ve braket noktalarının detayları şekil 9.4'de gösterilmiştir.

Bu bölümün tamamlanması ile birlikte vites kablosuna ait oluşturulan CAE modeli şekil 9.5 'de verilmiştir.

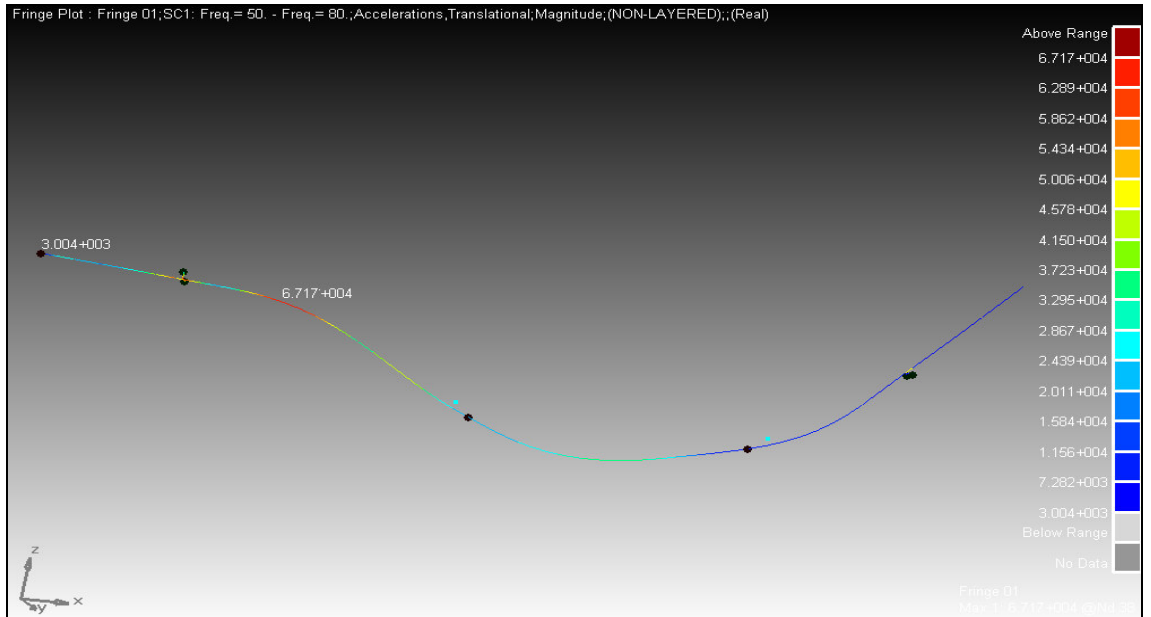


Şekil 9.5: VKKK sonlu elemanlar modeli

Kurulan sonlu elemanlar modelinin bilgisayarda çözümlenmesi sonucunda 2000 RPM 'deki vites kablosuna ait simülasyon sonuçları deplasman cinsinden şekil 9.6 'da, ivme cinsinden ise şekil 9.7'de gösterilmiştir.



Şekil 9.6: 2000RPM'deki VKKK'nun deplasman cinsinden SEM sonuçları



Şekil 9.7: 2000RPM'deki VKKK'nun ivme cinsinden SEM sonuçları

Simülasyon çalışmalarında vites kablosunun titreşim cevaplarının tespit edilmesi amacıyla analizin yapılacağı frekans aralıkları, motor devir sayılarına karşılık gelecek frekans aralığını ihtiva edecek şekilde kullanılmıştır.

10. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Çalışmanın bu bölümünde, daha önce araç üzerinden elde edilen titreşim datalarının ilgili kısımlarının sonlu elemanlar programında vites kablosuna yüklenen ivme dataları incelenmiştir. Pratikte, motor kaynaklı titreşimin vites kablosu ile ilk ve tek temas noktası vites kablosunun motor tarafındaki CaEF’i dir. Bu sebeple VKKK için input oluşturacak tek nokta motor tarafındaki CaEF ‘dir. Bu bilgiler dikkate alındığında VKKK sonlu elemanlar modeline ilk ivme yüklemesi 2000 RPM’ de (66,6 Hz) CaEF elemanından yapılmıştır. 2000 RPM ’de 3 eksenle uygulanan ivme dataları tablo 10.1’de verilmiş ve değerleri mg^1 olarak sunulmuştur.

Tablo 10.1: 2000 RPM ’de VKKK’nun 3 eksenledeki input ivmeleri

2000 RPM (66,6 Hz)	INPUT CaEF
X	108 mg
Y	107 mg
Z	265 mg
Bileşke Büyükük	306 mg

VKKK’nun 11 farklı noktasından ivme dataları toplandığından bunlardan sadece 1 numaralı ölçüm noktası CaEF input datalarıdır. Diğer veri noktalarının vites kablosu üzerinde tekabül eden yerler şekil 8.12 ‘de daha önce verilmiştir.

Bu sonuçlara göre 2000 RPM ’de 1 numaralı nokta üzerinden uygulanan ivme datalarının VKKK üzerindeki 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9 ve 10 numaralı ölçüm noktalarındaki titreşim cevapları² tablo 10.2 ’de verilmiştir. Tablodaki veriler, her bir ölçüm noktasındaki üç eksenli ivmelerin bileşke büyüklüğünün dikkate alınması ile oluşturulmuştur.

1) $1 \text{ mg} = 0,01 \text{ m/s}^2 = 10 \text{ mm/s}^2$

2) Tablo 8.2, 8.3 ve 8.4 ‘deki değerlerin tümü ”mg” biriminde verilmiştir.

Bununla birlikte, VKKK 'ndaki 5 numaralı ölçüm noktası gerçekte metal bir braket olduğundan kurulan sonlu elemanlar modelinde problem ile karşılaşmıştır. Braket, simülasyon modeli üzerinde sabit bir nokta olarak tanımlandığından simülasyon sonuçları ile uyum göstermesi beklenmemiştir. Ayrıca braket parçası, VKKK'nda oluşan titreşimlerle doğrudan ilgili olmadığından bundan sonraki analizlerde dikkate alınmamıştır.

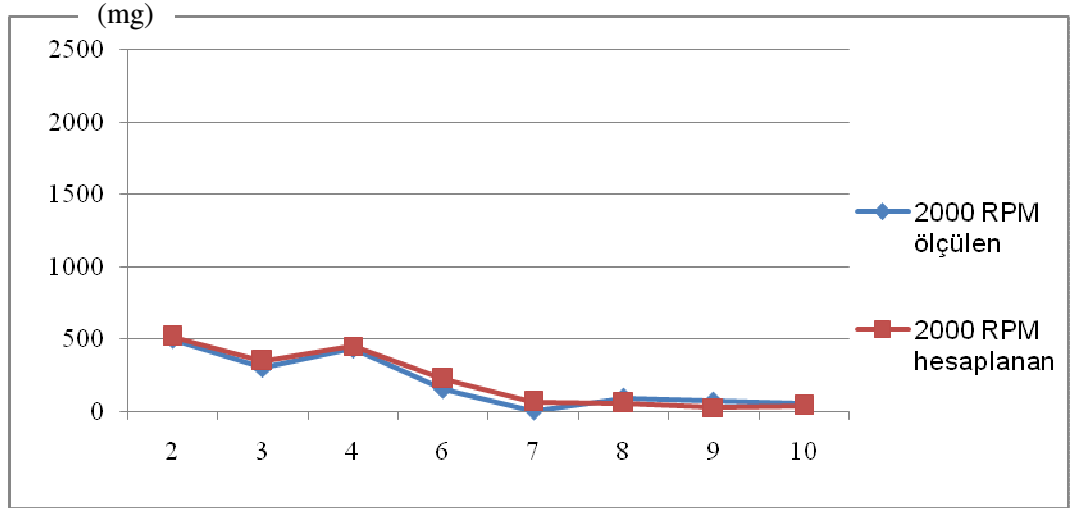
5 numaralı ölçüm noktasına ek olarak, 11 numaralı ölçüm noktası olan vites topuzu üzerindeki titreşim verileri de analizlerde dikkate alınmamıştır. Bunun sebebi, VKKK haricinde vites sistemini oluşturan bir çok parçanın analizlere dahil edilmesindeki zorluklar ve bu harici parçaların VKKK'nun titreşim karakteristiği ile doğrudan ilgili olmamasıdır.

Tablo 10.2: 2000 RPM 'de VKKK'nun ortalama (magnitude) output ivmeleri

2000 RPM	INPUT CaEF	2.nokta		3.nokta		4.nokta		6.nokta		7.nokta		8.nokta		9.nokta		10.nokta	
		ölçülen	hesaplanan	ölçülen	hesaplanan	ölçülen	hesaplanan	ölçülen	hesaplanan	ölçülen	hesaplanan	ölçülen	hesaplanan	ölçülen	hesaplanan	ölçülen	hesaplanan
66,6 Hz	1																
X	108	175		99		96		25		4		23		20		4	
Y	107	218		47		159		145		4		92		66		54	
Z	265	417		283		394		44		2		11		7		4	
Bileşke Büyüklik (mg)	306	502	520	303	352	436	453	154	226	6	68	95	60	69	28	54	43

Vites kablosu sonlu eleman simülasyonunda 2000 RPM 'de elde edilen sonuçlara göre, ölçüm yapılan deneysel model ile sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplanan değerler kıyaslandığında, sonuçlar arasında ortalama % 67 oranında uyumluluk tespit edilmiştir. Bu uyumun vites kablosu üzerinde bulunan bazı veri noktalarında ise % 97 'yi aştığı tespit edilmiştir.

2000 RPM 'deki deneysel model ile hesaplanan değerler arasındaki uyum şekil 10.1'de grafik olarak verilmiştir.



Şekil 10.1: VKKK 'nun 2000 RPM' de ölçülen ve hesaplanan ivmelerin uyumluluk değerleri

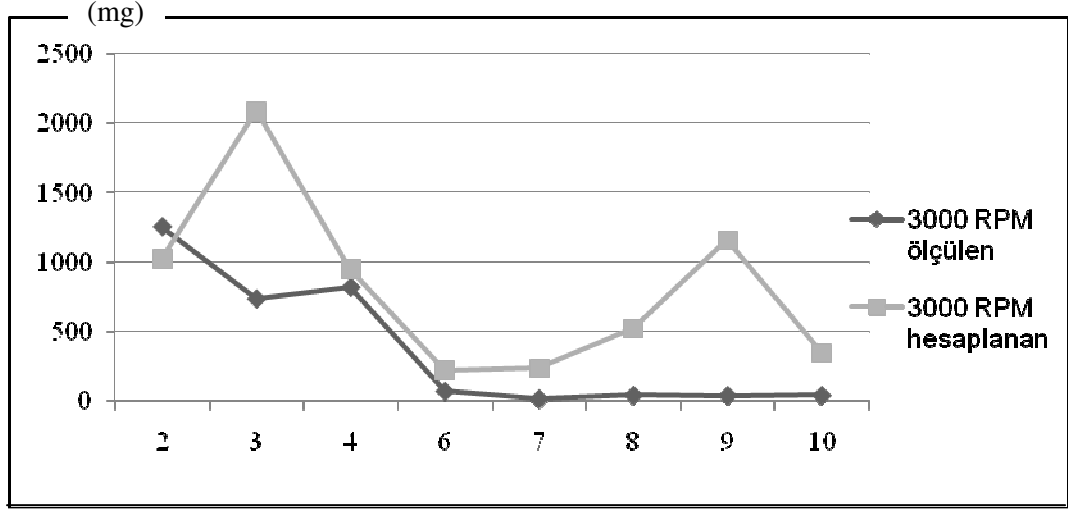
2000 RPM 'de kullanılan vites kablosuna ait aynı sonlu elemanlar modeli, 3000 RPM analizlerinde de kullanılarak vites kablosunun sonlu elemanlar analizleri tamamlanmıştır. Bu sonuçlara göre 3000 RPM 'de elde edilen sonuçlar tablo 10.3 'de verilmiştir.

Tablo 10.3: 3000 RPM 'de VKKK'nun ortalama (magnitude) output ivmeleri

3000 RPM	INPUT CaEF	ölçülen		hesaplanan		ölçülen		hesaplanan		ölçülen		hesaplanan		ölçülen		hesaplanan	
		2.nokta	3.nokta	4.nokta	6.nokta	7.nokta	8.nokta	9.nokta	10.nokta								
100 Hz	1																
X	159	523	223	226	35	3	20	30	16								
Y	281	923	64	203	55	13	33	27	36								
Z	115	675	700	763	29	12	20	6	15								
Bileşke Büyükük (mg)	343	1257	1.025	737	2.088	821	950	71	220	18	237	43	520	41	1.160	42	345

VKKK 'nda 3000 RPM 'de elde edilen sonuçlara göre, ölçüm yapılan deneysel model ile sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplanan değerler kıyaslandığında, sonuçlar arasında ortalama % 34 oranında uyumluluk tespit edilmiştir. Bu uyum, bazı noktalarda % 85' i aşmaktadır.

3000 RPM 'deki deneysel model ile hesaplanan değerler arasındaki uyum Şekil 10.2'de grafik olarak verilmiştir.



Şekil 10.2: VKKK 'nun 3000 RPM' de ölçülen ve hesaplanan ivmelerin uyumluluk değerleri

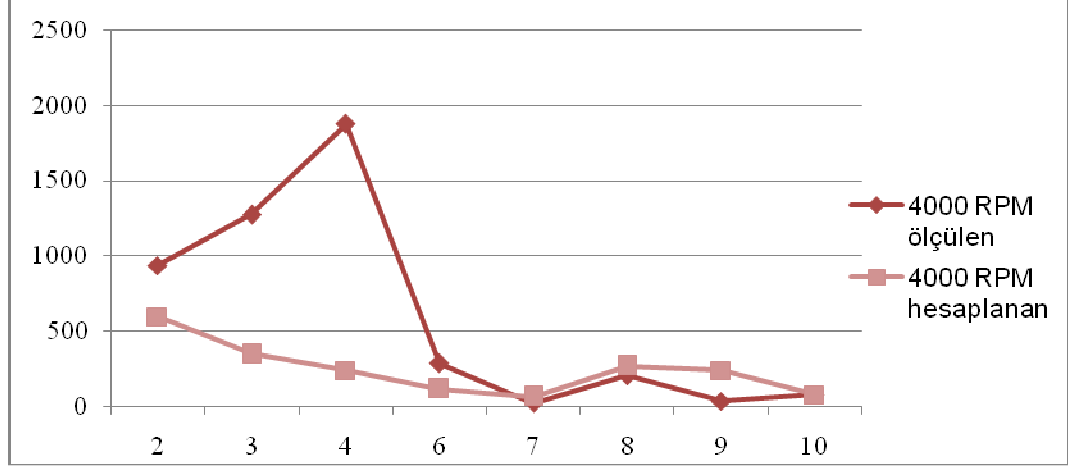
Sonlu elemanlar çalışmasının son aşamasında son olarak vites kablosunun 4000 RPM 'deki titreşim davranışları analiz edilmiştir. Bu sonuçlara göre 4000 RPM 'de elde edilen sonuçlar tablo 10.4 'de verilmiştir.

Tablo 10.4: 4000 RPM' de VKKK'nun ortalama (magnitude) output ivmeleri

4000 RPM	INPUT CaEF	ölçülen		hesaplanan		ölçülen		hesaplanan		ölçülen		hesaplanan		ölçülen		hesaplanan	
		ölçülen	hesaplanan	ölçülen	hesaplanan	ölçülen	hesaplanan	ölçülen	hesaplanan	ölçülen	hesaplanan	ölçülen	hesaplanan				
133,3 Hz	1	2.nokta		3.nokta		4.nokta		6.nokta		7.nokta		8.nokta		9.nokta		10.nokta	
X	278	290		431		334		104		13		121		21		28	
Y	31	736		98		659		248		10		165		28		74	
Z	848	500		1195		1725		102		18		28		4		8	
Bileşke Büyüklük (mg)	893	936	595	1274	348	1877	240	288	117	24	64	207	270	35	239	80	77

VKKK 'nda 4000 RPM 'de elde edilen sonuçlara göre, ölçüm yapılan deneysel model ile sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplanan değerler kıyaslandığında, sonuçlar arasında ortalama % 36 oranında uyumluluk tespit edilmiştir. Bu uyum, bazı noktalarda % 95' i aşmaktadır.

4000 RPM 'deki deneysel model ile hesaplanan değerler arasındaki uyum Şekil 10.3'de grafik olarak verilmiştir.



Şekil 10.3: VKKK 'nun 4000 RPM 'de ölçülen ve hesaplanan ivmelerin uyumluluk değerleri

Sonuç olarak, deneysel veriler ile sonlu eleman analizinden elde edilen veriler 2000 RPM, 3000 RPM ve 4000 RPM için karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, en uyumlu sonuçların 2000 RPM 'de olduğu tespit edilmiştir. Devir sayısı yükseldikçe sisteme etki eden bozucu parametrelerin artması nedeni ile deneysel sonuçlarla sonlu elemanlar sonuçları arasında farklılıklar artış göstermiştir. 2000 RPM 'deki uyumluluklar tablo 10.5 'de verilmiştir.

Tablo 10.5: VKKK'nun simülasyon ve deneysel sonuçlarının uyumluluk oranları

2000 RPM	INPUT CaEF	ölçülen		hesaplanan		ölçülen		hesaplanan		ölçülen		hesaplanan		ölçülen		hesaplanan	
		2.nokta	3.nokta	4.nokta	6.nokta	7.nokta	8.nokta	9.nokta	10.nokta								
66,6 Hz	1	502	520	303	352	436	453	154	226	6	68	95	60	69	28	54	43
Bileşke Büyükölük (mg)	306	502	520	303	352	436	453	154	226	6	68	95	60	69	28	54	43
UYUMLULUK		97%		86%		96%		68%		9%		63%		40%		79%	

KAYNAKLAR DİZİNİ

- 1- **BARBIERI, N., HONORATO, O., BARBIERI, R. 2002.** Dynamical analysis of transmission line cables part-1, *Brasil*, 18 (2004) 659–669
- 2- **BARBIERI, N., HONORATO, O., BARBIERI, R. 2002.** Dynamical analysis of transmission line cables part-2, *Brasil*, 18 (2004) 671–681
- 3- **BARBIERI, N., HONORATO, O., BARBIERI, R. 2007.** Dynamical analysis of transmission line cables part-3, *Brasil*, 22 (2008) 992–1007
- 4- **CAMPBELL, B., GOVINDSWAMY, K., DIEMER, P., MORRISSET, D., DROSTE, T., 2005.** Shifter Cable Vibration Transfer and Kinematic Simulation: Case Study,
- 5- **ELATA, D., ESHKENAZY, R., WEISS, M.P., 2003.** The mechanical behavior of a wire rope with an independent wire rope core, *Israel*, 41 (2004) 1157–1172
- 6- **GHOREISHI, S. R., MESSENGER, T., CARTDRAUD, P., DAVIES, P., 2007** Validity and limitations of linear analytical models for steel wire strands under axial loading, using a 3D FE model, *France*, 49 (2007) 1251–1261
- 7- **GIGLIO, M., MANES, A., 2004.** Life prediction of a wire rope subjected to axial and bending loads, *Italy*, 12 (2005) 549–568
- 8- **JIANG, W.G., HENSHALL, J.L., WALTON, J.M., 1998.** A concise finite element model for three-layered straight wire rope strand, *UK*, 42 (2000) 63-86
- 9- **JUN, M.A., SHI-RONG, G.E., DE-KUN, Z., 2008.** Distribution of wire deformation within strands of wire ropes, *China*, 18 (2008) 0475–0478
- 10- **KIM, N. S., JEONG, W., 2004.** Development of Cable-Exciting System for Evaluating Modal Damping of Stay Cables, *Republic of Korea*, DOI: 10.1177/1077546305045026
- 11- **LEIB, N., NACIVET, S., THOUVEREZ, F. 2009.** Experimental And Numerical Study of A Vibro-impact Phenomenon in a Gearshift Cable. *Journal of Sound and Vibration, France*, p. 2, 329 (2010) 289–301
- 12- **MITCHELL, N., 2003.** Mechanical and magnetic load effects in Nb3Sn cable-in-conduit conductors, *Japan*, 43 (2003) 255–270
- 13- **NAWROCKI, A., LABROSSE, M., 1999.** A Finite element model for simple straight wire rope strands, *USA*, 77 (2000) 345-359
- 14- **NONO, K., GOTOH, T., WAKITA, M. 2006.** The Elastic Analysis of the Construction with Non-linear Stiffness Property and Its Application to the Design, *Japane*, p. 3
- 15- **OTRIN, M., BOLTEZAR, M., 2006.** Damped Lateral Vibration of Straight and Curved Cables with no axial pre load, *Slovenia*, 300 (2007) 676–694
- 16- **OTRIN, M., BOLTEZAR, M., 2009.** On the modeling of vibration transmission over a spatially curved cable with casing, *Slovenia*, 325 (2009) 798–815
- 17- **VIELSACK, P., 1999.** Lateral bending vibrations of a beam with small pretwist, *Germany*, 22 (2000) 691–698
- 18- **VOLOKH, K., VILNAY, O., AVERBUH, I., 2003.** Dynamics of Cable Structures, 10.1061/(ASCE)0733-9399(2003)129:2(175)

- 19- **ZHU, Z.H., MEGUID, S.A. 2006.** Nonlinear FE-based investigation of flexural damping of slacking wire cables, Canada, 44 (2007) 5122–5132
- 20- **TAYLOR, J.L. 2003.** The Vibration Analysis Handbook, USA, p.78
- 21- **MOBLEY, R.K., 1999.** Vibration Fundamentals, Butterworth–Heinemann, USA, p. 53
- 22- **WHITE, G.D. 1995.** Introduction to Machine Vibration, DLI Eng.Corp., USA, p. 25-47
- 23- **ARKAN, M.A.S.,** Sonlu Elemanlar Metodunun Mühendislikte Uygulamaları, ODTÜ Makine Mühendisliği Bölümü, Türkiye
- 24- **Anonim, 1998.** FICOTRIAD SA, 1999. Spain
- 25- **Anonim, 1998.** FICOTRIAD SA, 1998. Spain
- 26- **Anonim, 2008.** FICOTRIAD SA, 2008. Spain
- 27- **Anonim, 2008.** FICOSA Otomotiv, 2008. Test Raporları, Bursa
- 28- **Anonim, 2009.** FICOSA Otomotiv, 2009. NVH laboratuvarı, Bursa
- 29- **Anonim, 2009.** FICOSA Otomotiv, 2009. Test Raporları, Bursa
- 30- **Anonim, 2009.** FICOTRIAD SA, 2009. Spain
- 31- **Anonim, 2010.** FICOTRIAD SA, 2010. Technical dossier for shifter cables, Spain, p. 3-4-5-6.
- 32- **Anonim, 2010.** FICOSA Otomotiv, 2010. Cable vibration magnification report, Bursa, s. 8-9.
- 33- **Anonim, 2010.** FICOTRIAD SA, 2010. Spain
- 34- **Anonim, 2007.** <http://www.forum-auto.de>, Erişim Tarihi: 22.11.2010. Konu: Vites Kutusu Mekanizması
- 35- **Anonim, 2007.** <http://tr.wikipedia.org>, Erişim Tarihi: 24.11.2010. Konu: Otomobilin tarihi süreci
- 36- **Anonim, 2007.** <http://www.hi-lex.co.jp>, Erişim Tarihi: 22.11.2010. Konu: Transmisyon Mekanizması
- 37- **Anonim, 2008.** <http://www.pcb.com>, Erişim Tarihi: 27.12.2010. Konu: İvmeölçer Özellikleri
- 38- **Anonim, 2008.** <http://www.ni.com>, Erişim Tarihi: 27.12.2010. Konu: Veri Toplama Sistemleri
- 39- **Anonim, 2008.** <http://designhandbook.ficosa.com>, Erişim Tarihi: 02.12.2010. Konu: Vites Kablosunun Temel Fonksiyonları
- 40- **Anonim, 2008.** <http://designhandbook.ficosa.com>, Erişim Tarihi: 13.10.2010. Konu: Conduit İç Yapısı
- 41- **Anonim, 2009.** <http://www.bilimveteknoloji.info/vites-kutusu>, Erişim Tarihi: 12.10.2010. Konu: Vites Kutusu
- 42- **Anonim, 2009.** <http://www.burncrete.co.za>, Erişim Tarihi: 08.07.2010. Konu: Çelik Halatlar
- 43- **Anonim, 2010.** <http://www.ni.com/labview/signalexpress>, Erişim Tarihi: 28.12.2010. Konu: Veri Toplama ve İşleme Yazılımı

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	:Hüseyin KARABULUT
Doğum Yeri ve Tarihi	:BURSA / 15 Mart 1982
Yabancı Dili	:İngilizce / İtalyanca
Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)	
Lise	:BURSA Süleyman Çelebi Lisesi-1999
Lisans	:Sakarya Üniversitesi / Makine Mühendisliği-2005
Yüksek Lisans	:Sakarya Üniversitesi / Sosyal Bilimler Enstitüsü/ İşletme Anabilim Dalı-2007
Yüksek Lisans	:Uludağ Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Makina Mühendisliği Anabilim Dalı-2011
Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl	:Haskalıp Makina A.Ş. / 2005-2007 Ficosa Otomotiv A.Ş. / 2007-2011
İletişim	:0535 623 9392 huseyin.karabulut@ficosa.com huseyinkarabulut@gmail.com
Yayınlar	: SANTEZ Projesi Sonuç Raporu