

ÜÇ BOYUTLU EGZOZ TİTREŞİM MODELİ

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Celalettin Cem KOYUNCU
(503990086011)**

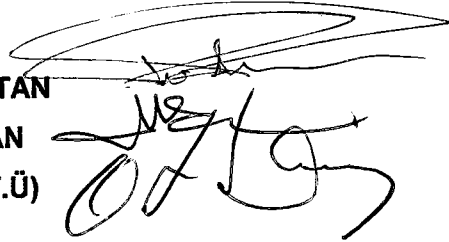
104129 **104129**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Ocak 2001
Tezin Savunulduğu Tarih : 7 Şubat 2001**

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Ali Güvenç GÖKTAN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Metin ERGENEMAN

Prof.Dr. Orhan DENİZ (Y.T.Ü)



OCAK 2001

ÖNSÖZ

Titreşimlere dayanıklılık egzoz sisteminin sağlaması gereken önemli kriterlerden biridir. Egzoz sisteminin yol pürüzlülüğünden kaynaklanan titreşimlere verdiği cevaplar günümüzde test yollarında kaydedilmektedir. Daha sonra aynı değerler laboratuvar ortamında elde edilmeye çalışılmaktadır.

Bu çalışmada laboratuvar ortamında ve test yollarında yapılan testlere olan ihtiyacı azaltmak için üç boyutlu bir egzoz titreşim sistemi modellenmiş ve bu modele ait hareket ve moment denklemleri çözülerek testlerde yapılan ölçüm sonuçları ile modelin vermiş olduğu sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tez çalışmam boyunca bana her zaman destek olan ve yol gösteren hocam Sayın Prof.Dr Ali Güvenç GÖKTAN'a ve benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme teşekkürü borç bilirim.

Ocak 2001

Celalettin Cem Koyuncu

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xvii
SUMMARY	xx
1. GİRİŞ	1
1.1 Yol Pürüzlülüğünün Tanımlanması	1
1.2 Yol Pürüzlülüğünün Nedenleri	2
2. YOL PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN MATEMATİKSEL KAVRANMASI	2
2.1 Harmonik Fonksiyon	3
2.2 Periyodik Fonksiyon	5
2.3 Rastlantısal Fonksiyon	6
2.4 Ortalama Değer	8
2.5 Karesel Ortalama Değer	9
2.6 Standart Sapma	9
2.7 Spektrum Yoğunluğu	10
2.8 Yol Pürüzlülüğünün Spektrum Yoğunluğu	12
3. YOL PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ÖLÇÜLMESİ	17
3.1. Ölçüm sistemlerine Genel Bir Bakış	17
3.1.1 Yüzey profilini direk olarak ölçen Sistemler	18
3.1.2 Taşıtın yol pürüzlülüğüne cevabını ölçen sistemler	18
3.1.3 Kuvvet-hareket ölçümlerini kullanan sistemler	19
3.2. Yol Pürüzlülüğünün Taşıtlara Etkilerini Belirlemek İçin yapılan testler	24
3.2.1 Test yollarında yapılan testler	24
3.2.2 Laboratuvar ortamında yapılan testler	28
3.2.3 Laboratuvar ortamında yapılan testlerle test yollarında yapılan testlerin integrasyonu	33

3.3 Laboratuvar Ve Test Yollarında Yapılan Testlerde Kullanılan Ölçüm Cihazları	34
3.3.1 Strain-gageler	34
3.3.2 Kuvvet kaptörleri	35
3.3.3 Data sınıflandırma sistemleri	38
4. TAŞIT TİTREŞİM MODELLERİ VE HAREKET DENKLEMLERİ	39
4.1 Taşıt Titreşimleri	39
4.2 Tek Kütleli Bir Serbestlik Dereceli Taşıt Titreşim Modeli	41
4.3 Üç Kütleli Üç Serbestlik Dereceli Taşıt Titreşim Modeli	43
4.4 İki Boyutlu Tek İzli Taşıt Titreşim Modeli	45
5. ÜÇ BOYUTLU EGZoz TİTREŞİM MODELİ	53
5.1 Taşıt Gövdesinin Hareket ve Moment Denklemleri	53
5.1.1 Taşıt gövdesinin hareket denklemleri	53
5.1.2 Taşıt gövdesinin moment denklemleri	63
5.2 Aksların Hareket ve Moment Denklemleri	71
5.2.1 Aksların hareket denklemleri	71
5.2.2 Aksların yalpa moment denklemi	73
5.3 Motorun Hareket ve Moment Denklemleri	79
5.3.1 Motorun hareket denklemi	79
5.3.2 Motorun kafa vurma moment denklemi	90
5.3.3 Motorun yalpa moment denklemi	95
5.4 Birinci Egzoz Parçasının Hareket ve Moment Denklemleri	99
5.4.1 Birinci egzoz parçasının hareket denklemleri	99
5.4.2 Birinci egzoz parçasının kafa vurma moment denklemi	108
5.4.3 Birinci egzoz parçasının yalpa moment denklemi	113
5.5 İkinci Egzoz Parçasının Hareket ve Moment Denklemleri	118
5.5.1 İkinci egzoz parçasının hareket denklemi	118
5.5.2 İkinci egzoz parçasının kafa vurma moment denklemi	128
5.5.3 İkinci egzoz parçasının yalpa moment denklemi	132

5.6 Üçüncü Egzoz Parçasının Hareket ve Moment Denklemleri	137
5.6.1 Üçüncü egzoz parçasının hareket denklemi	137
5.6.2 Üçüncü egzoz parçasının kafa vurma moment denklemi	145
5.6.3 Üçüncü egzoz parçasının yalpa moment denklemi	149
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	
6.1 Literatürdeki Modelle Yapılan Karşılaştırma	154
6.2 Tek İzli İki Boyutlu Taşıt Titreşim Modeli İle Yapılan Karşılaştırma	156
6.3 Ölçüm Sonuçları İle Yapılan Karşılaştırma	157
KAYNAKLAR	163
EKLER	
EK A Üç Boyutlu Egzoz Titreşim Modeline Ait Matrisler	164
EK B Ölçüm Sonuçları ile Karşılaştırılan Üç Boyutlu Egzoz Titreşimine Ait Veriler	178
ÖZGEÇMİŞ	180

KISALTMALAR

DKÖT: Dinamik Kuvvet Ölçüm Taşıtı



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Yol Pürüzlülüğü Spektrum Yoğunluğu İçin Ortalama Değerler	15
Tablo 2.2 Yol Pürüzlülüğü Sınıflandırma Tasarısı	16



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 Sinüs eğrisi şeklindeki yol pürüzlülüğü	3
Şekil 2.2 Periyodik fonksiyon	5
Şekil 2.3 Ortalama değer	8
Şekil 2.4 Varyans (standart sapma)	10
Şekil 2.5 Yol pürüzlülüğü ölçüm sonuçları	13
Şekil 2.6 Yol pürüzlülüğü spektrum yoğunluğu gösterimi	14
Şekil 3.1 DKÖT 37X12 5012 16.5 LT tipindeki radyal tabanlı lastik ile	20
Şekil 3.2 DKÖT'nin aks sonu	21
Şekil 3.3 DKÖT'nin aks sonunun çeyrek taşıt modeli olarak gösterimi	22
Şekil 3.4 Basit yay ve sönüm elemanları ile temsil edilen DKÖT'nin aks sonu	23
Şekil 3.5 Bir test yolunun planı	26
Şekil 3.6 Ford Branco	27
Şekil 3.7 Ford Branco'nun bazı bölgelerindeki strain-gageler	28
Şekil 3.8 Tipik bir çok akslı test donanımı	29
Şekil 3.9 Egzoz sistemini test eden bir deney standı	30
Şekil 3.10 Test yollarında elde edilen datanın deney standında kullanılması	32
Şekil 3.11 Bir taşıt üzerindeki kuvvet kaptörü	36
Şekil 3.12 Çeşitli boylardaki kuvvet kaptörleri	37
Şekil 3.13 Data sınıflandırma sistemi	38
Şekil 4.1 Taşıt gövdesi üzerindeki titreşimler	40
Şekil 4.2 Taşıt titreşim sisteminin blok şeması	
Şekil 4.3 Tek kütleli taşıt titreşim sistemi	41
Şekil 4.4 Tek kütleli taşıt titreşim sistemine etki eden kuvvetleri	42
Şekil 4.5 Üç kütleli üç serbestlik dereceli taşıt titreşim sistemi	43

Şekil 4.6	İki boyutlu tek izli taşıt titreşim modeli	45
Şekil 4.7	İki boyutlu tek izli taşıt titreşim modeline etki eden kuvvetler	47
Şekil 4.8	Kafa vurma hareketinin simulasyonu	49
Şekil 4.9	Kafa vurma hareketi ile meydana gelen deplasmanlar.	49
Şekil 5.1	Üç boyutlu egzoz titreşim modeli	54
Şekil 5.2	Üç boyutlu egzoz titreşim modeline ait uzunluklar	55
Şekil 5.3	Taşıt gövdesinin z_2 deplasmanının dağılımı	59
Şekil 5.4	Motorun üstten görünüşü	82
Şekil 5.5	Motorun taşıt gövdesinin üstten görünüşündeki konumu	84
Şekil 5.6	Birinci egzoz parçasının üstten görünüşü	102
Şekil 5.7	İkinci egzoz parçasının üstten görünüşü	121
Şekil 5.8	Üçüncü egzoz parçasının üstten görünüşü	140
Şekil 6.1	Literatürdeki Model	154
Şekil 6.2	Literatürdeki model ile yapılan karşılaştırma	155
Şekil 6.3	Tek izli iki boyutlu taşıt titreşim modeli	156
Şekil 6.4	Tek izli iki boyutlu taşıt titreşim modeli ile yapılan karşılaştırma	157
Şekil 6.5	Taşıta uyarı verilmesi	158
Şekil 6.6	Ölçüm sonuçları ile üç boyutlu modelin karşılaştırılması	159
Şekil 6.7	Ölçüm sonuçları ile üç boyutlu modelin karşılaştırılması	160
Şekil 6.8	Ölçüm sonuçları ile üç boyutlu modelin karşılaştırılması	161
Şekil 6.9	Ölçüm sonuçları ile üç boyutlu modelin karşılaştırılması	162

SEMBOL LİSTESİ

m_{22} : Taşıt gövdesinin kütlesi

m_M : Motorun kütlesi

m_{e1} : Birinci egzoz parçasının kütlesi

m_{e2} : İkinci egzoz parçasının kütlesi

m_{e3} : Üçüncü egzoz parçasının kütlesi

J_{MY} : Motorun X_M eksenindeki atalet momenti

J_{e1Y} : Birinci egzoz parçasının X_{e1} eksenine göre atalet momenti

J_{e2Y} : İkinci egzoz parçasının X_{e2} eksenine göre atalet momenti

J_{e3Y} : Üçüncü egzoz parçasının X_{e2} eksenine göre atalet momenti

J_{MX} : Motorun Y_M eksenine göre atalet momenti

J_{e1X} : Birinci egzoz parçasının Y_{e1} eksenine göre atalet momenti

J_{e2X} : İkinci egzoz parçasının Y_{e2} eksenine göre atalet momenti

J_{e3X} : Üçüncü egzoz parçasının Y_{e3} eksenine göre atalet momenti

z_2 : Taşıt gövdesinin deplasmanı

z_{2V} : Ön sağ aks ile ön sol aks arasındaki deplasman

z_{2H} : Arka sağ aks ile arka sol aks arasındaki deplasman

z_{2Vr} : Ön sağ aks üzerindeki deplasman

z_{2Vl} : Ön sol aks üzerindeki deplasman

z_{2Hr} : Arka sağ aks üzerindeki deplasman

z_{2Hl} : Arka sol aks üzerindeki deplasman

z_{1V} : Ön sağ aksın deplasmanı

z_{1Vl} : Ön sol aksın deplasmanı

z_{1Hr} : Arka sağ aksın deplasmanı

z_{1Hl} : Arka sol aksın deplasmanı

z_M : Motorun ağırlık merkezinin deplasmanı

z_{M1} : Motor üzerindeki birinci noktanın deplasmanı

z_{M2} : Motor üzerindeki ikincinin noktanın deplasmanı

z_{M3} : Motor üzerindeki üçüncü noktanın deplasmanı

z_{M4} : Motor üzerindeki dördüncü noktanın deplasmanı

z_{1sM} : Motor üzerindeki birinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün deplasmanı

z_{2sM} : Motor üzerindeki ikinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün deplasmanı

z_{3sM} : Motor üzerindeki üçüncü noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün deplasmanı

z_{e1} : Birinci egzoz parçasının ağırlık merkezinin deplasmanı

z_{1e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın deplasmanı

z_{2e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki ikincinin noktanın deplasmanı

z_{3e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktanın deplasmanı

z_{4e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki dördüncü noktanın deplasmanı

z_{1se1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün deplasmanı

z_{2se1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki

z_{e2} : İkinci egzoz parçasının ağırlık merkezinin deplasmanı

z_{1e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın deplasmanı

z_{2e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki ikincinin noktanın deplasmanı

z_{3e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktanın deplasmanı

z_{4e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki dördüncü noktanın deplasmanı

z_{1se2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün deplasmanı

z_{2se2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün deplasmanı

z_{e3} : Üçüncü egzoz parçasının ağırlık merkezinin deplasmanı

z_{1e3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın deplasmanı

z_{2e3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki ikincinin noktanın deplasmanı

z_{3e3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktanın deplasmanı

z_{1se3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün deplasmanı

z_{2se3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün deplasmanı

k_{2V} : Gövdeyi ön sağ ve sol aksa bağlayan sönüm elemanın katsayısı

k_{2H} : Gövdeyi arka sağ ve sol aksa bağlayan sönüm elemanın katsayısı

k_{M1} : Motor üzerindeki birinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan sönüm elemanın yay katsayısı

k_{M2} : Motor üzerindeki ikinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan sönüm elemanın yay katsayısı

k_{M3} : Motor üzerindeki üçüncü noktayı taşıt gövdesine bağlayan sönüm elemanın yay katsayısı

k_{me1} : Motor üzerindeki dördüncü noktayı birinci egzoz parçasına bağlayan sönüm elemanın yay katsayısı

k_{1e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan sönüm elemanın sönüm katsayısı

k_{2e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan sönüm elemanın sönüm katsayısı

k_{1e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan sönüm elemanın sönüm katsayısı

k_{2e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan sönüm elemanın sönüm katsayısı

k_{1e3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki birinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan sönüm elemanın sönüm katsayısı

k_{2e3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki ikinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan sönüm elemanın sönüm katsayısı

k_{e1e2} : Birinci egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktayı ikinci egzoz parçasına bağlayan sönüm elemanın sönüm katsayısı

k_{e2e3} : İkinci egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktayı üçüncü egzoz parçasına bağlayan sönüm elemanın sönüm katsayısı

c_{1V} : Ön sağ ve sol aksı gövdeye bağlayan yay elemanın katsayısı

c_{1H} : Arka sağ ve sol aksı bağlayan yay elemanın katsayısı

c_{2V} : Gövdeyi ön sağ ve sol aksa bağlayan yay elemanın katsayısı

c_{2H} : Gövdeyi arka sağ ve sol aksa bağlayan yay elemanın katsayısı

c_{1e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan yay elemanın yay katsayısı

c_{2e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan yay elemanın yay katsayısı

c_{me1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki dördüncü noktayı motora bağlayan yay elemanın yay katsayısı

c_{e1e2} : Birinci egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktayı ikinci egzoz parçasına bağlayan yay elemanın yay katsayısı

c_{1e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan yay elemanın yay katsayısı

c_{2e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan yay elemanın yay katsayısı

c_{e2e3} : İkinci egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktayı üçüncü egzoz parçasına bağlayan yay elemanın yay katsayısı

c_{1e3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki birinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan yay elemanın yay katsayısı

c_{2e3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki ikinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan yay elemanın yay katsayısı

L : Taşıtın uzunluğu

L_{2V} : Ön sağ ve sol aksların taşıtın ağırlık merkezine mesafesi

L_{2H} : Arka sağ ve sol aksların taşıtın ağırlık merkezine mesafesi

l_1 : Motor üzerindeki birinci noktanın motorun ağırlık merkezine X_M eksen yönündeki uzaklığı

l_2 : Motor üzerindeki ikinci noktanın motorun ağırlık merkezine X_M eksen yönündeki uzaklığı

l_3 : Motor üzerindeki üçüncü noktanın motorun ağırlık merkezine X_M eksen yönündeki uzaklığı

l_4 : Motor üzerindeki üçüncü noktanın motorun ağırlık merkezine X_M eksen yönündeki uzaklığı

l_{1e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın birinci egzoz parçasının ağırlık merkezine X_{e1} eksen yönündeki uzaklığı

l_{2e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın birinci egzoz parçasının ağırlık merkezine X_{e1} eksen yönündeki uzaklığı

l_{3e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktanın birinci egzoz parçasının ağırlık merkezine X_{e1} eksen yönündeki uzaklığı

l_{4e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki dördüncü noktanın birinci egzoz parçasının ağırlık merkezine X_{e1} eksen yönündeki uzaklığı

l_{1e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın ikinci egzoz parçasının ağırlık merkezine X_{e2} eksen yönündeki uzaklığı

l_{2e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın ikinci egzoz parçasının ağırlık merkezine X_{e2} eksen yönündeki uzaklığı

l_{3e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktanın ikinci egzoz parçasının ağırlık merkezine X_{e2} eksen yönündeki uzaklığı

l_{4e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki dördüncü noktanın ikinci egzoz parçasının ağırlık merkezine X_{e2} eksen yönündeki uzaklığı

l_{1e3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın üçüncü egzoz parçasının ağırlık merkezine X_{e3} eksen yönündeki uzaklığı

l_{2e3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın üçüncü egzoz parçasının ağırlık merkezine X_{e3} eksen yönündeki uzaklığı

l_{3e3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktanın üçüncü egzoz parçasının ağırlık merkezine X_{e3} eksen yönündeki uzaklığı

b_x : Motorun ağırlık merkezinin taşıt gövdesinin ağırlık merkezin X_2 eksen yönündeki uzaklığı

c_x : Birinci egzoz parçasının ağırlık merkezinin taşıt gövdesinin ağırlık merkezin X_2 eksen yönündeki uzaklığı

d_x : İkinci egzoz parçasının ağırlık merkezinin taşıt gövdesinin ağırlık merkezin X_2 eksen yönündeki uzaklığı

e_x : Üçüncü egzoz parçasının ağırlık merkezinin taşıt gövdesinin ağırlık merkezine X_2 eksen yönündeki uzaklığı

s : l_z genişliği

s_M : Motorun ağırlık merkezinin taşıt gövdesinin ağırlık merkezine Y_2 eksen yönündeki olan uzaklığı

s_{M1} : Motor üzerindeki üçüncü noktanın motorun ağırlık merkezine Y_M eksen yönündeki uzaklığı

s_{M2} : Motor üzerindeki üçüncü noktanın motorun ağırlık merkezine Y_M eksenî yönündeki uzaklığı

s_{M3} : Motor üzerindeki üçüncü noktanın motorun ağırlık merkezine Y_M eksenî yönündeki uzaklığı

s_{M4} : Motor üzerindeki üçüncü noktanın motorun ağırlık merkezine Y_M eksenî yönündeki uzaklığı

s_1 : Motor üzerindeki birinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün

taşıt gövdesinin ağırlık merkezine Y_2 eksenî yönündeki uzaklığı

s_2 : Motor üzerindeki ikinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün

taşıt gövdesinin ağırlık merkezine Y_2 eksenî yönündeki uzaklığı

s_3 : Motor üzerindeki üçüncü noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün ağırlık merkezine Y_2 eksenî yönündeki uzaklığı

s_{e1} : Birinci egzoz parçasının ağırlık merkezinin taşıt gövdesinin ağırlık merkezine Y_2 eksenî yönündeki olan uzaklığı

s_{1e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın birinci egzoz parçasının ağırlık merkezine Y_{e1} eksenî yönündeki uzaklığı

s_{2e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın birinci egzoz parçasının ağırlık merkezine Y_{e1} eksenî yönündeki uzaklığı

s_{3e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktanın birinci egzoz parçasının ağırlık merkezine Y_{e1} eksenî yönündeki uzaklığı

s_{4e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki ın ağırlık merkezine Y_{e1} eksenî yönündeki uzaklığı

s_4 : Birinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün Y_2 eksenî yönündeki uzaklığı

s_5 : Birinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün Y_2 eksenî yönündeki uzaklığı

s_{e2} : İkinci egzoz parçasının ağırlık merkezinin taşıt gövdesinin ağırlık merkezine Y_2 eksenî yönündeki olan uzaklığı

s_{1e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın ikinci egzoz parçasının ağırlık merkezine Y_{e2} eksenî yönündeki uzaklığı

s_{2e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın ikinci egzoz parçasının ağırlık merkezine Y_{e2} eksenî yönündeki uzaklığı

s_{3e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktanın ikinci egzoz parçasının ağırlık merkezine Y_{e2} eksenî yönündeki uzaklığı

s_{4e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki dördüncü noktanın ikinci egzoz parçasının ağırlık merkezine Y_{e2} eksenî yönündeki uzaklığı

s_6 : İkinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün Y_2 eksenî yönündeki uzaklığı

s_7 : İkinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün Y_2 eksenî yönündeki uzaklığı

s_{e3} : Üçüncü egzoz parçasının ağırlık merkezinin taşıt gövdesinin ağırlık merkezine Y_2 eksenî yönündeki olan uzaklığı

s_{1e3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın üçüncü egzoz parçasının ağırlık merkezine Y_{e3} eksenî yönündeki uzaklığı

s_{2e3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın üçüncü egzoz parçasının ağırlık merkezine Y_{e3} eksenî yönündeki uzaklığı

s_{3e3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktanın üçüncü egzoz parçasının ağırlık merkezine Y_{e3} eksenî yönündeki uzaklığı

s_8 : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün Y_2 eksenî yönündeki uzaklığı

s_9 : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün Y_2 eksenî yönündeki uzaklığı

φ_2 : Gövdenin kafa vurma açısı

φ_M : Motorun kafa vurma açısı

φ_{e1} : Birinci egzoz parçasının kafa vurma açısı

φ_{e2} : İkinci egzoz parçasının kafa vurma açısı

φ_{e3} : Üçüncü egzoz parçasının kafa vurma açısı

X_2 : Gövdenin yalpa açısı

X_M : Motorun yalpa açısı

X_{e1} : Birinci egzoz parçasının yalpa açısı

X_{e2} : İkinci egzoz parçasının yalpa açısı

X_{e3} : Üçüncü egzoz parçasının yalpa açısı

SP_{e1} : Birinci egzoz parçasının ağırlık merkezi

SP_{e2} : İkinci egzoz parçasının ağırlık merkezi

SP_{e3} : Üçüncü egzoz parçasının ağırlık merkezi

SP_M : Motorun ağırlık merkezi

SP_2 : Taşıt gövdesinin ağırlık merkezi

V : Taşıtın hızı

L_M : Motorun ağırlık merkezinin taşıtın geometrik ortasına olan uzaklığı

L_{e1} : Birinci egzoz parçasının ağırlık merkezinin taşıtın geometrik ortasına olan uzaklığı

L_{e2} : İkinci egzoz parçasının ağırlık merkezinin taşıtın geometrik ortasına olan uzaklığı

L_{e3} : Üçüncü egzoz parçasının ağırlık merkezinin taşıtın geometrik ortasına olan uzaklığı



ÖZET

Bu çalışmada, egzoz sisteminin karakteristik özelliklerini belirlemek amacıyla üç boyutlu egzoz titreşim modeli tanıtılmıştır. Modele ait hareket denklemlerinin nasıl çıkarıldığı hakkında bilgi verilmeden önce yol pürüzlülüğü hakkında bilgi verilmiştir. Yol pürüzlülüğü taşıt titreşimleri için çok önemli bir kavramdır. Yol profillerini bilinmeden test yollarındaki ortam laboratuvarda simule edilemez. Ayrıca yol pürüzlülüğünün taşıtlar üzerindeki etkisi tam kavranamaz. Dolayısıyla yol pürüzlülüğünün nasıl ölçüldüğü ve yol pürüzlülük ölçüm sistemleri önemlidir. Bu nedenle yol pürüzlülüğünü ölçen sistemler hakkında bilgi verilmiştir. Test yollarındaki yük bilgisinin kaydedilmesi bu bilgilerin laboratuvar ortamında tekrar elde edilmesi için gereklidir. Yük bilgisi genel olarak strain-gage, kuvvet kaptörü ve data sınıflandırma sistemleri kullanılarak kaydedilir. Bu ölçüm aletleri hakkında da bazı bilgiler verilmiştir.

Bugün yaygın olarak kullanılan test yöntemlerinde yük dataları test yollarında kaydedilmektedir. Bu datalar özellikle egzoz sisteminin gövdeye bağlantı noktalarında ve ayrıca çeşitli kritik salınım bölgelerinde bulunan çok yönlü ivmelendiricilerden ve özellikle kritik gerilme bölgelerine yerleştirilen strain gage'lerden sağlanmaktadır. Daha sonra laboratuvar şartları altında çok akslı test donanımlarında aynı zorlama şartları sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu amaçla test yollarında egzoz elemanları ve motor üzerine kaydedilmiş cevabı elde etmek üzere iteratif prosesler uygulanmaktadır. Simülasyonun başarısı iterasyon prosesine bağlı olup, sisteminin nonlineer elemanlarının etkisi arttıkça zorlaşmaktadır.

Laboratuvar ve test yollarında yapılan testler zaman alıcı ve çok masraflıdır. Üç boyutlu egzoz titreşim modelinin amacı laboratuvar ve test yollarında yapılan testlere olan ihtiyacı azaltmaktır. Matematiksel olarak yol profilinin bilinmesi ile laboratuvar ve test yollarında elde edilen aracın çeşitli kısımlarına ait transfer fonksiyonları ve güç spektrum yoğunlukları üç boyutlu egzoz titreşim modeli kullanılarak elde edilebilir.

Üç boyutlu model, motor, dört tane aks, üç tane egzoz parçası ve taşıt gövdesini içermektedir. Modelde lastikler yay elemanlarıyla temsil edilmiştir. Yay ve egzoz parçaları taşıt gövdesine yay ve sönüm elemanlarıyla bağlanmıştır. Motoru ve egzoz parçalarını gövdeye bağlayan yay ve sönüm elemanlarının sayısı;

- a) Motor için üç tane yay ve sönüm elemanı
- b) Egzoz parçaları için iki tane yay ve sönüm elemanı

Yukarıda bahsedilen modele ait parçaları gövdeye bağlayan yayların yanında, bu parçaları birbirine bağlayan yay ve sönüm elemanları vardır. Motor ve egzoz parçalarını birbirine bağlayan yay ve sönüm elemanlarının sayısı;

- a) Motoru birinci egzoz parçasına bağlayan yay ve sönüm elemanı
- b) Birinci egzoz parçasını ikinci egzoz parçasına bağlayan yay ve sönüm elemanı
- c) İkinci egzoz parçasını üçüncü egzoz parçasına bağlayan yay ve sönüm elemanı

Model kurulduktan sonra, modele ait her bir parçaya ait hareket ve moment denklemleri çözülmüştür. Bu denklemler,

- a) Yalpa moment denklemi
- b) Kafa vurma moment denklemi
- c) Düşey yöndeki hareket denklemi

Bu denklemler yazıldıktan sonra bu denklemlerin terimlerinden kütle, yay ve sönüm matrisleri modele ait denklemleri MatLab ortamında çözmek için oluşturulmuştur. MatLab programının kullanımının kolay olması ve matris işlemlerini temel alması yüzünden bu çalışmada modele ait denklemlerin çözümü için MatLab programı tercih edilmiştir.

Modelin doğru çalışıp çalışmadığını anlamak için bazı karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar,

- a) Üç boyutlu modelin literatürdeki modelle karşılaştırılması
- b) Üç boyutlu modelin iki boyutlu modelle karşılaştırılması

Bu karşılaştırmalardan sonra taşıta ait motorun ve egzoz parçalarının atalet momenti gibi bazı değerlerin bilinmemesinden dolayı parametrik etütler yapılarak laboratuvarda yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçlara yaklaşılmaya çalışılmıştır.

Laboratuvar ortamında uyarı taşıta düşey yönde verilmesi rağmen taşıtın bu uyarıya cevabı sadece düşey yönde değil aynı zamanda yatay yöndedir. Bu sebeple motorun ve egzoz parçalarının birbirine yatay ve düşey yönde bağlandığı bir model daha iyi sonuçlar elde etmek için daha kullanışlı olacaktır.

SUMMARY

In this study, to examine the characteristic vibration properties of exhaust system three dimension exhaust model was introduced. Before giving information about how the equation of motion of model was established, some information about road roughness was given. Road roughness is very important term for vehicle vibration. Without knowing road profiles, the conditions in proving grounds cannot be simulated in laboratories. And the effects of road roughness on vehicles cannot be understood. Therefore, it also important to know how to measure road roughness and the road roughness measurement systems generally used in worldwide. For that reason, information about road roughness measurement systems was given. The recording of load data in proving grounds is necessary for reproducing these data in laboratory. Recording of data on proving grounds made by gages called strain-gages, wheel force transducer, and data classification systems. Some information about these gages also was given.

In today's most common used test methods, load data are recorded in proving grounds. These data are obtained from accelerators mounted to the points connecting exhaust system to vehicle body and from strain gages mounted on various critical tension regions. After recording data in proving grounds, in laboratory conditions on the multi rig test system, the same loads exposed to vehicle as on the proving grounds can be tried to obtain. For that reason, iterative procedure is applied in order to obtain the same response recorded on the exhaust components and motor on the proving grounds. Success of the simulation depends on iterative procedure. When the effect of the nonlinear elements of system increase, to attain successful simulation is difficult.

The tests performed in laboratory and proving grounds are very expensive and time consuming. The purpose of the three dimension exhaust vibration model is to reduce the need for tests done in laboratory and proving grounds. With the knowledge of road profile by means of mathematical terms and the vehicle parameters, three dimension exhaust vibration model can be used to obtain the same transfer function and power spectral density function of vehicle's components as in laboratory and on proving grounds.

Three dimension exhaust vibration model consists of motor, four axles, three exhaust components. In the model, tires were represented by springs. Motor, and exhaust components were connected to body with springs and dampers. The number of the springs and dampers connecting motor and exhaust components to body are;

- a) Three springs and dampers for motor.
- b) Two springs and dampers for each exhaust components.

Besides the springs and dampers connecting the components mentioned above to body, there are springs and dampers connecting each components to each other. The number of the springs and dampers connecting motor and exhaust components to each other are;

- a) One spring and damper connecting motor to first exhaust component
- b) One spring and damper connecting first exhaust component to second exhaust component
- c) One spring and damper connecting second exhaust component to third exhaust component.

After representing the model, equation of motion of each part of model was solved. These equations are;

- a) Equation of roll moment
- b) Equation of pitch moment
- c) Equation of vertical movement

After establishing these equations, mass, spring, and damper matrices were created so as to solve this equation in MatLab environment. The main reason for the selection of MatLab for solving these equations is that Matlab is easy to use and takes matrix form as basis.

To understand whether model worked correctly or not, some verifications were made. These were,

- a) Verification of 3D model against the model in literature
- b) Verification of 3D model against the 2D model

After these verifications, because of the lack of information about some parameters such as motor's and exhaust components' inertial moments, parameter estimation was made to converge to the results obtained by measurements made in laboratory,

In laboratory conditions, although excitation is given in vertical direction, the response of the vehicle components such as motor and exhaust systems is not only in vertical direction but also in horizontal direction. For that reason, the model in which motor and exhaust components connected to each other by springs and dampers in vertical and horizontal directions will be more useful to obtain much closer results.

1 GİRİŞ

1.1 YOL PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN TANIMLANMASI

Yol pürüzlülüğü seyahatin yönünde iki boyutlu profiller ile tanımlanır. Bu profiller araç testi için işleticileri çalıştırmak ve dinamik bilgisayar simülasyonları için kullanılırlar. Yol pürüzlülüğü sürüş kalitesini ve dinamik tekerlek yüklerini etkilerler.

Çıplak gözle bakıldığında düzgün gözüксе bile hiç bir yüzey mükemmel derecede düzgün değildir. Ve yol kaplamasında bu yüzeylerinin dışında tutulamaz.

Yol mühendislerinin ilgilendiği yol kaplamasının yüzey geometrisi, dalga boyu mertebesinde 0.01 mm'den 100.0 m'ye kadar olan bir aralığı kapsar. Bir başka deyişle bu aralık 10000'den 1'e kadardır. Bu aralık tek bir skala ile ölçülemeyecek kadar geniştir. Fakat dört skala yardımıyla tanımlanıp ölçülebilir. Bu skalalar;

- a) Mikroyapı
- b) Makroyapı
- c) Megayapı
- d) Yol pürüzlülüğüdür. [1]

Pürüzlülüğünün alt ve üst sınırları kesin olarak belirtilmemiştir. Fakat 0.1'den 100 m'ye kadar olan aralığının içindedir. Birçok kullanım için daha dar bir aralık yeterlidir. Mikro ve makro yapılar kaygan yol kaplamalarındaki iyi kayma direnci içindirler. Mega yapılar hakkındaki sınırlı bilgi bu yapının lastik ve yol kaplaması arasındaki gürültü ile ilişkili olduğunu gösterir. Mega yapıların büyük dalga boyları taşıtlarda titreşimlere sebep olabilir.

1.2 YOL PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN NEDENLERİ

Yeni yapılan yüzeyler oluklar içermezler. Fakat oluklar zamanla gelişir ve taşıtların tekerlekleri tarafından taşınan yüklerden dolayı meydana gelirler. Yol inşası için klavuz spefikasyonları yeni yapılan yol kaplaması yüzeyinin profilometre ile yapılan ölçümde 0.16 m/km (10 in/mile)'i aşmaması gerektiğini tavsiye eder. Gerekli önlemler 0.24 m/km değeri aşıldıktan sonra alınmalıdır.

Yeni yol kaplamalarındaki yol pürüzlülüğü kaide kuşağının ve yol tabanının hazırlanmasını içeren asfaltlama prosesin iyi kontrol edilmemesi ve asfaltlama ekipmanındaki aşınma ve yırtılmadan kaynaklanır. Dikkatli kalite kontrolü bu ilk pürüzlülüğü minimize edebilir. Buna rağmen yol pürüzlülüğü en düzgün yol kaplamasında bile oluşmaya başlayabilir.

Nem,eşit olmayan termal genişleme,donma ve çözülme süreçleri yol kaplamsının deforme olmasına sebep olurlar. Yol kaplamaları ayrıca üzerinden geçen tekerleklerin yüklerinden dolayı da deforme olurlar. Esnek yol kaplamalarının üzerindeki bu deformasyon kalıcıdır ve boyuna pürüzlülüğe ve oluklara sebep olurlar.

Ayrıca tekerlek yükü dinamiktir. Başka bir deyişle tekerlek tarafından yol kaplamasına iletilen ani kuvvet statik tekerlek yükünden daha büyük veya küçük olabilir. Bu dinamik etki motor ve vites kutusundaki dengesizlikler ve yol pürüzlülüğü ile meydana gelir. Sonuç olarak daha pürüzlü bir yol daha çok pürüzlülüğe sebep olan daha büyük dinamik yük bileşeni demektir. Buradan hareketle yol pürüzlülüğünün kendi kendini beslediği söylenebilir.

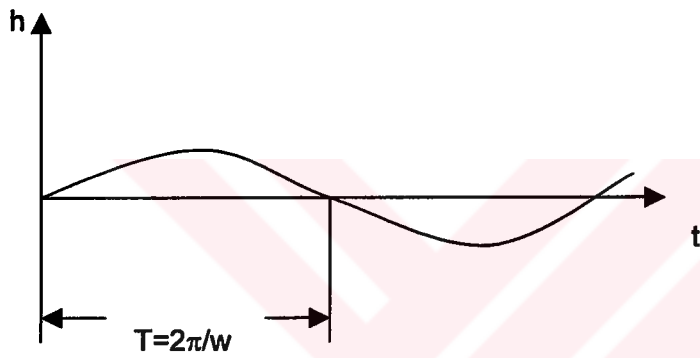
2 YOL PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN MATEMATİKSEL KAVRANMASI

Yol düzgünlüklerinin açık bir matematiksel ifadesini genel olarak bulmak mümkün değildir. Tek bir çizgiye indirgenmiş bir yol için ölçümler yaparak her noktadaki yüksekliği tespit etmek ve böylece örnek olarak bir simülasyon için bir yol belirlemek mümkün olabilir. Ama böyle bir simülasyon neticesinden başka yollarda taşıtın nasıl davranacağını çıkarmak mümkün olmaz. Bu bakımdan yolların matematik olarak kavranması kadar sınıflandırılması da önemlidir.

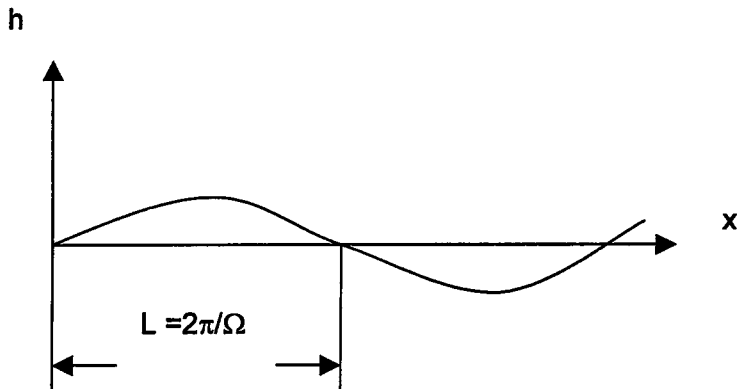
Yolların düzgünsüzlüğünü matematiksel olarak kavramak için kullanılan yöntem bunları rastlantı olayları olarak ele almaktır. Burada olay seçilecek herhangi bir referans düzeyinden itibaren ölçülecek yüksekliklerdir. Yol bir yüzey olduğuna göre uzunlamasına ve enine doğrultularda bu yükseklikler tespit edilebilir. Bunun bir anlamıda yolun genişliği daha doğrusu taşıtın iz genişliği boyunca yüksekliklerin değişmediğinin varsayılmasıdır.

2.1 HARMONİK FONKSİYON

a)



b)



Şekil 2.1 Sinüs eğrisi şeklindeki pürüzlülük fonksiyonu

a) Zamana bağılı

b) Yola bağılı

Şekil 2.1'de görülen zamana bağılı pürüzlülük fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$h = \hat{h} \cdot \sin(\omega t) = \hat{h} \cdot e^{j\omega t} \quad (2.1)$$

V seyir hızı ile yola ve zamana bağılı pürüz fonksiyonları arasında bağıntı oluşmaktadır. Sabit v için x yolu ve t zaman arasında

$$x = v \cdot t \quad (2.2)$$

denklemini oluşmaktadır. Bunun yanında Ω yol dairesel frekansına geçmek için aşağıdaki denklem kullanılır

$$\Omega \cdot x = \omega \cdot t \quad (2.3)$$

(2.3)'nolu denklem (2.2)'nolu denkleme yerleştirilirse,

$$\omega = v \cdot \Omega \quad (2.4)$$

elde edilir.

L dalga boyu olmak üzere ,

$$\Omega = \frac{2\pi}{L} \quad (2.5)$$

(2.5)'nolu denklem (2.4)'nolu denkleme yerleştirilirse,

$$\omega = v \cdot \Omega = 2\pi \frac{v}{L} \quad (2.6)$$

denklemini ortaya çıkmaktadır. Bunun anlamı, sabit bir L dalga boyu için, salınım hareketlerine neden olan ω zamana bağılı açısal frekans artan v seyir hızı ile artmaktadır.

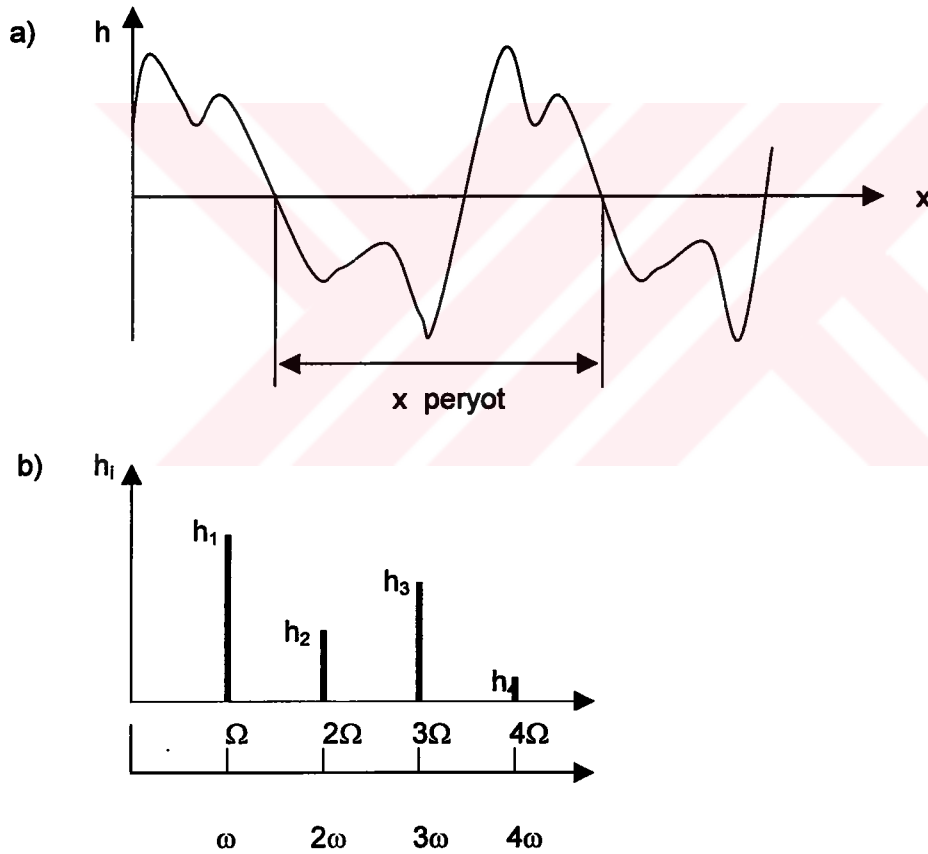
Salınım uyarılarının ifadesi için, v seyir hızının L dalga boyuna oranı olarak ifade edilen ω zamana bağlı açısal frekans kullanılmaktadır. (2.6)'nolu denkleme göre taşıt titreşimleri için önemli olan seyir hızları $v = 36 \dots\dots\dots 180$ km/h ve dalga boyları $L = 0.3 \dots\dots\dots 100$ m arasında olduğundan, önemli uyarı frekans aralığı da

$(\omega/2\pi) = 0.5 \dots\dots\dots 30$ Hz arasında olacaktır.

(2.1)'nolu zamana bağlı harmonik fonksiyon, yola bağlı olarak da yazılabilir.

$$h = \hat{h} \cdot \sin(\Omega x) = \hat{h} \cdot e^{j\Omega x} \quad (2.7)$$

2.2 PERİYODİK FONKSİYON



Şekil 2.2 Periyodik fonksiyon

Periyodik fonksiyon Fourier serisi ile yazılabilir.

$$h(x) = \hat{h}_0 + \hat{h}_1 \sin(\Omega x + \varepsilon_1) + \hat{h}_2 \sin(2\Omega x + \varepsilon_2) + \dots + \hat{h}_n \sin(n\Omega x + \varepsilon_n) \quad (2.8)$$

$\Omega_1 = \Omega, \Omega_2 = 2\Omega, \dots, \Omega_n = n\Omega$ yol açısal frekanslarına ait $\hat{h}_1, \hat{h}_2, \dots, \hat{h}_n$

genlikleri vardır. Dolayısıyla parçalı (kesikli) bir genlikler spektrumu söz konusudur.

(2.8)'nolu fonksiyon kompleks yazılımla yazılırsa,

$$h(x) = \sum_{l=1}^n \hat{h}_l e^{j\Omega_l x} \quad (2.9)$$

Zaman boyutunda (2.9)'nolu denklem,

$$h(t) = \sum_{l=1}^n \hat{h}_l e^{j\Omega_l t} \quad (2.10)$$

şeklinde yazılabilir.

2.3 RASTLANTISAL FONKSİYON

Yol pürüzlülüğü gerçekte rastlantısal (kuralsız) bir fonksiyondur. Rastlantısal fonksiyona, periyodu çok uzun dolayısıyla frekansları arası çok ufak olan, periyodik fonksiyon aracılığı ile yaklaşılır. Sonsuz uzun periyot durumunda sürekli bir genlikler spektrumu elde edilir.

(2.9)'nolu denklemle ifade edilen yol pürüzlülüğünü integral ile yazılırsa,

$$h(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} \hat{h}(\Omega) e^{j\Omega x} d\Omega \quad (2.11)$$

(2.11)'nolu denklem yol pürüzlülüğünün taşıta etki eden şekli olan zaman ortamında yazılırsa,

$$h(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \hat{h}(\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (2.12)$$

(2.11) ve (2.12) denklemlerinde

$$h(\omega) = \frac{1}{V} \hat{h}(\Omega) \text{ 'dır.} \quad (2.13)$$

veya,

$$h(\omega).d\omega = h(\Omega).d\Omega \quad (2.14)$$

olup, $\hat{h}(\omega)$ spekturumu ile $\hat{h}(\Omega)$ spekturumun farkına dikkat etmek gerekir. (2.14) no'lu denklemdeki eşitliklerin boyutları uzunluktur. Şöyle ki ω 'nın boyutu 1/zaman olduğuna göre $\hat{h}(\omega)$ spekturumunun boyutu uzunluk çarpı zaman; Ω 'nın boyutu 1/uzunluk olduğu için de $\hat{h}(\Omega)$ spekturumunun boyutu uzunluğun karesidir.

Zamana bağlı yol uyarısı da taşıtta yine zamana bağlı titreşimler yaratır. Örnek olarak $z(t)$ kütle yolunu ele alınırsa, (2.12)'nolu denklemde verilen uyarıyla

$$z(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \hat{z}(\omega) e^{j\omega t} d\omega = \int_{-\infty}^{+\infty} \left| \frac{\hat{z}(\omega)}{\hat{h}(\omega)} \right| \cdot \hat{h}(\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (2.15)$$

şeklinde gövde titreşimleri meydana gelir. Burada $\hat{z}(\omega)$ cevap spekturumunun, $\hat{h}(\omega)$ büyütme fonksiyonu ile çarpılmasıyla elde edileceği görülmektedir.

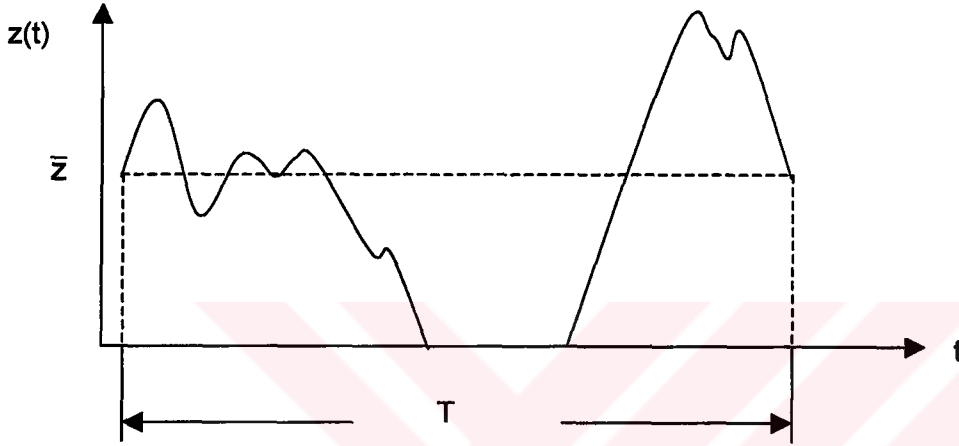
$$\hat{z}(\omega) = V(\omega) \cdot \hat{h}(\omega) \quad (2.16)$$

2.4 ORTALAMA DEĞER

Yeterli bir uzunluktaki bir T zamanına göre, zamansal lineer ortalama değer,

$$\bar{z} = \frac{1}{T} \int_0^T z(t) dt \quad (2.17)$$

(2.17)'nolu denklem ile elde edilir.



Şekil 2.3 Ortalama değer

Bu ortalama değer çoğu zaman önceden tespit edilebilir. Örneğin yaylanma yolu için statik çökmeye, ivme için yer çekimi ivmesine, dinamik tekerlek yükü için de statik tekerlek yüküne eşittir.

2.5 Karesel ortalama değ er

Baş ka bir istatiksel büyüklükte zamansal karesel ortalama değ eridir ki buna “efektif değ er” denir.

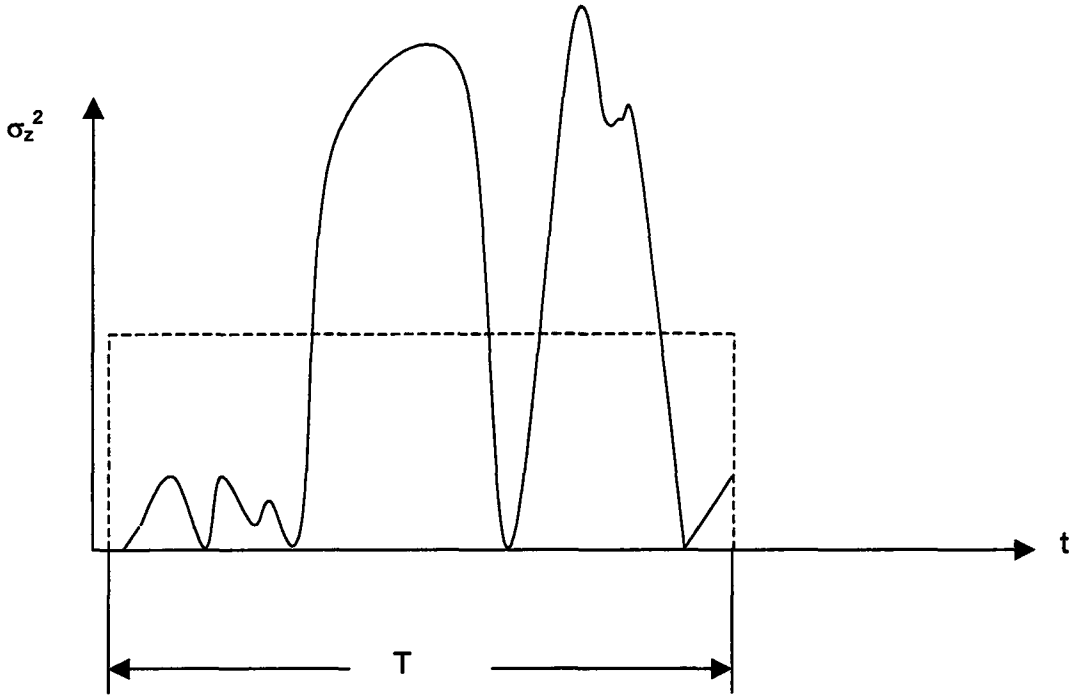
$$z = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T z^2(t) dt} = z_{ef} \quad (2.18)$$

2.6 STANDART SAPMA

Önemli bir büyüklükte $z(t)$ ’nin, ortalama değ er üzerindeki salınımını gösteren standart sapmadır.

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (z(t) - \bar{z})^2 dt} = \sqrt{\tilde{z}^2 - (\bar{z})^2} \quad (2.19)$$

Ş ekil 2.4’de standart sapmanın karesi grafiksel olarak g sterilmiştir.



Şekil 2.4 Varyans (standart sapmanın karesi)

2.7 SPEKTRUM YOĞUNLUĞU

Taşıtta meydana gelen titreşimi ifade eden (2.15)'nolu denklemin karesel ortalama değeri (2.19) denklemini kullanılarak şöyle elde edilir.

$$\bar{z}^2 = \int_0^\infty \lim(T \rightarrow \infty) \frac{4\pi}{T} \hat{z}(\omega)^2 d\omega \quad (2.20)$$

(2.20)'nolu denklemden,

$$\varphi_z(\omega) = \lim(T \rightarrow \infty) \frac{4\pi}{T} \hat{z}(\omega)^2 \quad (2.21)$$

(2.21)'nolu denklemine spektrum yoğunluğu denir.

Z fonksiyonun spektrum yoğunluğu, $\hat{z}$ genliği ω dairesel frekansına bağlı olduğundan, frekansa bağlıdır. Spektrum yoğunluğu, frekans aralığı başına karesel ortalamanın frekans üzerindeki değişimi olarak tanımlanır. Spektrum yoğunluğu reeldir ve fazlar hakkında bilgi vermez. Bir spektrum yoğunluğuna, sonsuz sayıda rastlantısal fonksiyon ait olabilir.

2.20 ve 2.21 denklemlerini birlikte yazılırsa karesel ortalama ile spektrum yoğunluğu arasındaki ilişki daha iyi görülür.

$$\hat{z}^2 = \int_0^\infty \phi_z(\omega) d\omega \quad (2.22)$$

(2.16)'nolu denklemi ile verilen büyütme fonksiyonu (2.19) no'lu denklemle tanımlanan karesel ortalama ifadesine yerleştirilirse uyarı spektrumu ile cevap karesel ortalaması arasındaki ilişki bulunur.

$$\hat{z}^2 = \int_0^\infty \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{4\pi}{T} \left[\frac{\hat{z}(\omega)}{\hat{h}(\omega)} \right]^2 h(\omega) d\omega \quad (2.23)$$

$$\phi_h(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{4\pi}{T} \hat{h}(\omega)^2 \quad (2.24)$$

(2.24)'nolu denklem ile ifade edildiği için, uyarı ile cevap spektrum yoğunlukları arasında gerçel büyütme fonksiyonun karesi kadar fark vardır. Bu durum (2.25)'nolu denklemle ifade edilir.

$$\phi_z(\omega) = \hat{v}^2(\omega) \cdot \phi_h(\omega) \quad (2.25)$$

(2.25)'nolu denklemden yararlanarak cevap karesel ortalaması, yol uyarısı spektrum yoğunluğu cinsinden yazılırsa,

$$\tilde{z} = \int_0^\infty \left[\frac{\hat{z}(\omega)}{\hat{h}(\omega)} \right]^2 \cdot \Phi_h \quad (2.26)$$

(2.26)'nolu denkleme göre, eğer yol uyarısı spektrum yoğunluğu ile büyütme fonksiyonu biliniyorsa, cevap titreşiminin spektrum yoğunluğu dolayısıyla karesel ortalaması bulunabilmektedir.

2.8 YOL PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN SPEKTURUM YOĞUNLUĞU

Zamansal dairesel frekans ω , $\omega=v.\Omega$ eşitliğinden dolayı seyir hızına bağlı olduğundan, genel bir yol pürüzlülüğü tarifinin, yol dairesel frekansı Ω ile yapılması daha anlamlıdır. Yol dairesel frekansına bağlı yol pürüzlülüğü spektrum yoğunluğu (2.21)'nolu denkleme benzer olarak aşağıdaki gibi yazılır.

$$\phi_h(\Omega) = \lim(X \rightarrow \infty) \frac{4\pi}{X} \hat{h}(\Omega)^2 \quad (2.27)$$

X, T süresinde katedilen yol parçası olup v seyir hızından bulunur.

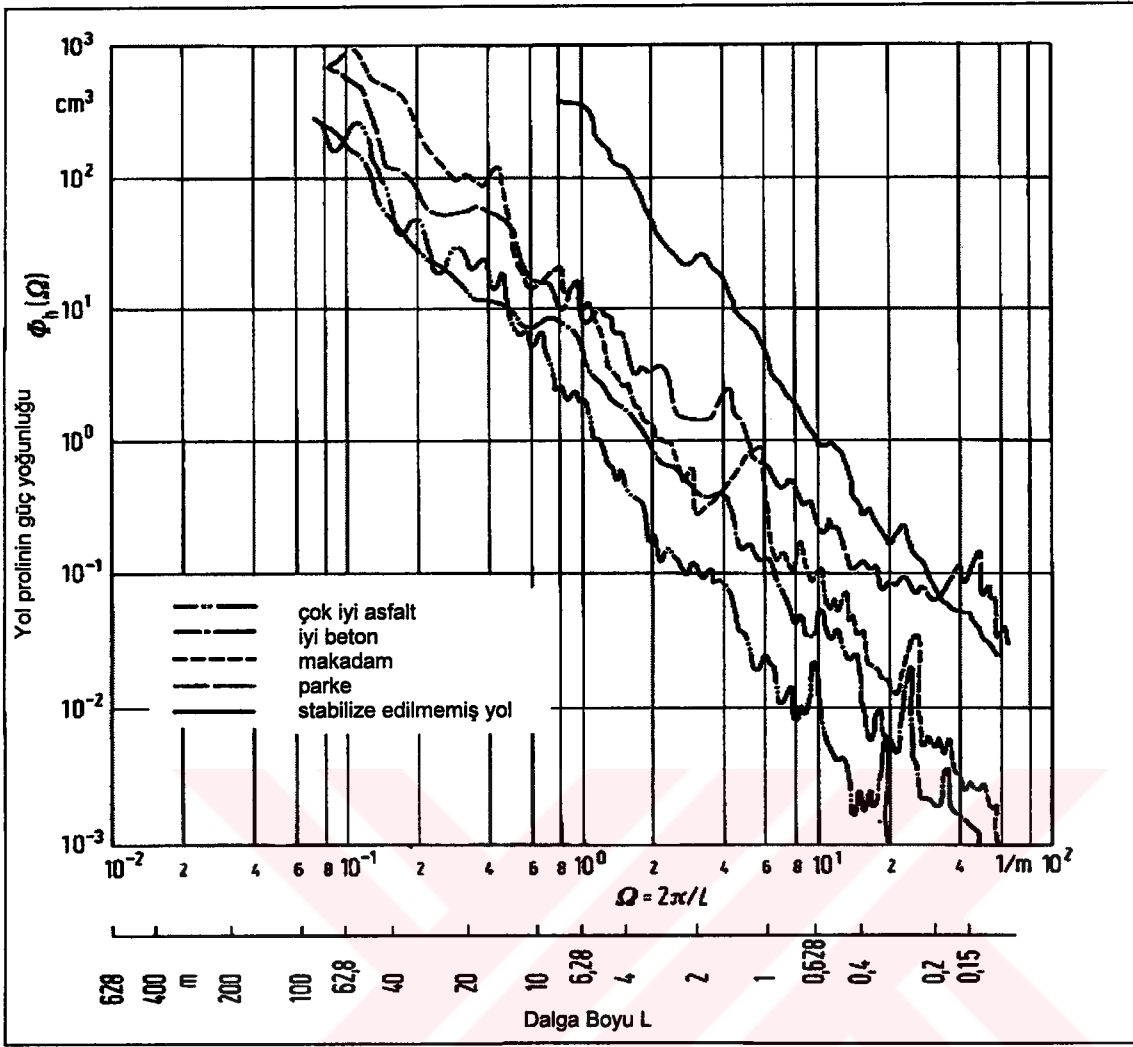
$$X=v.T$$

(2.21)'nolu denklemlerle (2.27)'nolu denklem arasında aşağıdaki ilişki bulunur.

$$\phi_h(\omega) = \frac{1}{V} \phi_h(\Omega) \quad (2.28)$$

$\phi_h(\Omega)$ tariflenirse, seyir hızı yardımıyla $\phi_h(\omega)$ 'ya geçilebilir. Zamansal dairesel frekans bazında hesaplara devam edilir. $\phi_h(\Omega)$ 'ın tespiti için yapılan yol pürüzlülüğü ölçümlerinden faydalanılır.

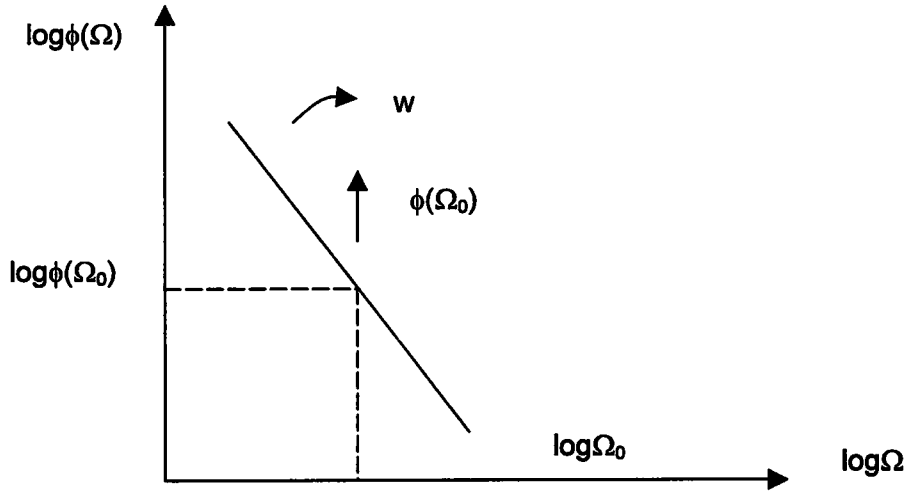
Yol pürüzlülüğü ölçümlerinin sonuçları Şekil 2.5'te şekilde gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Yol Pürüzlülüğü Ölçüm Sonuçları

Bu ölçümlere göre yol spektrum yoğunluğu, açısal frekans arttıkça yani dalga boyları ufaldıkça, küçülmektedir.

Bu dağılım, çift logaritmik eksenlerde yaklaşık doğrular ile gösterilebilir. Şekil 2.6'da ölçümlerin çift logaritmik eksenlerle gösterimi görülmektedir.



Şekil 2.6 Yol Pürüzlülüğü Spekturum Yoğunluğu gösterimi

Bu doğrular da aşağıdaki denklemle ifade edilebilir.

$$\varphi_h(\Omega) = \varphi_h(\Omega_0) \left(\frac{\Omega}{\Omega_0} \right)^{-w} \quad (2.29)$$

Ω_0 , temel dairesel frekans olup, $\varphi_h(\Omega_0)$ bu frekanstaki yol spektrum yoğunluğudur. $\varphi_h(\Omega_0)$ pürüzlülüğün bir derecesidir ve yolun iyi veya kötü olduğunu belirler. Bu değerlerin değişimi ile doğrular yukarı aşağı yer değiştirirler. w ise dalgalılık faktörüdür.

Yolun pürüzlerinin uzun veya kısa dalga boylu olmasını gösterir. w 'nın değişimi ile doğruların eğimi değişir. Tablo 2.1'de bu iki büyüklük için ortalama değerler verilmiştir.

Tablo 2.1 Yol Pürüzlülüğü Spektrum Yoğunluğu Tanımı İçin Ortalama Değerler

Yol cinsi	Yol durumu	w	$\phi_h(\Omega)$ (cm ³)
Beton	Çok iyi	2.29	0.6
	İyi	1.97	4.5
	Orta	1.97	8.7
	Kötü	1.72	56.0
Asfalt	Çok iyi	2.20	1.3
	İyi	2.18	6.0
	Orta	2.18	22.0
	Kötü	2.18	22.0
Makadam	Çok iyi	2.26	9.0
	İyi	2.26	21
	Orta	2.15	43
	Kötü	2.15	158
Parke	Çok iyi	1.75	14
	İyi	1.75	23
	Orta	1.81	36
	Kötü	1.81	323

Tablo 2.1 Devam

Yol cinsi	Yol durumu	w	$\phi h(\Omega)$ (cm ³)
Stabilize edilmemiş yol	Çok iyi	2.25	32
	İyi	2.25	155
	Orta	2.14	602
	Çok kötü	2.14	16300

w dalgalılık faktörünün "2" değeri etrafında değiştiği görülmektedir. Aşağıdaki tabloda w=2 için yol pürüzlülüğüne ait bir sınıflandırma tasarısı verilmiştir.

Tablo 2.2 Yol pürüzlülüğü sınıflandırma tasarısı. $\phi_h(\Omega_0)$ [cm³] ($\Omega_0 = 1 \text{ m}^{-1}$; w=2)

Sınıf	Pürüzlülük	DIN-FANAK (C8)		ISO (TC-108)
		Alt sınır	Ortalama değer	Üst Sınır
A				0.25...0.5
B	Çok iyi	1....2		0.25...1...2
C	İyi	2.....	4	8
D	Orta	8.....	16	...32
E	Kötü	32.....	64	..128
F	Çok kötü	128		128..256..512

Tablo 2.2 Devam

Sınıf	Pürüzlülük	DIN-FANAK (C8)		ISO (TC-108)
G				512, 1024, 2048
H				2048

Tablo 2.1 ve Tablo 2.2’de temel dairesel frekans $\Omega_0 = 1$ m alınmıştır. (2.4),(2.28) ve (2.29)’nolu denklemler yardımıyla, zamansal dairesel frekansa bağlı yol pürüzlülüğü spektrum yoğunluğu, aşağıdaki şekilde yazılır.

$$\varphi_h = v^{w-1} \varphi_h(\Omega_0) \left(\frac{\Omega_0}{\omega} \right)^w \quad (2.30)$$

Bu son ifaden de görüldüğü gibi yol spektrum yoğunluğu, hız ile yaklaşık lineer artmaktadır. Dolayısıyla efektif değer hızın karekökü ile artacaktır.

3 YOL PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ÖLÇÜLMESİ

3.1 ÖLÇÜM SİSTEMLERİNE GENEL BİR BAKIŞ

Yol pürüzlülüğü tartışılırken yüksek hız ile düşük hız ölçüm sistemleri birbirinden ayrılmalıdır. Yüksek hız ölçüm sistemleri için yüzey profilini direk ölçümleri ile cevap tipindeki ölçümler birbirinden ayrılmalıdır. Yüzey profili çizme cihazı ile yapılan düşük hız pürüzlülük ölçümleri yeni kaplanmış yüzeylerin kabulünde kullanılır

Dünya genelinde farklı yol pürüzlülük ölçüm sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler üç gruba ayrılabilir.

- 1) Yüzey dinamik profilometre gibi yüzey profilini direk olarak ölçen sistemler.
- 2) Mays metre gibi aracın yol pürüzlülüğüne olan cevabını ölçen sistemler.
- 3) Kuvvet-hareket ölçümlerini kullanılan sistemler.

3.1.1 Yüzey Profilini Direk Olarak Ölçen Sistemler

Yol yüzeyinin pürüzlülüğü boyuna profiller ile tanımlanabilir ve ölçülebilir. Bunlar düzgün yüzeye göre ölçülürler. Profiller genel olarak iki iz genişliği ile ölçülürler. Benzer olarak enine profil veya iz genişliklerindeki oluklar genellikle yolu geçen düz çizgiyi referans alarak ölçülürler. Çünkü yollar çapraz eğimli olarak inşaa edilirler. Hem yol pürüzlülüğü hem de yoldaki oluklar istenmeyen unsurlardır.

Yüzey profili çizme cihazı temel olarak iki ucunda birden fazla tekerlek ile desteklenen ortasında test tekerleğini taşıyan uzun bir çubuktur. Bu test tekerleğinin çubuğa göre hareketi yol pürüzlülüğünün ölçümüdür.

Test tekerleğinin test kısmı boyunca ki birikmiş hareketi birim uzunluk cinsinden normalize edilir ve m/km cinsinden rapor edilir. Yüzey profili çizme cihazlarının hassasiyeti düşüktür ve konstrüksiyonlarındaki varyasyonlar ölçüm sonuçlarını etkilemektedir.

Yürüme hızlarında pürüzlülüğü ölçen başka bir aygıt çubuk ölçek diye adlandırılır. Bu aygıt tabanların düzlüğünü ölçmek için geliştirilmiştir. Profilin hesaplanabileceği birbirleri arasında 0.3 m aralıklar bulunan tepeleri ölçer. Sonuç olarak bu ekipman çok yavaştır. Diğer pürüzlülük ölçen cihazların kalibrasyonu gibi özel durumların için kullanılması tavsiye edilir.

3.1.2 Aracın Yol Pürüzlülüğüne Olan Cevabını Ölçen Sistemler

Seyahat hızlarındaki yol pürüzlülüğü cevap tipindeki sistemler tarafından ölçülebilir. Bu sistemlerin en yaygın olarak kullanılanı aksın gövdeye göre hareketini ölçer. Seyahatin birim uzunluğu boyunca ki bu hareketlerin toplamı yüzey profili çizme cihazında olduğu gibi m/km veya in/mile cinsinden kaydedilir. Birbirinden tamamen farklı ölçüm metotları için aynı indeksi kullanmak elde edilen bilgilerde çelişikliğe sebep olabilir.

Diğer bazı cevap sistemleri araç gövdesinin veya aksın düşey yöndeki ivmelerini ölçer. Bütün bu ölçümler ölçüm yapılan aracın özelliklerine, dinamik cevabına ve seyahat hızına bağlıdır. Yüzey profili çizme cihazları ve cevap tipindeki ölçüm sistemleri yol pürüzlülüğünün tek değerlerini ölçerler. Araç ve kaplama arasındaki etkileşim için tek sayı yetersizdir.

Yol pürüzlülük profilleri hem bilgisayar simülasyonlarında input datası olarak verilmek hem de laboratuvar test koşullarında araç işleticilerini çalıştırmak için gereklidirler. Yüksek hızlardaki pürüzlülük profilleri atalet ölçüm sistemleri kullanılarak ölçülür. Atalet ölçüm sistemleri araç ile yol yüzeyi arasındaki mesafeyi ve aynı zamanda aracın düşey yöndeki hareketini akselometreler ile ölçerler. İlk atalet ölçüm sistemleri yol pürüzlülüğünü takip etmek için küçük tekerlekler kullanmışlardır. Günümüzdeki ölçüm sistemleri yol yüzeyi üzerindeki yüksekliği ölçmek için temassız mesafe sensörleri (optik veya ultrasonik) kullanmaktadırlar. Yükseklik profili ile ivme profili arasındaki fark yol pürüzlülük profilidir. Yol pürüzlülük profiline ilave olarak hız ve katedilen mesafe ölçülür ve kaydedilir.

Günümüzdeki bütün profil ölçme sistemleri dijital kayıt yöntemini kullanmaktadırlar. Yükseklik ve ivme kayıtları zaman veya mesafe cinsinden örneklenir. Mesafe cinsinden yapılan kayıtda örnekleme aralığı sabittir ve hızdan bağımsızdır. Buna rağmen, düşey yöndeki ivme ölçümleri üzerindeki etkilerinden dolayı ani hız değişiklikleri gözardı edilmelidir. [1]

3.1.3 Kuvvet-Hareket Ölçümlerini Kullanılan Sistemler

Kuvvet-hareket ölçümleri kullanılan sistemlere örnek olarak Nevada Otomotiv Test Merkezinin geliştirdiği Dinamik Kuvvet Ölçüm Taşıtı (DKÖT) verilebilir.

Profilometrelerin büyük bir çoğunluğu zemini hesaplamak için hareket ölçümleri kullanırken DKÖT zemin pürüzlülüğünü hesaplamak için her aksın sonunda yapılan kuvvet hareket ölçümlerini kullanır.

Nevada otomotiv test merkezinin dinamik kuvvet ölçüm aracı birçok çeşitli zemin, lastik ve süspansiyon çalışmaları için kullanılan çok amaçlı bir test aracıdır. İlk DKÖT lastik ve araç performans parametrelerinin daha iyi anlaşılmasını temel alarak 1973 yılında yapılmıştır. Bu tarihten itibaren 11 adet taşıt müşterilerin veya test merkezinin kullanımı için inşaa edilmiştir.

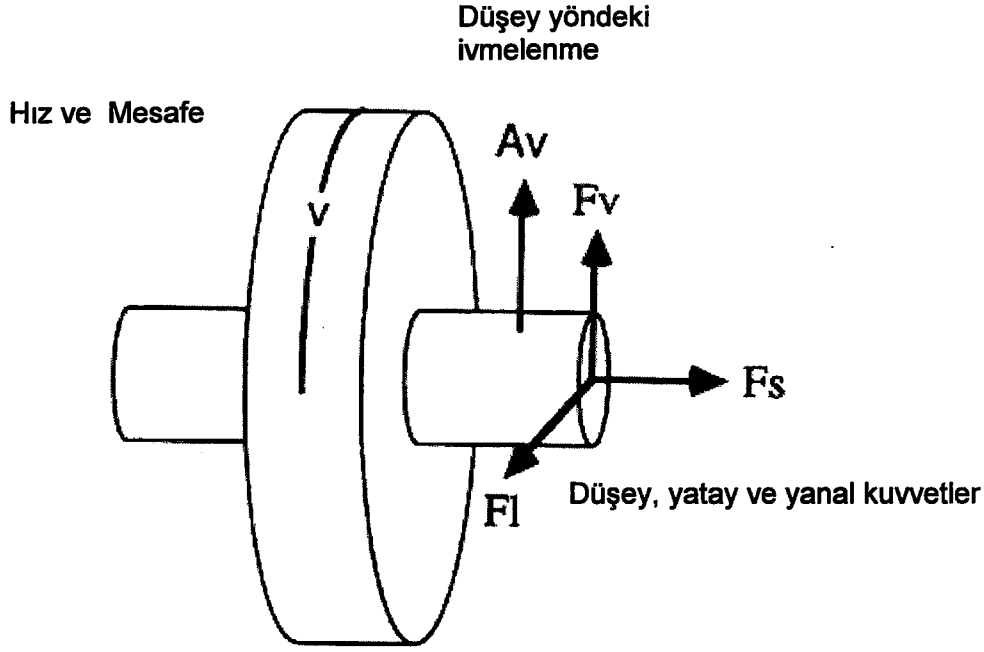
DKÖT'nin fonksiyonlarından bir tanesi zeminin düşey profillerini ölçmektir. DKÖT'nin zeminin düşey profilini ölçüm prosedürü bilinen diğer diğer bütün ölçüm prosedürlerinden farklıdır çünkü DKÖT zeminin düşey profillerini tanımlamak için yalnızca hareket ölçümleri kullanmak yerine kuvvet hareket ölçümleri kullanır. DKÖT arazi zeminlerinin ölçümleri için tasarlanmıştır. Bu nedenle, zorlu dayanıklılık test yollarının büyük bir kısmının profili bir gün içerisinde elde edilebilir.

Şekil 3.1'de DKÖT 37X12.50R16.5LT tipindeki radyal tabanlı lastikle görülmektedir.



Şekil 3.1 DKÖT 37X12.50R16.5LT tipindeki radyal tabanlı lastik ile

Her aksın sonunda lastik ile zemin arakesitindeki düşey,boyuna ve yanal kuvvetler aksın sonuna monte edilen moment dengeleyici üç yönlü yük hücrelerinden ölçülür. Yük hücresinin üzerindeki düşey yöndeki akselometre aksın sonundaki düşey yöndeki ivmeleri ölçer. Şekil 3.2'de DKÖT'nin aks sonu görülmektedir.



Şekil 3.2 DKÖT'nin Aks Sonu

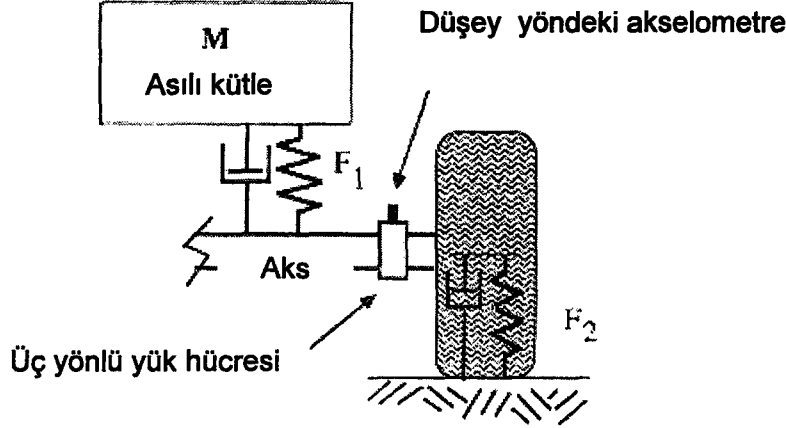
Son olarak, tekerlek hızı ve test süresince katedilen mesafe optik okuyucu kullanılarak ölçülür. Bu konfigürasyon DKÖT'nin bütün dört aksının sonları için benzerdir.

Düşey yöndeki kuvvet ve ivme ölçümleri zeminin düşey yöndeki profilini belirlemek için kullanılır. Boyuna kuvvet ölçümleri lastiğin hareket direncini, yol seviyelerinin etkilerini ve transmisyon performansındaki düzensizlikleri belirtmek için gereklidirler.

Buna ilave olarak düşey ve boyuna yöndeki kuvvet ölçümleri dinamik çekişte ve frenleme çalışmalarında kullanılmaktadır. Yanal kuvvet ölçümleri dönüşlere ilgi olan yanal kuvvetleri belirtir ve yanal lastik parametrik ölçümleri ve çalışmaları için kullanılırlar.

Eğer zemin sonsuz derecede sert ve düzgün ise, ön tekerlekler arka tekerleklerle aynı zemini ölçerler. Eğer zemin deforme olabiliyorsa, ön tekerlekler zemini ilk önce ölçerler. Arka tekerlekler ise ön tekerlekler tarafından deforme edilmiş zemini ölçerler. Sonuç olarak, tekerlek dinamik olarak aracın hareket yönünde dönerken zemin ile temastadır.

Test profilinin amacı düşey yöndeki zemin değişikliklerini test yolu boyunca mesafenin fonksiyonu olarak ölçmektir. DKÖT sisteminde zeminin düşey yöndeki ölçümü üç yönlü yük hücresinin aksa yerleştirilmesiyle herhangi bir süspansiyon veya asılı kütle titreşimlerinden ayrılmıştır. Aşağıdaki resimde gösterildiği gibi zemin profilleri ölçümleri yük hücresinin iki tarafındaki kuvvet dengesini içerir. ($F_1=F_2$)

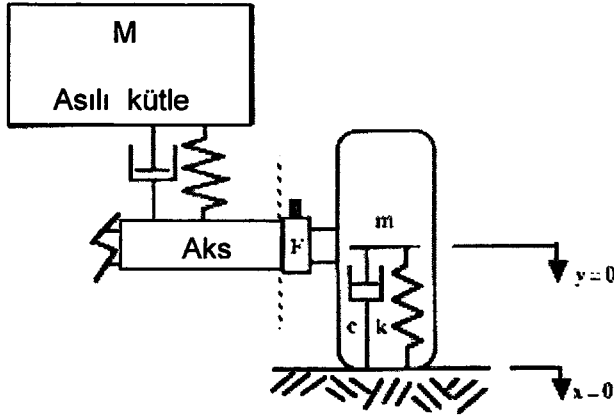


Şekil 3.3 DKÖT'nin Aks Sonunun Çeyrek Taşıtlı Modeli Olarak Gösterimi

Eğer ağırlık ön aksa transfer edilirse, yük hücresinin bir tarafındaki kuvvette meydana gelen artış diğer tarafındaki kuvvette meydana değişikliğe eşit olup değerce bu değer in işaretinin tersidir. Bu kuvveti eşitleyen fiziksel olay sapmadaki artıştır. Lastiklerin altındaki yol için referansın değişmediği kabul edilir. Eğer yerel koordinatların seti oluşturulursa yük hücresindeki kuvvet dengesi sabit zemin yüzeyine göre hareket eden aks veya sabit aksa göre hareket eden zemin yüzeyi cinsinden çalışılabilir. Arazi testlerinde iki durumun kombinasyonu söz konusudur.

Dinamik olarak, taşıt zeminde enine doğru hareket ederken süspansiyon üzerindeki kütle zıplama veya kafa vurma hareketi yaparsa ve de süspansiyon kendi doğal frekansında çalışırsa, zemin üzerinde taşıtın yapmış olduğu manevralar nedeni ile ortaya çıkan kuvvet ve hareketler aks sonunda karşı sapmalara ve ivmelere neden olacaktır. Yük hücresinin her iki tarafında bu manevralar sonucu oluşmuş kuvvetler birbirini yok ederler. Böylece geriye yük hücresinin atalet pozisyonuna göre zemindeki düşey yöndeki değişimlerden kaynaklanan kuvvet ve ivmeler kalır.

Yük hücresinin iki tarafında bulunan kuvvetlerin birbirini yok etmesini daha iyi anlamak için aşağıdaki resimde gösterildiği gibi DKÖT'nin aks sonu bir serbestlik dereceli kütle,yay ve sönüm elemanından oluşan bir sistem gibi düşünülür.



Şekil 3.4 Basit yay-kütle-sönüm elemanı ile temsil edilen DKÖT'nin aks sonu

Yay katsayısı "k" lastiğin sertliğidir. Sistemin kütlesi olan "m" yük hücresi haricindeki sistemde bulunan parçaların kütleleri toplamına eşittir. Sönüm katsayısı "c" radyal tabanlı lastiğin ufak orandaki sönüm miktarıdır. Yerel koordinatların seti DKÖT için oluşturulabilir. Şekil 3.4'de görülen örnek için taşıtın statik olduğu ve sert bir zemin üzerinde olduğu varsayılır. Zemin yüzeyi Şekil 3.4'de "x" olarak gösterilen sabit referans haline dönüşür. Benzer olarak yük hücresinin merkezinin statik yüksekliği Şekil 3.4'de "y" ile gösterilmiştir. Statik durumda düşey kuvvet hücresi sıfır ivme kaydeder. Bir başka deyişle, lastik üzerinde statik ağırlık yoktur. Akselometrede sıfır ivme kaydeder, çünkü statik 1g'lik ivme yoktur.

Şekil 3.4'de oluşturulan ölçüm sistemi ve yük hücresinin her iki tarafındaki taşıt dinamik kuvvetlerinin birbirlerini yok ettiğini göz önüne alarak Şekil 3.4'de görüldüğü gibi yük hücresinden itibaren bir hat çekilerek yük hücresinin üzerindeki bütün olaylardan bağımsız kalmak mümkündür. Yük hücresindeki şasi DKÖT sisteminde kuvvet dengesi için gereklidir. Fakat bunun yanında şasinin tek kullanışlı amacı taşıtı zemin üzerinde hareket ettirmek ve taşıta yön vermektir.

Taşıtın bütün zıplama, yalpalanma ve kafa vurma hareketleri taşıt zemin üzerinde bir engele çarpmadığı ve tekerlekler zemini terk etmediği sürece dengelenmiştir. DKÖT sistemi birbirinden bağımsız dört adet çeyrek taşıt modelleri olarak düşünülebilir.

Zeminin profili çıkarılırken, Şekil 3.4'deki "x" yönündeki düşey kesitin zaman veya mesafe bilgileri ile ilgilenilir. Zemin hızının bilinmesi ile, Şekil 3.4'de gösterilen "x" yönündeki düşey kesite ait bilgiler belirlenebilir ve düşey kesitin mesafeye karşı

olan grafikler ile temsil edilebilir. Asılı kütle M'in hareketi lastik tarafından desteklenmek zorunda olan yük hücrelerindeki kuvvetleri yaratacaktır.

En basit ifade ile bu ilişki $F=ma$ 'dır. Buna rağmen lastiğin yay ve sönüm elemanlarında depolanan enerji vardır. Bu nedenle Şekil 3.4'de "x" ile gösterilen zemindeki yerel sıfır ile Şekil 3.4'de "y" ile gösterilen yük hücresinin üzerindeki yerel sıfır karşılaştırılmalıdır. Bu koordinatlardaki herhangi bir farklılık modelde pozitif veya negatif kuvvetler ya da ivmeler şeklinde kendini gösterecektir.

Zeminin düşey yöndeki profilini hesaplamak için kullanılan ölçümü başarmak için, DKÖT zemini enine katederken tekerlek göbeğindeki yük hücresi düşey kuvvet F'i sürekli olarak ölçer. Lastik sisteminin hareket cevabını belirlemek için, yük hücresi üzerindeki akselometre kullanılır. İvmeler direk olarak ölçülür ve Şekil 3.4'deki "y" yerel ivmelerini temsil eder. İvmenin hızdaki değişim oranı olduğu göz önüne alınırsa, yerel hız elde etmek için akselometre çıkışını integre etmek mümkündür. Hızın da mesafedeki değişim oranı olduğu dikkate alınarak, hız Şekil 3.4'deki "y" ile gösterilen yerel yerdeğiştirmeyi elde etmek için integrere edilebilir. [2]

3.2 YOL PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN TAŞITLARA OLAN ETKİLERİNİ BELİRLEMEK İÇİN YAPILAN TESTLER

3.2.1 Test Yollarında Yapılan Testler

Bir otomotiv firması yeni araçlar geliştirmeye başladığında veya yeni pazarlara açıldığında sorulan soru her zaman aynıdır. Bu soru araç tarafından uzun süre deneyim edilecek yük profillerini yaratmak için yol profillerinin nasıl hesaplanması, nasıl ölçülmesi ve nasıl seçilmesidir. Çok açık bir şekilde ifade etmek gerekirse bu soruya bir gecede cevap bulunamaz. Her firma kendi filozofisini ve geleceğini göz önüne alarak kendi standartlarını geliştirmek zorundadır. Bu sebeple yük profillerini yaratmak için test yollarında veya laboratuvarlarda testler yapılmaktadır.

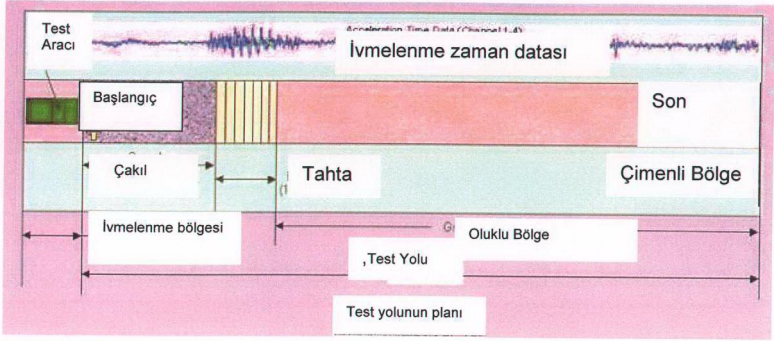
Aracın yüklenmesi aracın yolda nasıl sürüldüğüne bağlıdır. Birçok yol profili tek bir yoldan türetilir çünkü bu tek bir yol üzerinde birden fazla sürüş çeşidi vardır. Müşterilerin büyük çoğunluğu aynı tipteki araca çok geniş bir aralıkta dağılım gösteren yük spektrası yüklemektedirler ve herhangi bir ciddi olumsuzlukla karşılaşmayı beklememektedirler.

Yük profili müşterilerin belli bir model üzerine uyguladıkları yük spektrasına eşit veya onu kapsayan aracın dayanıklılık kriterini sağlamak zorunda olduğu verilen set halindeki yük spektrumudur. Düşük yükleme amplitudları araca araca önemli oranda değişiklik yaratmadıklarından bunların bir kısmı yük bilgisinin dışında bırakılabilirler. Sonuç olarak hasarlı bölgeleri içeren yol kesimleri araç müşteri tarafından kullanıldığı zamanki hasarı daha kısa sürede verecek olan yük periyotlarını aynı bulmak üzere karşılaştırılabilir.

İyi kurulmuş otomobil firmaları normal olarak yıllar boyunca bu işte elde etmiş oldukları büyük orandaki data ve deneyimlerinden yararlanırlar. Birçok ölçülmüş data mevcuttur. Test prosedürleri geçmişte oluşturulmuştur. Testler test yollarında veya otobanlarda gerçekleştirilmiştir. [3]

Bunların dışında test sürücülerini ile test yollarında ve otobanlarda yapılan testler esas olarak ele alınır. Fakat müşteri tarafından araç kullanıldığında aynı problemin oluşmayacağına garanti vermez. Yüksek yüklemeler genellikle sürücüler tarafından yaratılır. Sonuç olarak yük profilleri sadece test sürücülerini ile değil aynı zamanda ortalama normal sürücülerle elde edilmelidir.

Test yolları taşıtın kullanım ömrü boyunca maruz kalacağı yol koşulları göz önüne alınarak hazırlanmıştır. Şekil 3.5'de bir test yolunun planı görülmektedir. [4]



Şekil 3.5 Bir Test Yolunun Planı

Şekil 3.5'de görülen test yolu çakıl, tahta ve oluklu kısımları içermektedir.

Test yollarında yapılan testlerde yük profilini belirlemek için iki unsur incelenir. Bunlar;

- Taşıtın yapmış olduğu manevralar
- Taşıtın hatalı kullanımının taşıta olan etkileri

Manevralar A noktasından B noktasına yapılan seyahat boyunca tipik olarak belirmeyen özel olaylardır. Çamura veya kara sıkışmış aracı dışarıya çekmek manevra olarak düşünülebilir. Engeller ve yol üzerinde boyuna açılmış kanallardan geçmek başka çeşit manevralardır. Manevralar normal sürüş koşullarındaki yüklemeyi aşacak özel yükleme yaratabilirler. Bir pazarda diğerinde olmayan bir manevra çeşidi olabilir. Önemli bir manevrayı gözden kaçırmamak için dikkatli bir gözlem esastır. Başka bir tip manevra ise aracın değerlendirilmesinin bir parçası olarak üretici tarafından gerçekleştirilen manevralardır. Aracı bir dairenin içinde dairenin dışına çıkana kadar artan bir hızla sürmek bunlardan bir tanesidir. Çok dik bir yokuşta veya rampada aracı çalıştırmak diğer bir tanesidir.

Aracın dizayn edildiği yüklemeleri aşacağı yanlış tipte bir yükleme olabilir. Örneğin gelişmekte olan ülkelerde yapılan aşırı yükleme gibi. Araç üreticisinin bu durumun ciddi bir kazaya sebebiyet vermeyeceğinden emin olması gereklidir. Aksi takdirde

herkes üreticiyi suçlar. Aracın tamam olarak çalışması veya belli parçalarının hasara uğraması fakat herhangi bir ciddi kazaya yol açmaması kabul edilebilir.

Araçlar sık olarak kaldırım taşının sağ tarafına park edilirler. Bazı sürücüler aracı ileri veya geri hareket ettirmeden önce direksiyonu kilitleyene kadar çevirme eylemindedirler. Bu durum araç yanal olarak kaldırımdan itildiğinde gerçekten direksiyon sisteminde ağır bir yükleme meydana getirir. Bir taraftan bu durum aracın yanlış kullanılması, diğer taraftan ise araç servo direksiyon özelliğine sahip ve herkesin aracın bunu kaldırabileceğini düşünmesidir.

Taşıt test yollarında test edilmeden önce yol pürüzlülüğünün taşıtın çeşitli bölgelerine etkilerini ölçmek için taşıt üzerindeki çeşitli bölgelere strain-gageler yerleştirilir. Şekil 3.6'da Ford Branco görülmektedir.



Şekil 3.6 Ford Branco

Şekil 3.7'de ise Ford Branco üzerindeki bazı bölgelere yerleştirilmiş strain-gageler görülmektedir.

a)



b)



Şekil 3.7 Ford Branco'nun bazı bölgelerindeki strain gagelerin gösterimi

a) Sağ yedek lastik desteği

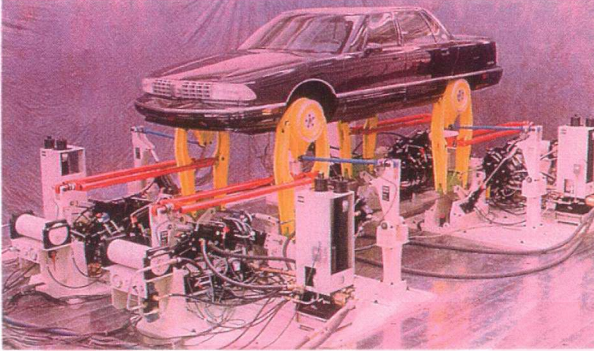
b) Direksiyon kolunu desteği [4]

3.2.2. Laboratuvar ortamında yapılan testler

Titreşimlere dayanıklılık, taşıtların sağlaması gereken önemli şartlardan biridir. Yoldan gelen titreşim uyarıları geniş bir frekans aralığında kritik salınımlara yol açmaktadır. Bu salınımlar üretilen her yeni model için gerek dayanıklılık gerekse konfor açısından incelenmektedir. Söz konusu kritik salınımların etkisi altında sistemin hangi zorlamalarla karşılaştığını etüd etmek ve sistemin yapısını optimize etmek üzere titreşim testleri yapılmaktadır. Bugün yaygın olarak kullanılan test yönteminde yük dataları test yollarında kaydedilmektedir. Test yollarında yapılan testler gerek zaman gerekse maliyet açısından yük getirmektedirler. Zamandan kazanmak ve yapılan harcamaların önüne geçmek için test yollarında yapılan testlere alternatif olarak laboratuvar ortamında testler yapılmaktadır.

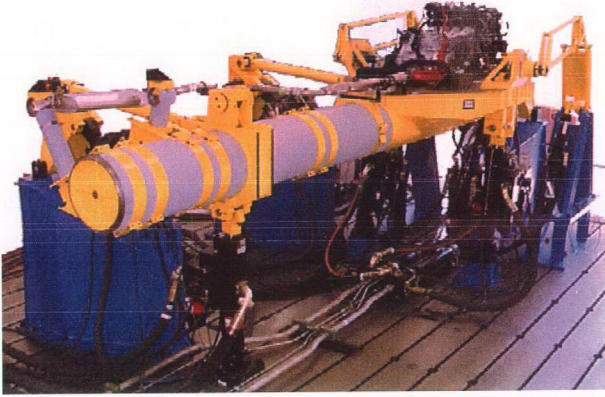
Mercedes-Benz 1993-C sınıfının geliştirilmesinden itibaren laboratuvar ortamında yapılan testlere güvendiğini rapor etmektedir. Fakat birçok otomobil firması şimdiye kadar test yollarında veya otobanlarda yapılan testleri tercih etmektedirler. Deney standlarında yapılan testleri ilave bilgi olarak kullanmaktadırlar. [5]

Laboratuvardaki deney standı çok akslı test donanımdır. Şekil 3.8'de bir çok akslı test donanımı görölmektedir.



Şekil 3.8 Tipik bir çok akslı test donanımı

Deney standı taşıtın bazı parçalarını test etmek üzere yapılabilir. Örneğin süspansiyon veya egzoz sistemlerini test etmek üzere yapılan deney standları Şekil 3.9'da egzoz sistemini test eden bir deney standı görölmektedir.



Şekil 3.9 Egzoz sistemini test eden bir deney standı

Çok akslı test donanımlarındaki işleticileri çalıştırmak için test yollarında ölçümü yapılmış yol profili gereklidir. Test mühendislerinin her zaman karşılaştığı problem ölçülen yol profillerinin çok akslı test donanımları üzerinde nasıl yaratılacağıdır. Geçmişten günümüze kadar yol profillerini yaratmak için bazı metotlar kullanılmıştır.

Bu metotlar;

- a) Sinüs Metodu
- b) Rastlantısal metot
- c) Gerçek zaman datası metodu

Titreşim test endüstrisinde ilk başlarda sallayıcıları çalıştırmak için sadece sinüs kontrolörleri mevcuttu. Meydana gelen sinüzoidal hareket basamak şeklindeki aralıklarının setine uygulanmaktaydı. Sinüs titreşimi mekaniksel rezonansları tanımlamak ve yorulma testlerini gerçekleştirmek için kullanışlı bir araç olmasına rağmen, gerçek test datasının yeniden üretilebilmesi için uygun değildir.

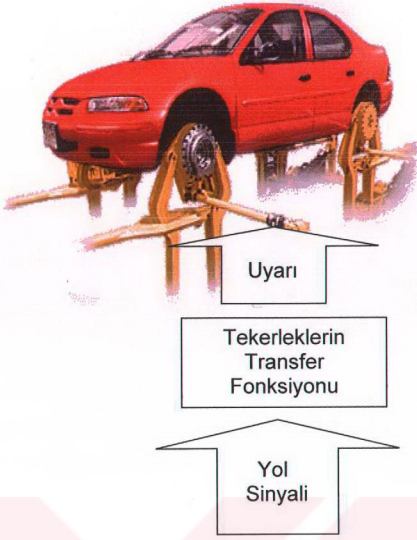
Sallayıcı kontrolörleri daha karmaşık olunca, rastlantısal titreşim testi kullanılmaya başlandı. Verilen bir band genişliğinde bulunan frekans bileşenleri her bir frekansta değişen titreşim amplitudları tarafından aynı anda uyarılırlar. Rastlantısal ses kaynağı sinüzoidal uyarı yerine sallayıcı sistemi çalıştırmak için kullanılır.

Rastlantısal titreşim bütün test ekipman rezonanslarını aynı anda uyarır ve gerçekçilik açısından sinüs testi ile karşılaştırıldığında test metodolijisini önemli ölçüde geliştirdi. Dijital kontrolörlerin tanıtılmasıyla test mühendislerinin laboratuvarda yapılan rastlantısal titreşimi kontrol etme ve şekil verme yetenekleri gelişti. Bunun sonucu olarak birçok test tarifnamesi sinüsten rastlantısal titreşimlere uyumlu olacak şekilde değiştirildi. Bütün bunlara rağmen titreşim test spefikasyonları gerçek yol datasının ortalamasını baz aldı.

Titreşim kaynaklarının geçerli spektral analizlerini başarmak için,zaman cinsinden yapılan birçok anlık sinyal ölçümleri titreşim spektrumunun istatistiksel yaklaşımını üretmek için bir araya getirilmelidirler. Bu istatistiksel yaklaşıma güç yoğunluk ölçümü denir. Spektrum ölçümlerinde potansiyel olarak önemli fakat düzensiz olarak meydana gelen titreşim olayları hesaba katılmaz.

Bu durum test mühendislerinin dayalı titreşim datasını test yollarından elde edilen zamana dayalı titreşim datasını titreşim test laboratuvarında tekrar üretememelerine sebep olur.

Test programı olarak gerçek yol datasını kullanmak taşıtın servis ömrü boyunca davranışı ve karşılaşılabileceği sorunlarla daha iyi bir korelasyon sağlar. Bir ürün için test yollarında elde edilen datanın laboratuvardaki sallayıcıları çalıştırmak için test referansı olarak kolaylıkla kullanılması yeni bir teknolojidir ve oldukça pahalıdır. Şekil 3.10'da test yollarında elde edilen datanın çok akslı test donanımı üzerinde kullanılması gösterilmiştir.



Şekil 3.10 Test yollarında elde edilen datanın deney standında kullanılması

Deney standına verilen giriş sinyalleri, prototip araçlarının tekerlek yerdeğiştirmesini hisseden sensörler ve akseloremetreler gibi cihazlarla donatılmasıyla test yollarında elde edilmektedir. Daha sonra bu sinyaller filtre edilerek deney standındaki ekipmanlarını çalıştıracak hale getirilir. Daha sonra filtre edilmiş bu sinyal Şekil 3.10'da görüldüğü gibi tekerleklerin transfer fonksiyonu ile çarpılarak deney standında bulunan işleticileri çalıştırmak için gereken uyarı elde edilir.

Deney standlarındaki ekipmanlar genellikle lineer olmayan özellikler gösterdikleri için, test yollarında elde edilen dataları elde etmek için iteratif proses gereklidir. Deney standlarında yapılan iterasyon her zaman yakınsamayabilir. Yakınsama sistemin lineer olmama tipine bağlıdır. [6]

3.3.3 Laboratuvarda Yapılan Testlerle Test Yollarında Yapılan Testlerin İntegrasyonu

Titreşimlere dayanıklılık aracın kalitesini belirleyen bir faktördür. Modelin geri çağırılmasına sebep olan bir yorgunluk sorunu varsa bu durum otomobil üreticisinin itibarını sarsar. Sonuç olarak her araba firması dayanıklılık faktörünü sağlamak zorundadır. En önemli soru bu durumun araba üreticisine olan maliyeti ve gerekli dayanıklılık kriterinin ne kadar zaman sonra yerine getirilebileceğidir. Maliyet ve zamanın azaltılması konusunda bir baskı olacağı açıktır ve bu durum hangi araba firmasının daha iyi olduğunu belirleyen bir faktördür. Bu prosesi önemli ölçüde geliştiren unsurlardan bir tanesi laboratuvarda yapılan testlerle test yollarında yapılan testlerin integrasyonudur.

Bahsedilen unsurların integrasyonu mantıklı gibi gözükmemektedir. Fakat birçok otomobil üreticisi için durum böyle değildir. Tarihsel,tekniksel ve organizasyondan kaynaklanan sebepler laboratuvarda yapılan testlerle test yollarında yapılan testlerin integrasyonuna engel olmaktadır. Bu testlerin integrasyonu için bu sebeplerin ortadan kalkması gerekir.

Servo hidrolik deney standları 60'larda, çok yönlü yol simulatörleri ise 70'lerde geliştirildiler. 80'lerde yorulma ömrünün hesabı pratik uygulamalarla yapılmaya başladı. Başlangıçta araç optimizasyonu ve dayanıklılık verifikasyonu yol testlerine göre yapılmakta idi. Çok büyük departmanlar bunun için oluşturulmuştu.Yol testi yapan insanlar tarafından deney standında yapılan test simülasyonu ilk başta pek ciddiye alınmamıştı. Daha sonra deney standında yapılan testlerin firmalar arasındaki rekabeti etkileyebileceği anlaşıldı.

Bu tarihsel sebeplerin doğmasına insanlar ve departmanlar arasındaki kopukluk sebep olabilir. İnsanların farklı eğitim seviyeleri ve alt yapıları iyi iletişimi ve dayanışmayı engelleyebilir.

Büyük firmalarda yol testi yapan insanlar araç geliştiren insanlardan ayrılmıştır çünkü iki grupta birbirlerinden farklı alanlarda çalışmaktadırlar. Deney standı testleri yapan insanlar da dizayn departmanlarının bir parçası olabilecek yorulma hesabı uzmanlarından ayrılmıştır. Teknik sorunlar bu sorunlarla karşılaştırıldığında üstesinden gelinebilecek sorunlardır. Sebeplerinin listesi tam olarak verilemez bu sebepler firmaların integre olmuş prosesten yararlanmalarını engelleyen zorlukları tanımlar.

Her disiplinin özel avantajları ve sınırları vardır. Yorulma hesabı parametre değişikliklerinin hızlı ve düşük maliyetle yapılmasına imkan verir. Kesin ömür hesaplamaları birçok durumda doğru değildir. Kapalı ortamda yapılan testler tam olarak tekrar yapılabilir ve gözlenebilir. Yol testleri ile karşılaştırıldığında kapalı ortamda yapılan testler zamandan tasarruf sağlar. Fakat yol testleri kadar kesin sonuç vermezler. Yol testi en gerçekçi testtir. Fakat parametreleri araştırmaları zaman alıcıdır ve birçok durumda kötü istatistiksel sonuçlar verir. İntegre olmuş bir prosesi oluşturmak ve geliştirmek önemlidir. Bu prosesi yazılı olarak yazılmalı ve bu prosese firmadaki herkesin uyması sağlanmalıdır.

3.4 Laboratuvar ve Test Yollarında Yapılan Testlerde Kullanılan Ölçüm Cihazları

Laboratuvar ve test yollarında yapılan testlerde benzer ölçüm cihazları kullanılmaktadır. Bu cihazlar iki gruba ayrılabilir.

- a) Strain-gage'ler
- b) Kuvvet Kaptörleri
- c) Data sınıflandırma sistemleri

3.4.1 Strain-gageler

Strain-gage'ler laboratuvar ve yol testlerinde yaygın olarak kullanılan ölçüm cihazlarıdır. Fakat taşıt üzerinde bazı noktalara yerleştirildikleri zaman hassas ölçüm yapamazlar. McPherson süspansiyonunda olduğu gibi bazı durumlarda tekerlek yükleri ile iyi kolerasyon veren noktayı bulmak çok kolaydır. Tekerleğin direksiyon açısından kaynaklanan geometrik etkilerinden (kingpin açısı, kaster açısı) dolayı teker direksiyon yönüne tam dik değildir. Bu sebeple geometrik etkiler gözönüne alınmalıdır. Gerekli köprü dizaynı kullanılarak sinyallerin karışması önlenir.

Daha kompleks süspansiyon dizaynlarında strain-gage'lerin nereye yerleştirileceği konusunda sonlu elemanlar metodu gerekli olabilir. Strain-gage'lerin takıldığı kontrol kolları ve direksiyon kolu kullanımı çok yaygındır.

Fakat geçerli datanın elde edilmesi deneyim gerektirir. Çok yönlü yol simulatörlerinde yapılan tekrar üretimde ikinci etkiler (geometrik veya nonlineerlik) görüldüğünden fazla önemsenmez. Fakat birçok durumda kalan hataların ihmal edilemeyeceği açıktır.

Sinyal kalitesini etkileyen en önemli etkilerden biri gerilmelerin ölçüldüğü uzak yerlerle yüklerin uygulandığı lastik ile yolun arakesiti arasındaki transfer fonksiyonlarıdır. Bu iki mesafe arasındaki tüm yük yolu ölçülen sinyallerden çok etkilenmektedir.

Geometrik etkilerin, sinyallerin karışmasının ve dinamik transfer fonksiyonlarındaki belirsizliklerin önlenememesi ve strain-gage'ler için uygun yer bulunamamasından dolayı strain-gage'lerle yapılan ölçümler zaman alıcı ve pahalıdır.

3.4.2 Kuvvet kaptörleri

Tekerleğe etki eden yük vektörünün bir bileşenine hassas olacak süspansiyon parçalarını kalibre etmek, strain-gage takmak ve modifiye etmek zaman alıcıdır ve deneyim gerektirir. Kötü hassasiyet kötü sinyal kalitesine sebep olur. Birden fazla bağlantıya sahip olan modern süspansiyon dizaynında dış yük bileşenine hassas olan noktaları bulmak güç hatta imkansızdır.

Üzerinde ölçüm yapılacak olan elemanlarının sayısının ve buna bağlı olarak çok yönlü yol simulatörünün çalışması için gerekli olan sürücü dosyalarını üretmek amacıyla kare matris olmayan iteratif transfer fonksiyonunun yazılımının artması, sensörlerin kanal sayısını, dataların toplanması için gerekli olan zamanı ve en önemlisi masrafı artırır. Hatalar birikir ve artar. Deney standının kurulması daha komplike bir hal alır.

Taşıttaki yük temas noktaları tekerlerdir. Lastik temas yolundan bilyalı mafsallara kadar olan kuvvet yolu tekeri, jantı, tekerlek göbeğini, lastik rulmanlarını ve oynak mafsalı içerir. Dinamik ve statik yükleme sırasında var olan geometrik transfer fonksiyonlarına direksiyon ve tekerlek yer değiştirmesi gibi kinematik etkiler sebep olur. Bağlantı elemanlarının dinamik olarak değişen sönüm karakteristikleri ve atalet etkileri dinamik transfer fonksiyonlarını statik transfer fonksiyonlarından daha kötü yapar.

Başlangıçta küçük gözükken hatalar düşey kuvvette oldukça önemli hatalara sebep olurlar. Amotisörlerin kuvveti yerdeğiştirme hızına ve sönüm hızına ve sönüm sıvısının sıcaklığına bağlı olmasından dolayı aynı durum yerdeğiştirme hızı içinde geçerlidir.

Eğer deney standında yapılan testler boyunca hızın ve amortisör sıcaklığının sapmaları yolda yapılabilen data toplama prosesi ile karşılaştırılabiliyorsa yüklemenin deney standı üzerinde tek tek üretimi, tekerlek yer değıştirmesi kontrol edici değışken olarak kullanıldığı sürece hatalıdır. Benzer durumda düşey kuvvetlerin kontrolü süspansiyonun daha doğru yüklenmesini sağlar. Fakat, hız sapmalarından ve sıcaklıktan dolayı amortisör kuvvetleri hala hatalıdır. Akselometre sinyallerinin tekrar üretilmesi çok güçtür. Birçok durumda sadece genel ivme spektrası yeterli doğrulukla simüle edilebilmektedir.

Tekerlek kaptörlerinin kullanılması yukarıda bahsedilen strain-gage'lerle yapılan ölçüm sırasında meydana gelen olumsuzlukları önler. Bu sensörlerin oldukça yüksek yatırım maliyetine rağmen bu metodun teknik ve ekonomik olarak diğer yaklaşımlardan daha iyi olduğu anlaşılmıştır. Şekil 3.11'de kuvvet kaptörü test edilmekte olan bir aracın üzerinde görölmektedir.



Şekil 3.11 Bir taşıt üzerindeki kuvvet kaptörü

Kuvvet kaptörleri frenleme sırasında ortaya çıkan ısıdan etkilenmelerinden ötürü çelik, alüminyum ve titanyum gibi materyallerden yapılmaları fiber kompozit materyallerden yapılmalarına göre daha iyidir. Fiber kompozit materyallerde meydana gelen hasar kolay tespit edilemez ve bu hasar sürücü güvenliğini de etkileyebilir.

Tekerlek kuvvetleri dönel sensörler veya strain-gage köprüleri kullanılarak elde edilmelidirler. Bu sinyalleri aracın koordinat sistemi ile uyumlu hale getirmek için tekerleğin dönme pozisyonunun açışifre çözücüsü tarafından hissedilmesi gerekir. Eğer bu açışifre çözücüsü aks mafsalına monte edilirse mafsalın boyuna düzlemde herhangi bir açısal hareketi yük hatalarını etkiler. Mafsalın dönüşü ön tekerden direksiyonlu araçlarda süspansiyon dizaynına bağlı gözükmemektedir.

Adaptörlerin kullanılmasıyla tek kaptörleri çok kısa bir süre içerisinde farklı taşıtlara takılabilirler. Şekil 3.12'de farklı taşıtlar için çeşitli boylardaki kuvvet kaptörleri görülmektedir.



Şekil 3.12 Çeşitli boylardaki kuvvet kaptörleri

Kuvvet kaptörleri oldukça pahalı sensörlerdir. Sonuç olarak ölçüm ekipmanının yapılan ilk yatırımı yüksektir. Fakat kuvvet kaptörleri süspansiyon elemanlarına takılan strain-gage'lerle karşılaştırıldığında farklı tipteki araçlara hızlı ve kolay bir şekilde takılabilirler ve böylece zaman ve para kaybı önlenmiş olur. Daimler-Benz kuvvet kaptörlerini yol profili değerlendirilmesi ve yük profilinin üretilmesi için 20 yılı aşkın süredir kullanmaktadır.

Kuvvet kaptörlerinin avantajları

- Tekerlek kuvvetleri kesin olarak ölçülebilir
- Tekerlek kuvvetleri lastik ile yolun arakesitine süspansiyon parçalarından daha yakındır.
- Ölçüm sistemlerinin sayısı azalmış böylelikle hatalar önemli oranda düşmüştür.
- Yükleme simulasyonu daha kesindir. Dolayısıyla simülasyon kalitesi artmıştır.
- Kuvvet/Moment kontrol döngüleri, ivme kontrol döngülerine göre daha kolay kontrol edilebilirler. [7]

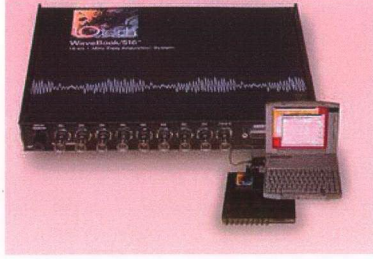
3.4.3 Data Sınıflandırma Sistemeleri

Günümüzde farklı data sınıflandırma sistemleri mevcuttur. Ekipmanın boyu, örneklendirme oranları, kanalların sayısı, her bir ünite için olan maliyet çok yönlülük daa sınıflandırma sistemleri için göz önüne alınması gereken parametreler olabilir.

Data sınıflandırma sistemleri genellikle 16 ile 64 analog data girişine imkan verirler. Taşıt üzerindeki dar bölgelere takılmak üzere dizayn edilmişlerdir. Sonuç olarak çok yönlüdürler ve yol profili ölçümleri sırasında esnek kullanıma imkan verirler. Firma arabaları ve nakliye yapan hafif kamyonet gibi taşıtlara takılabilirler. Böylelikle gün ve gün bu taşıtlardan data toplanabilir.

Data sınıflandırma sistemlerinde ölçüm uzmanı veya eğitimli bir teknisyene ihtiyaç yoktur. Çünkü sistem hafıza kartının takılması ile haftalar hatta aylar boyunca çalışabilir. Data transferi kişisel bilgisayara seri olarak bağlı hafıza kartı, cep telefonu veya uydu bağlantısı aracılığı ile yapılabilir.

Data uzak test yollarından laboratuvara transfer edilebilir. Uzmanlar laboratuvarında kalırken parametreleri değiştirebilirler. Önemli datalar taşıtı test yollarından laboratuvara getirmeden kontrol edilebilir. Böylelikle testlerin tekrarının önüne geçilmiş olunur. Şekil 3.12'de resimde bir data sınıflandırma sistemi görülmektedir.



Şekil 3.12 Data sınıflandırma sistemi

4 TAŞIT TİTREŞİM MODELLERİ VE HAREKET DENKLEMLERİ

4.1 TAŞIT TİTREŞİMLERİ

Seyir halindeki taşıtlar, esas olarak yoldan gelen uyarılarla titreşim yaparlar. Bu titreşimler genellikle 0 Hz ile 25 Hz frekans aralığında olmaktadır.

Yoldan genel uyarılar, tekerlekler aracılığı ile, gövdede bulunan yay ve sönüm elemanları aracılığı ile yay ve sönüm elemanları üzerinden gövdeye geçerler. Tekerlekler, düşey hareketlere ilaveten, taşıt düz seyreitse bile, tekerlek asılış sistemlerine bağlı olarak, kamber açısı hareketleri yapıp, yan kuvvetler doğurabilirler.

Bilindiği gibi, uzayda serbestçe hareket edebilen bir cisim, altı serbestlik derecesine sahiptir. Bunlar, üç öteleme ve üç dönme hareketinden oluşur. Taşıtın bir gövde ve dört bağımsız akstan meydana geldiği düşünüldüğünde, taşıtın modeli 30 serbestlik derecesine sahip olur. Fakat bu hareketlerden bazıları ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi taşıt gövdesi üçü doğrusal ve üçü açısal hareket olmak üzere toplam altı hareket yapar.

Bunlar ,

a) Öteleme hareketi

x_2 eksenı boyunca titreşim hareketi (ileri geri frenleme esnasında kendini gösterir.)

y_2 eksenı boyunca titreşim hareketi (yana kayma, yandan çarpma ve yan etkilerde ortaya çıkar)

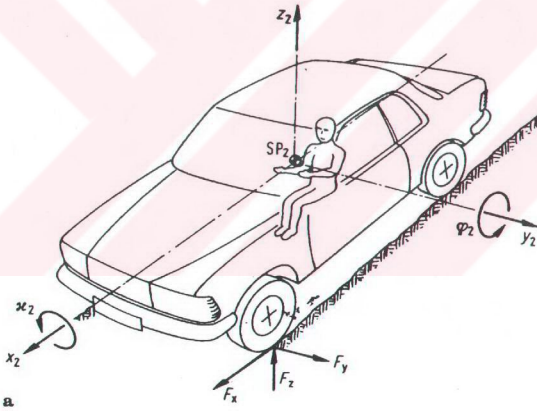
z_2 eksenı boyunca titreşim hareketi (aşağı yukarı)

b) Dönme hareketleri

x_2 eksenı etrafında (Yalpa)

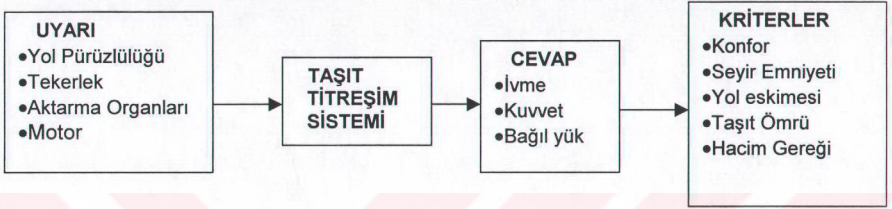
y_2 eksenı etrafında (Kafa Vurma)

z_2 eksenı etrafında (Savrulma)



Şekil 4.1 Taşıt gövdesinin titreşim hareketleri

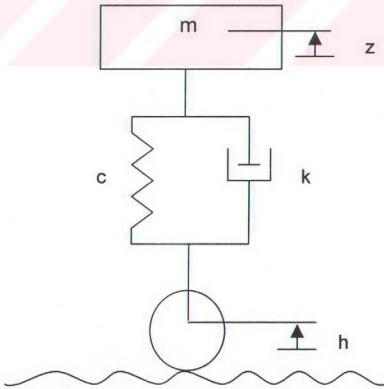
Taşıtta meydana gelen titreşimler, çeşitli kuvvet salınımlarına sebep olurlar. Bunlardan tekerlek yükü salınımları tekerleklerin yol ile temasını etkilemekte, bu temasın azalması seyir emniyetini azaltırken, artması da yol yıpranmasını çoğaltmaktadır. Taşıtta görülen diğer kuvvet salınımları da taşıt elemanlarının mukavemetine tesir edip ömürlerini kısaltmaktadır. Taşıt titreşim sistemi için genel blok bir şema Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Taşıt titreşim sistemi blok şeması [8]

4.2 TEK KÜTLELİ BİR SERBESTLİK DERECELİ TAŞIT TİTREŞİM MODELİ

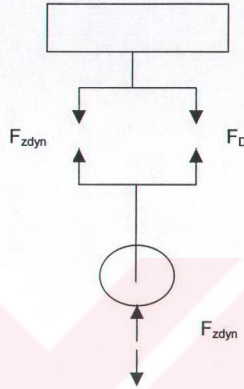
Bu modelde taşıt Şekil 4.3'de görüldüğü gibi tek kütleye sahiptir.



Şekil 4.3 Tek kütleli bir serbestlik dereceli taşıt titreşim sistemi

Şekil 4.3'te görülen tek kütleli bir serbestlik dereceli titreşim sisteminin hareket denklemini çıkarmak için titreşim sistemine etki eden kuvvetlerin bilinmesi gerekir.

Şekil 4.4'te tek kütleli bir serbestlik derecesine etki eden kuvvetler görülmektedir.



Şekil 4.4 Tek kütleli taşıt titreşim sistemine etki eden kuvvetler

F_{zdyn} : Yay kuvveti

F_D : Sönüm kuvveti

Şekil 4.3'te görülen "m" kütlelerinin hareket denklemi,

$$m\ddot{z} = -F_{Fdyn} - F_D \quad (4.1)$$

Dinamik yay kuvveti,

$$F_{Fdyn} = c(z-h) \quad (4.2)$$

Sönüm kuvveti

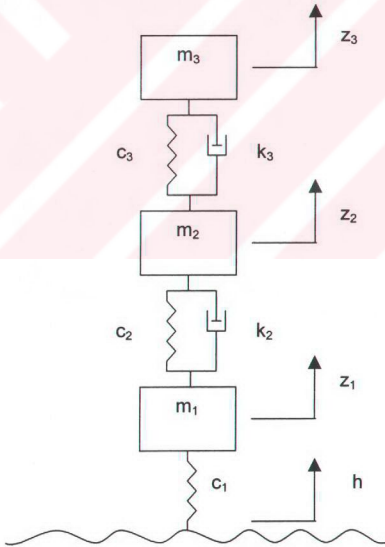
$$F_D = k(\dot{z} - \dot{h}) \quad (4.3)$$

Tek kütleli bir serbestlik dereceli taşıt titreşim sisteminin hareket denklemi (4.2) ve (4.3)'nolu denklemler (4.1)'nolu denkleme yerleştirilerek elde edilir. Buna göre, tek kütleli bir serbestlik dereceli taşıt titreşim sisteminin hareket denklemi,

$$m\ddot{z} + k\dot{z} + cz = kh + ch \quad (4.4)$$

4.3 ÜÇ KÜTLELİ ÜÇ SERBESTLİK DERECELİ TİTREŞİM SİSTEMİ

Üç kütleli üç serbestlik dereceli titreşim sistemi adından da anlaşılacağı üzere üç kütleden meydana gelmektedir. Kütleler birbirlerine yay ve sönüm elemanları ile bağlıdır. Şekil 4.5'te üç kütleli üç serbestlik dereceli titreşim sistemi görülmektedir.



Şekil 4.5 Üç kütleli üç serbestlik dereceli taşıt titreşim sistemi

Şekil 4.5'te görüldüğü gibi lastik bir yay ile temsil edilmiştir.

Üç kütleli üç serbestlik dereceli taşıt titreşim sisteminde,

m_1 : Aks kütlesi

m_2 : Gövde kütlesi

m_3 : Koltuk gövdesi

h : Yoldan gelen uyarıdır.

Üç kütleli üç serbestlik dereceli taşıt titreşim sisteminin hareket denklemleri üç tanedir. Bu denklemler sırasıyla,

a) Koltuğun hareket denklemi

b) Gövdenin hareket denklemi

c) Aksın hareket denklemi

Koltuğun hareket denklemi,

$$m_3 \ddot{z}_3 + k_3 (\dot{z}_3 - \dot{z}_2) + c_3 (z_3 - z_2) = 0 \quad (4.5)$$

Gövdenin hareket denklemi,

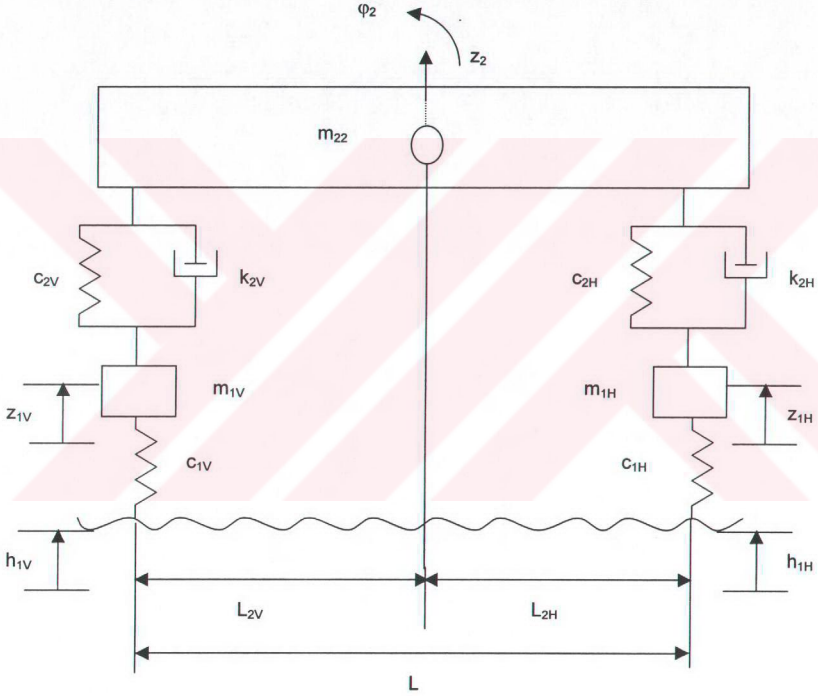
$$m_2 \ddot{z}_2 - k_3 (\dot{z}_3 - \dot{z}_2) - c_3 (z_3 - z_2) + k_2 (\dot{z}_2 - \dot{z}_1) + c_2 (z_2 - z_1) = 0 \quad (4.6)$$

Aksın hareket denklemi,

$$m_1 \ddot{z}_1 - k_2 (\dot{z}_2 - \dot{z}_1) - c_2 (z_2 - z_1) + c_1 z_1 = c_1 h \quad (4.7)$$

4.4 İKİ BOYUTLU TEK İZLİ TAŞIT TİTREŞİM MODELİ

İki boyutlu titreşim modeli Şekil 4.6'da görüldüğü gibi gövde, iki aks kütlesi ve bu kütleleri birbirine bağlayan yay ve sönüm elemanlarından oluşmuştur.



Şekil 4.6 İki boyutlu tek izli taşıt modeli

İki boyutlu tek izli taşıt titreşim modeli şimdiye kadar tanıtılan modellerden farklı olarak kafa vurma hareketi yapar. İki boyutlu tek izli taşıt titreşim modeli gövdenin düşey yönde hareketi ve kafa vurma hareketi , ön aksın ve arka aksın düşey yöndeki hareketinden dolayı dört serbestlik derecesine sahiptir.

Şekil 4.6'da görülen iki boyutlu tek izli taşıt titreşim modelinde,

m_{22} : Taşıt gövdesinin kütlesi

m_{1V} : Ön aksın kütlesi

m_{1H} : Arka aksın kütlesi

k_{2V} : Ön aksı gövdeye bağlayan sönüm elemanın katsayısı

k_{2H} : Arka aksı gövdeye bağlayan sönüm elemanın katsayısı

c_{2V} : Ön aksı gövdeye bağlayan yay elemanın katsayısı

c_{2H} : Arka aksı gövdeye bağlayan yay elemanın katsayısı

c_{1V} : Ön tekerleği ön aksa bağlayan yay elemanın katsayısı

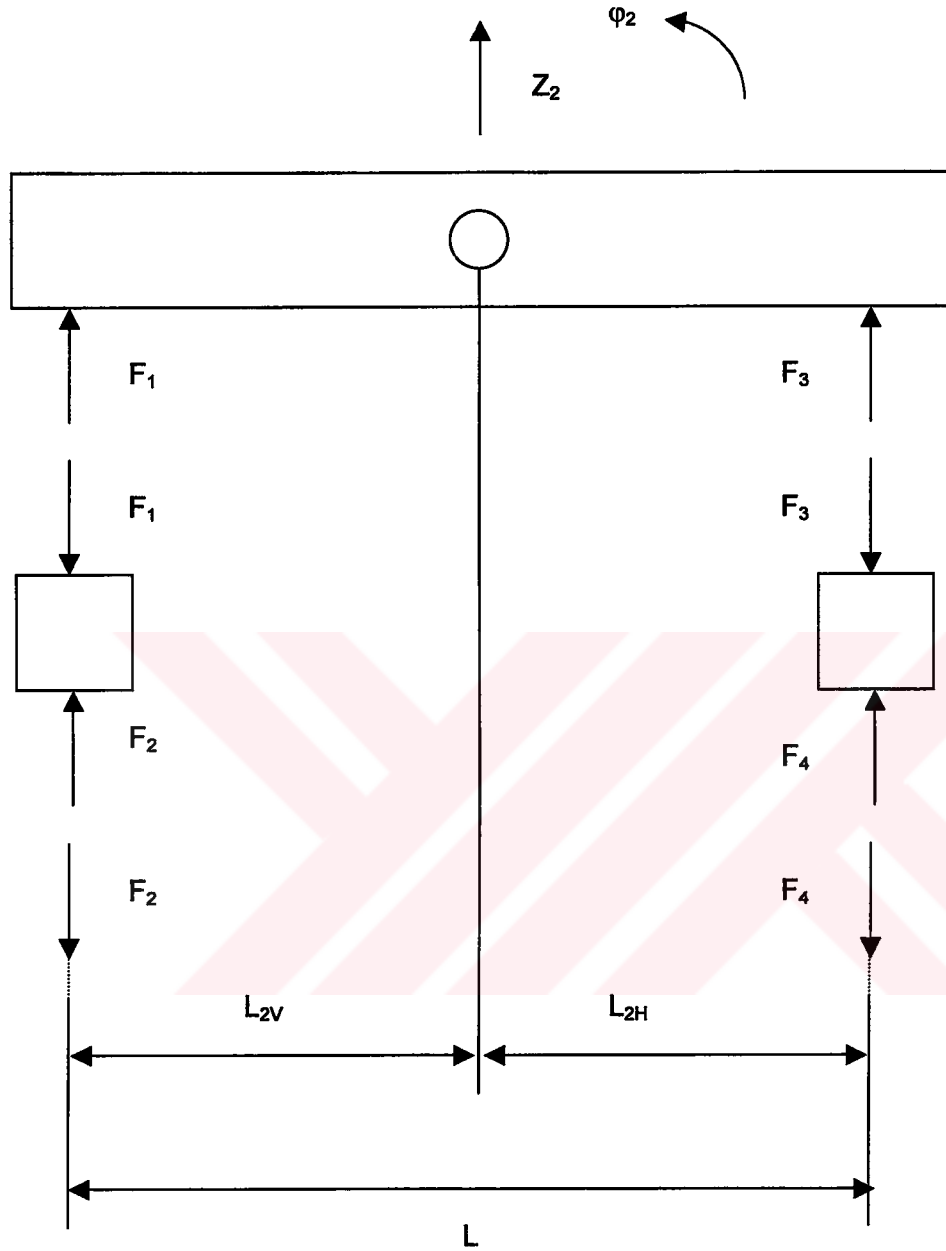
c_{1H} : Arka tekerleği arka aksa bağlayan yay elemanın katsayısı

L_{2V} : Ön aksın taşıt ağırlık merkezine olan mesafesi

L_{2H} : Arka aksın taşıt ağırlık merkezine olan mesafesi

L : Taşıtın uzunluğu

Şekil 4.7’de iki boyutlu tek izli taşıt titreşim modeline etki eden kuvvetler görülmektedir.



Şekil 4.7 İki boyutlu tek izli modele etki eden kuvvetler

Taşıt gövdesine ait hareket denklemini elde etmek için ilk önce gövdenin ön aks üzerinde z_{2V} ve arka aks üzerinde z_{2H} deplasmanlarına sahip olduğu kabul edilir.

Buna göre Şekil 4.7'deki kuvvetler ;

$$F_1 = k_{2V} \cdot (\dot{z}_{2V} - \dot{z}_{1V}) + c_{2V} \cdot (z_{2V} - z_{1V}) \quad (4.8)$$

$$F_2 = c_{1V} \cdot (z_{1V} - h_{1V}) \quad (4.9)$$

$$F_3 = k_{2H} \cdot (\dot{z}_{2H} - \dot{z}_{1H}) + c_{2H} \cdot (z_{2H} - z_{1H}) \quad (4.10)$$

$$F_4 = c_{1H} \cdot (z_{1H} - h_{1H}) \quad (4.11)$$

Taşıt gövdesinin hareket denklemini Şekil 4.7'ye göre

$$m_{22} \cdot \ddot{z}_2 = -F_1 - F_3 \quad (4.12)$$

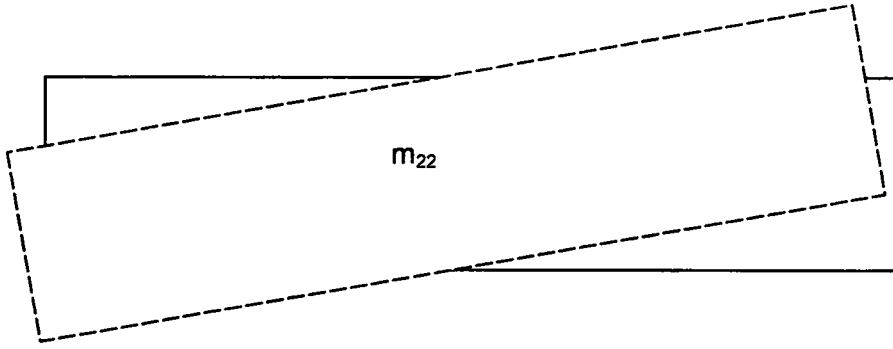
$$m_{22} \cdot \ddot{z}_2 + -F_1 - F_3 = 0 \quad (4.13)$$

(4.13) denklemine (4.8) ve (4.9) no'lu denklemler yerleştirilirse,

$$m_{22} \cdot \ddot{z}_2 + k_{2V} \cdot (\dot{z}_{2V} - \dot{z}_{1V}) + k_{2H} \cdot (\dot{z}_{2H} - \dot{z}_{1H}) + c_{2V} \cdot (z_{2V} - z_{1V}) + c_{2H} \cdot (z_{2H} - z_{1H}) = 0 \quad (4.14)$$

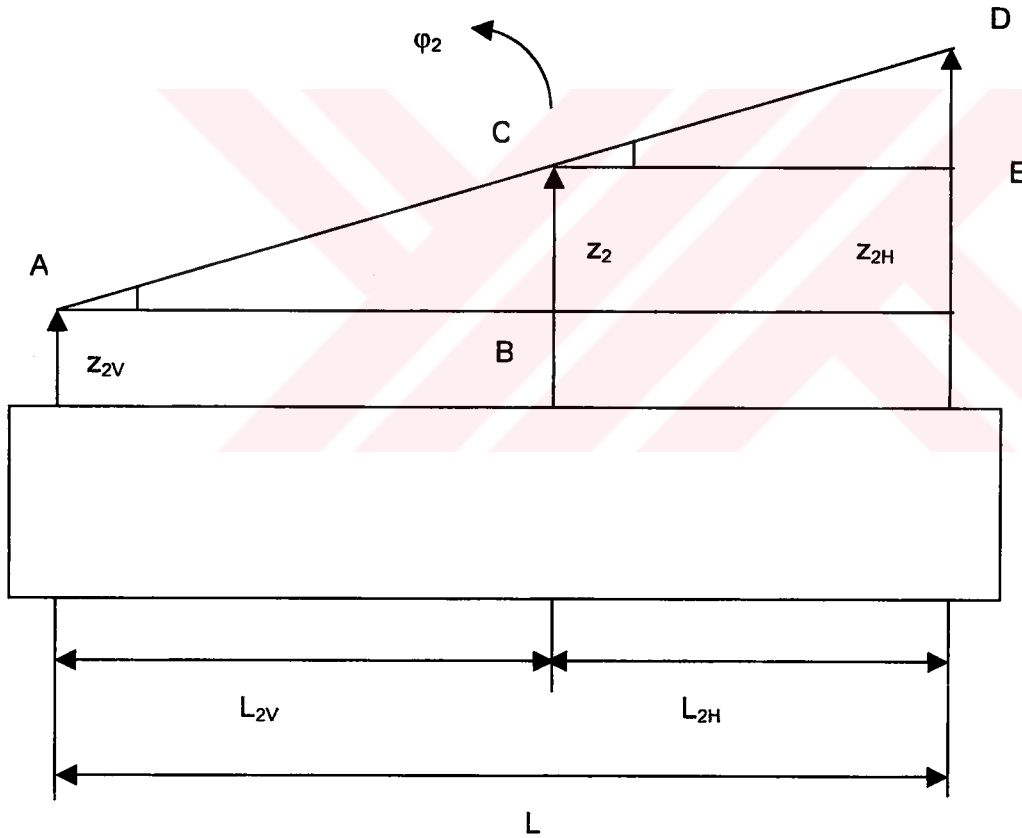
(4.14) denkleminde bulunan z_{2V} ve z_{2H} ifadelerini bulmak için taşıt gövdesinin kafa vurma hareketini anlamak gerekir.

Şekil 4.8'de kafa vurma hareketinin simülasyonu görülmektedir.



Şekil 4.8 Kafa vurma hareketinin simülasyonu

Kafa vurma hareketi nedeni ile meydana gelen deplasmanlar Şekil 4.9'da görülmektedir.



Şekil 4.9 Kafa vurma hareketi ile meydana gelen deplasmanlar

Şekil 4.9'a göre φ_2 kafa vurma açısı küçük olduğu için ABC üçgeninde BC kenarı

$$BC = L_{2V} \cdot \varphi_2 \quad (4.15)$$

z_{2V} deplasmanı Şekil 4.9'a göre,

$$z_{2V} = z_2 - L_{2V} \cdot \varphi_2 \quad (4.16)$$

Şekil 4.9'a göre φ_2 kafa vurma açısı küçük olduğu için CDE üçgeninde DE kenarı

$$DE = L_{2V} \cdot \varphi_2 \quad (4.17)$$

z_{2H} deplasmanı Şekil 4.9'a göre,

$$z_{2H} = z_2 + L_{2H} \cdot \varphi_2 \quad (4.18)$$

Taşıt gövdesinin hareket denklemi , (4.17) ve (4.18) denklemleri ile belirtilen z_{2V} ve z_{2H} değerlerinin (4.14)'nolu denklemdeki yerlerine konmasıyla elde edilir.

Taşıt gövdesinin hareket denklemi,

$$m_2 \ddot{z}_2 + (k_{2V} + k_{2H}) \dot{z}_2 + (c_{2V} + c_{2H}) z_2 - (k_{2V} \cdot L_{2V} - k_{2H} \cdot L_{2H}) \dot{\varphi}_2 - (c_{2V} \cdot L_{2V} - c_{2H} \cdot L_{2H}) \varphi_2 - k_{2V} \dot{z}_{1V} - k_{2H} \dot{z}_{1H} - c_{2V} z_{1V} - c_{2H} z_{1H} = 0 \quad (4.19)$$

Şekil 4.7'ye göre ön aksın hareket denklemi,

$$m_{1V} \ddot{z}_{1V} = F_1 - F_2 \quad (4.20)$$

$$m_{1V} \ddot{z}_{1V} - F_1 + F_2 = 0 \quad (4.21)$$

(4.21) denklemine (4.8) ve (4.9) denklemleri yerleştirilirse,

$$m_{1V} \ddot{z}_{1V} - k_{2V} (\dot{z}_{2V} - \dot{z}_{1V}) - c_{2V} (z_{2V} - z_{1V}) + c_{1V} (z_{1V} - h_{1V}) = 0 \quad (4.22)$$

(4.22) denklemi düzenlenirse,

$$m_{1V} \cdot \ddot{z}_{1V} - k_{2V} \cdot (\dot{z}_{2V} - \dot{z}_{1V}) + (c_{2V} + c_{1V}) z_{1V} - c_{2V} \cdot z_{2V} = c_{1V} \cdot h_{1V} \quad (4.23)$$

(4.23) denkleminde z_{2V} terimi yerine (4.17) denklemi konursa,

$$m_{1V} \cdot \ddot{z}_{1V} - k_{2V} \cdot (\dot{z}_2 - L_{2V} \cdot \dot{\phi}_2 - \dot{z}_{1V}) + (c_{2V} + c_{1V}) z_{1V} - c_{2V} (z_2 - L_{2V} \cdot \phi_2) = c_{1V} \cdot h_{1V} \quad (4.24)$$

Şekil 4.7'ye göre arka aksın hareket denklemi,

$$m_{1H} \cdot \ddot{z}_{1H} = F_3 - F_4 \quad (4.24)$$

$$m_{1V} \cdot \ddot{z}_{1H} - F_3 + F_4 = 0 \quad (4.25)$$

(4.21) denklemine (4.10) ve (4.11) denklemi yerleştirilirse,

$$m_{1H} \cdot \ddot{z}_{1H} - k_{2H} (\dot{z}_{2H} - \dot{z}_{1H}) - c_{2H} (z_{2H} - z_{1H}) + c_{1H} (z_{1H} - h_{1H}) = 0 \quad (4.26)$$

(4.26) denklemi düzenlenirse,

$$m_{1H} \cdot \ddot{z}_{1H} - k_{2H} (\dot{z}_{2H} - \dot{z}_{1H}) + (c_{2H} + c_{1H}) z_{1H} - c_{2H} \cdot z_{2H} = c_{1H} \cdot h_{1H} \quad (4.27)$$

(4.27) denkleminde z_{2H} terimi yerine (4.18) denklemi konursa,

$$m_{1H} \cdot \ddot{z}_{1H} - k_{2H} (\dot{z}_2 + L_{2H} \cdot \dot{\phi}_2 - \dot{z}_{1H}) + (c_{2H} + c_{1H}) z_{1H} - c_{2H} (\dot{z}_2 + L_{2H} \cdot \phi_2) = c_{1H} \cdot h_{1H}$$

Taşıt gövdesinin moment denklemi J_{2Y} gövdenin atalet momenti olmak üzere,

Şekil 4.7'ye göre

$$J_{2Y} \cdot \ddot{\phi}_2 = -F_3 \cdot L_{2H} + F_1 \cdot L_{2V} \quad (4.28)$$

$$J_{2Y} \cdot \ddot{\phi}_2 + F_3 \cdot L_{2H} - F_1 \cdot L_{2V} = 0 \quad (4.29)$$

(4.29) denklemine (4.8) ve (4.10) denklemleri eklenirse,

$$J_{2Y} \ddot{\phi}_2 + [k_{2H}(\dot{z}_{2H} - \dot{z}_{1H}) + c_{2H}(z_{2H} - z_{1H})] \cdot L_{2H} - [k_{2V}(\dot{z}_{2V} - \dot{z}_{1V}) + c_{2V}(z_{2V} - z_{1V})] \cdot L_{2V} = 0 \quad (4.30)$$

(4.30) denkleminde bulunan z_{2H} ve z_{2V} terimlerinin yerine (4.16) ve (4.17) denklemleri konursa,

$$J_{2Y} \ddot{\phi}_2 + [k_{2H}(\dot{z}_2 + L_{2H} \dot{\phi}_2 - \dot{z}_{1H}) + c_{2H}(z_2 + L_{2H} \phi_2 - z_{1H})] \cdot L_{2H} - [k_{2V}(\dot{z}_2 - L_{2V} \dot{\phi}_2 - \dot{z}_{1V}) + c_{2V}(z_2 - L_{2V} \phi_2 - z_{1V})] \cdot L_{2V} = 0 \quad (4.31)$$

(4.31)'nolu denklem düzenlenirse taşıt gövdesinin moment denklemi elde edilir.

$$J_{2Y} \ddot{\phi}_2 + (k_{2V}L_{2V}^2 + k_{2H}L_{2H}^2) \cdot \dot{\phi}_2 + (c_{2V}L_{2V}^2 + c_{2H}L_{2H}^2) \phi_2 - (k_{2V}L_{2V} + k_{2H}L_{2H}) \cdot \dot{z}_2 - (c_{2V}L_{2V} + c_{2H}L_{2H})z_2 + k_{2V}L_{2V} \dot{z}_{1V} - k_{2H}L_{2H} \dot{z}_{1H} + c_{2V}L_{2V} z_{1V} - c_{2H}L_{2H} z_{1H} = 0 \quad (4.32)$$

5 ÜÇ BOYUTLU EGZoz TİTREŞİM MODELİ

Üç boyutlu taşıt titreşim modeli , gövde , motor, üç egzoz parçası, dört akstan oluşmuştur. Şekil 5.1'de üç boyutlu egzoz titreşim modeli görülmektedir.

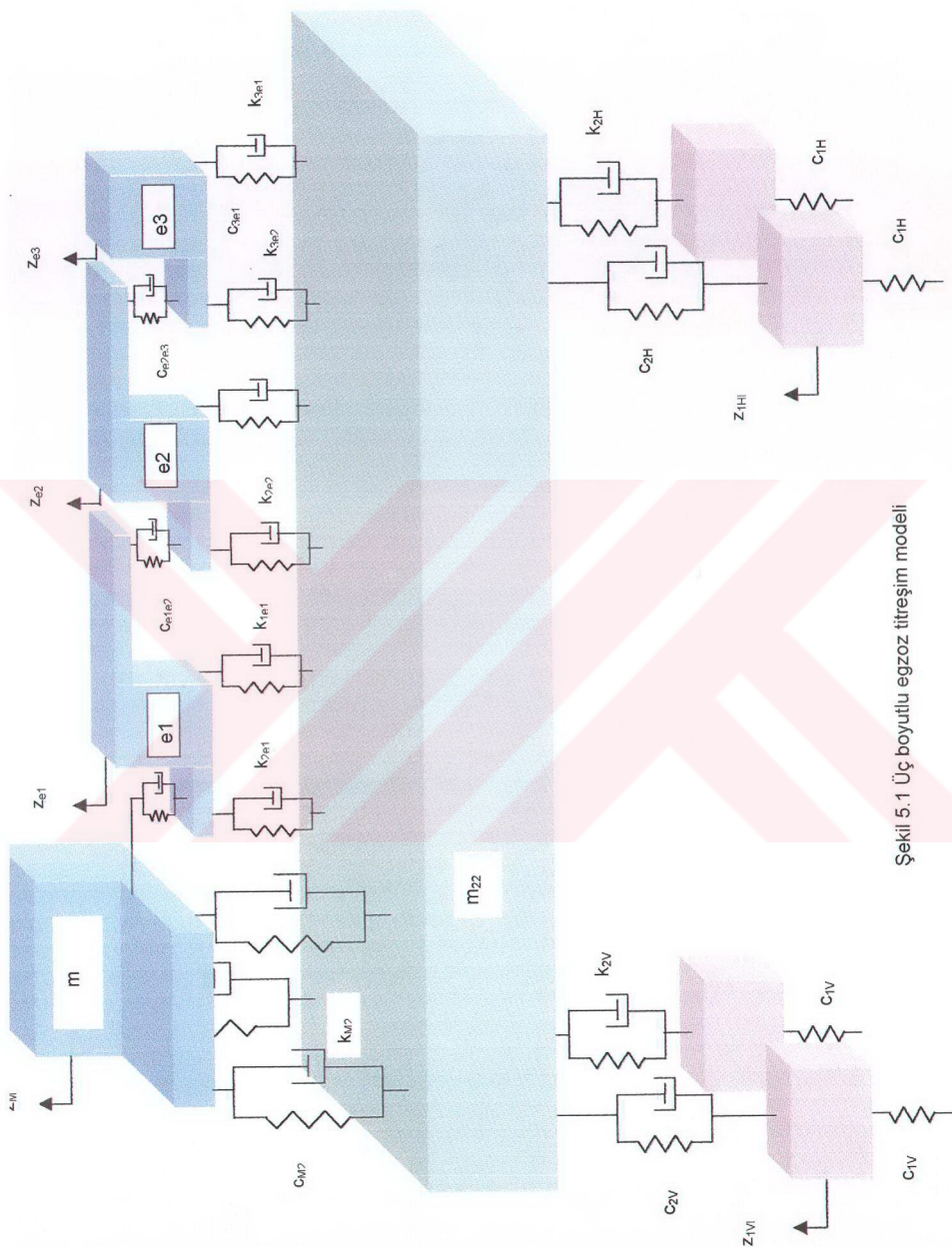
Tekerlekler yay ile temsil edilmiştir. Şekil 5.2'de üç boyutlu egzoz titreşim modeline ait uzunluklar görülmektedir. Motor gövde üzerinde enine yerleştirilmiş ve üç tane yay ve sönüm elemanı ile gövdeye, bir tane yay ve sönüm elemanı ile birinci egzoz parçasına bağlanmıştır. Birinci egzoz parçası, birbirlerine çapraz konumda bulunan iki tane yay ve sönüm elemanı ile gövdeye, bir tane yay ve sönüm elemanı ile motora ve bir tane yay sönüm elemanı ile ikinci egzoz parçasına bağlanmıştır. İkinci egzoz parçası, birbirlerine çapraz konumda bulunan iki tane yay ve sönüm elemanları ile gövdeye, bir tane yay ve sönüm elemanı ile birinci egzoz parçasına ve üçüncü egzoz parçasına bağlanmıştır. Üçüncü egzoz parçası birbirlerine çapraz konumda bulunan iki tane yay ve sönüm elemanı ile gövdeye ve bir tane yay sönüm elemanı ile ikinci egzoz parçasına bağlanmıştır. Üç boyutlu taşıt titreşim modelinde her bir parçanın hareket , moment denklemleri , tekerleklerin yalpa denklemleri hesaplanmıştır.

5.1 TAŞIT GÖVDESİNİN HAREKET VE MOMENT DENKLEMLERİ

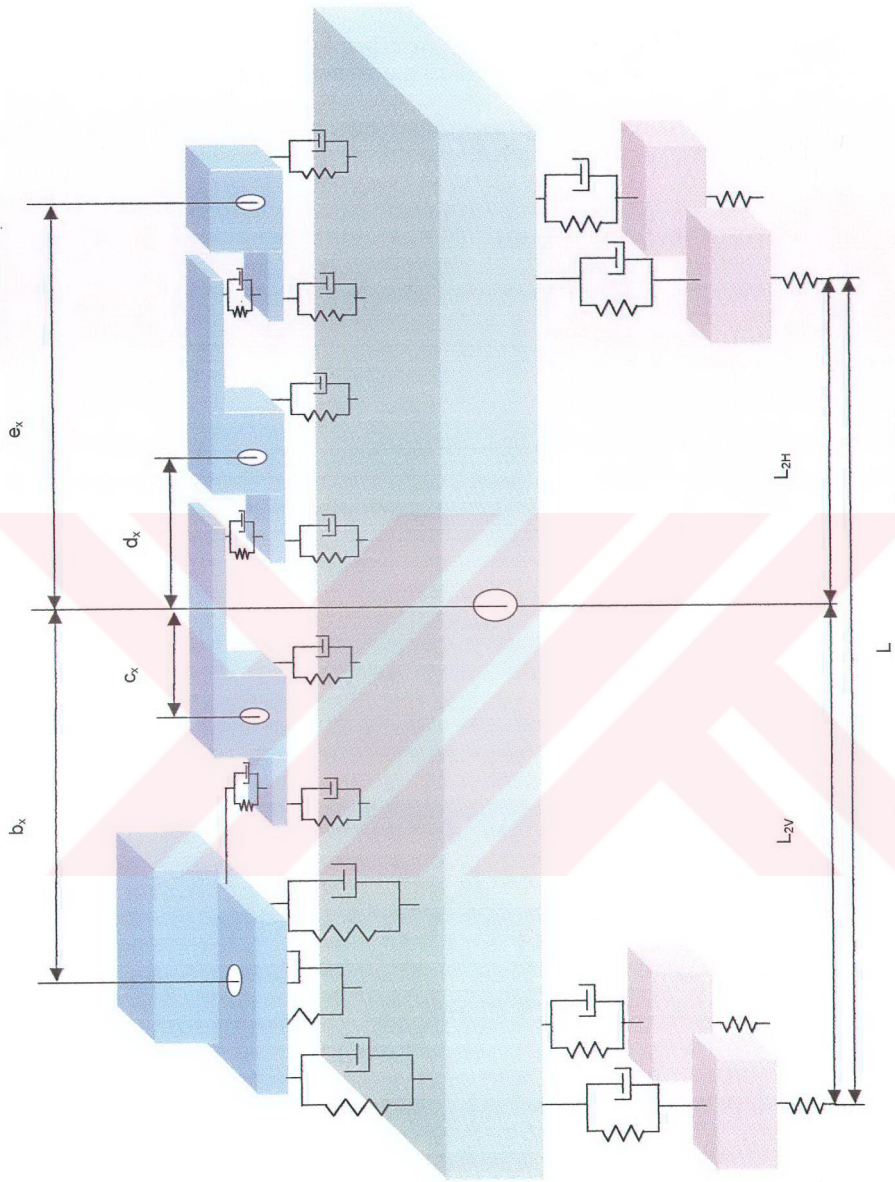
5.1.1 Taşıt Gövdesinin Hareket Denklemi

Üç boyutlu taşıt modeli , iki boyutlu modele göre daha karmaşık olduğu için taşıt gövdesinin titreşim hareket denklemi dört tane titreşim denkleminin toplamından oluşmaktadır. Bunlar,

- Ön sağ aks üzerindeki taşıt gövdesinin hareket denklemi
- Ön sol aks üzerindeki taşıt gövdesinin hareket denklemi
- Arka sağ aks üzerindeki taşıt gövdesinin hareket denklemi



Şekil 5.1 Üç boyutlu egzoz titreşim modeli



Şekil 5.2 Üç boyutlu egzoz titreşim modeline ait uzunluklar

- Arka sol aks üzerindeki taşıt gövdesinin hareket denklemi

Üç boyutlu taşıt titreşim modeli rijit bir gövdeye sahip olduğu için gövdenin düşey yöndeki hareketi z_2 deplasmanı ile simgelenmektedir. Yukarıda bahsedilen hareket denklemlerini oluşturmak için z_2 deplasmanı sırasıyla önce ön sağ aks ile ön sol aksın ortasına daha sonra arka sağ aks ile arka sol aksın ortasına dağıtılmıştır. Daha sonra ön sağ aks ile ön sol aksın ortasındaki z_{2v} deplasmanı sırası ile ön sağ aksa ve ön sola aksa dağıtılmıştır. Aynı şekilde arka sağ aks ike arka sol aksın ortasındaki z_{2H} deplasmanı sırası ile arka sağ aks ve arka sol aksa dağıtılmıştır.

Taşıt gövdesinin hareket denklemini oluşturan terimler,

z_2 : Taşıt gövdesinin deplasmanı

z_{2v} : Ön sağ aks ile ön sol aks arasındaki deplasman

z_{2H} : Arka sağ aks ile arka sol aks arasındaki deplasman

z_{2v_r} : Ön sağ aks üzerindeki deplasman

z_{2v_l} : Ön sol aks üzerindeki deplasman

z_{2H_r} : Arka sağ aks üzerindeki deplasman

z_{2H_l} : Arka sol aks üzerindeki deplasman

z_{1v_r} : Ön sağ aksın deplasmanı

z_{1v_l} : Ön sol aksın deplasmanı

z_{1H_r} : Arka sağ aksın deplasmanı

z_{1H_l} : Arka sol aksın deplasmanı

z_M : Motorun ağırlık merkezinin deplasmanı

z_{e1} : Birinci egzoz parçasının ağırlık merkezinin deplasmanı

z_{e2} : İkinci egzoz parçasının ağırlık merkezinin deplasmanı

z_{e3} : Üçüncü egzoz parçasının ağırlık merkezinin deplasmanı

c_{2v} : Gövdeyi ön sağ ve sol aksa bağlayan yay elemanın katsayısı

c_{2H} : Gövdeyi arka sağ ve sol aksa bağlayan yay elemanın katsayısı

c_{2V} : Gövdeyi ön sağ ve sol aksa bağlayan yay elemanın katsayısı

c_{2H} : Gövdeyi arka sağ ve sol aksa bağlayan yay elemanın katsayısı

k_{2V} : Gövdeyi ön sağ ve sol aksa bağlayan sönüm elemanın katsayısı

k_{2H} : Gövdeyi arka sağ ve sol aksa bağlayan sönüm elemanın katsayısı

φ_2 : Gövdenin kafa vurma açısı

X_2 : Gövdenin yalpa açısı

L : Taşıtın uzunluğu

L_{2V} : Ön sağ ve sol aksların taşıtın ağırlık merkezine mesafesi

L_{2H} : Arka sağ ve sol aksların taşıtın ağırlık merkezine mesafesi

s : İz genişliği

m_{22} : Taşıt gövdesinin kütlesi

m_M : Motorun kütlesi

m_{e1} : Birinci egzoz parçasının kütlesi

m_{e2} : İkinci egzoz parçasının kütlesi

m_{e3} : Üçüncü egzoz parçasının kütlesi

Taşıt gövdesinin z_2 deplasmanının dağılımı Şekil 5.3 yardımıyla anlaşılabilir.

z_2 deplasmanın ön sağ ve sol aksın ortasına dağıtılması

$$z_{2V}=z_2-L_{2V} \cdot \varphi_2 \quad (5.1)$$

z_2 deplasmanın arka sağ ve sol aksın ortasına dağıtılması

$$z_{2H}=z_2+L_{2V} \cdot \varphi_2 \quad (5.2)$$

z_{2V} deplasmanın ön sağ aksa dağıtılması

$$z_{2Vr} = z_{2V} - s/2 \cdot X_2 \quad (5.3)$$

z_{2V} deplasmanın ön sol aksa dağıtılması

$$z_{2Vl} = z_{2V} + s/2 \cdot X_2 \quad (5.4)$$

z_{2H} deplasmanın arka sağ aksa dağıtılması

$$z_{2Hr} = z_{2H} - s/2 \cdot X_2 \quad (5.5)$$

z_{2H} deplasmanın arka sağ aksa dağıtılması

$$z_{2Hl} = z_{2H} + s/2 \cdot X_2 \quad (5.6)$$

(5.1) denklemi sırasıyla (5.3) ve (5.4) denklemlerine konursa ön sağ ve sol aks üzerinde bulunan taşıt gövdesinin deplasmanları elde edilir

Ön sağ aks üzerinde bulunan taşıt gövdesinin deplasmanı

$$z_{2Vr} = z_2 - L_{2V} \cdot \varphi_2 - s/2 \cdot X_2 \quad (5.7)$$

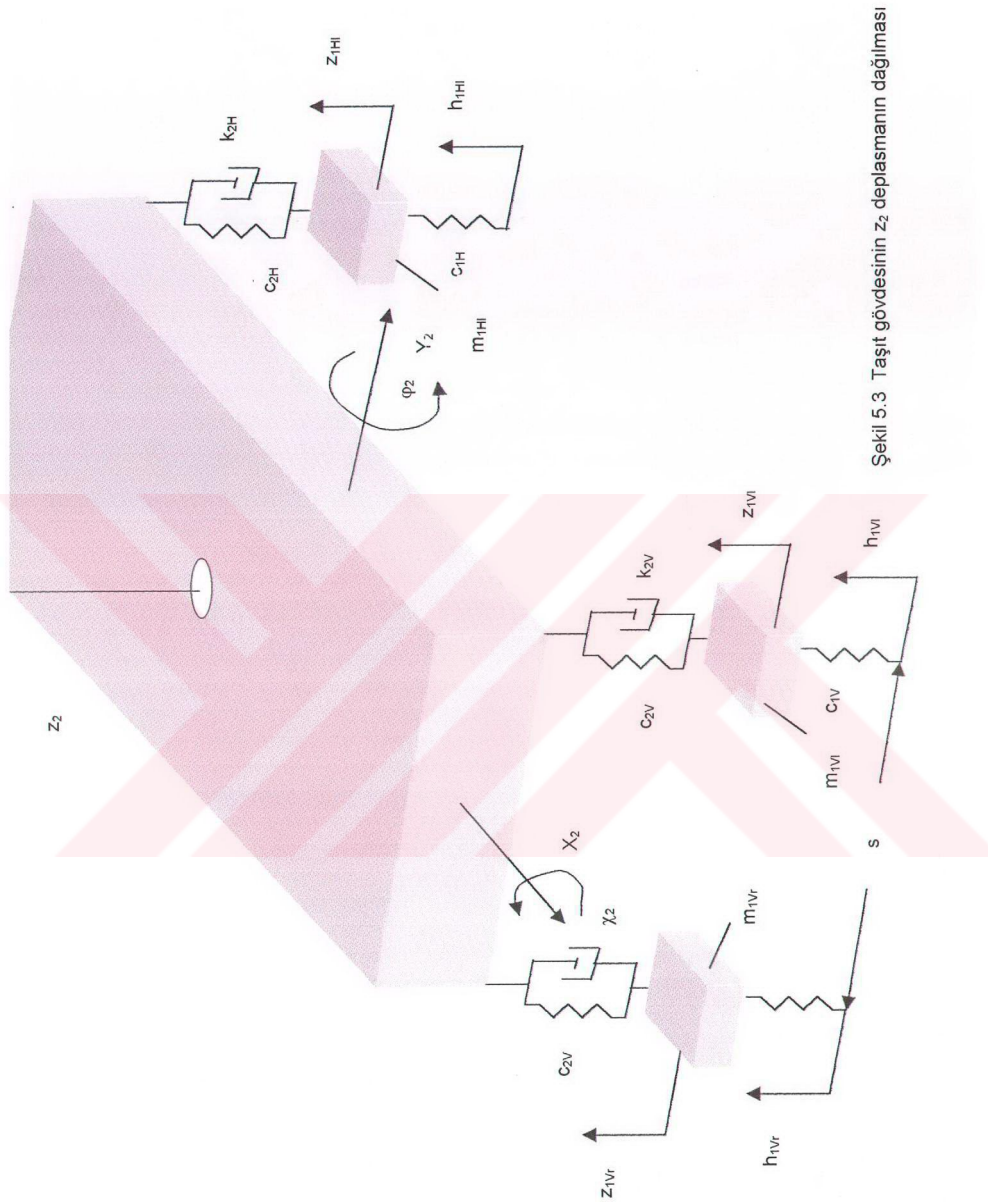
Ön sol aks üzerinde bulunan taşıt gövdesinin deplasmanı

$$z_{2Vl} = z_2 - L_{2V} \cdot \varphi_2 + s/2 \cdot X_2 \quad (5.8)$$

(5.2) denklemi sırasıyla (5.5) ve (5.6) denklemlerine konursa arka sağ ve sol aks üzerinde bulunan taşıt gövdesinin deplasmanları elde edilir.

Arka sağ aks üzerinde bulunan taşıt gövdesinin deplasmanı

$$z_{2Hr} = z_2 + L_{2H} \cdot \varphi_2 - s/2 \cdot X_2 \quad (5.9)$$



Şekil 5.3 Taşıt gövdesinin Z_2 deplasmanının dağılımı

Arka sol aks üzerinde bulunan taşıt gövdesinin deplasmanı

$$z_{2Hl} = z_2 + L_{2H} \cdot \varphi_2 + s/2 \cdot X_2 \quad (5.10)$$

Taşıt gövdesinin z_2 deplasmanına uygulanan dağıtma işlemi taşıt gövdesi kütlesi için de yapılır.

Taşıt gövdesinin kütlesinin ön sağ ve sol aksın aksın ortasına öne dağılımı,

$$m_{2V} = m_{22} \cdot L_{2H}/L \quad (5.11)$$

Taşıt gövdesinin kütlesinin ön sağ aksa dağıtılması

$$m_{2Vr} = (1/2) \cdot m_{22} \cdot (L_{2H}/L) \quad (5.12)$$

Taşıt gövdesinin kütlesinin ön sol aksa dağıtılması

$$m_{2Vl} = (1/2) \cdot m_{22} \cdot (L_{2H}/L) \quad (5.13)$$

Taşıt gövdesinin kütlesinin ön sağ ve sol aksın aksın ortasına öne dağılımı,

$$m_{2H} = m_{22} \cdot L_{2V}/L \quad (5.14)$$

Taşıt gövdesinin kütlesinin arka sağ aksa dağıtılması ,

$$m_{2Hr} = (1/2) m_{22} \cdot L_{2V}/L \quad (5.15)$$

Taşıt gövdesinin kütlesinin arka sol aksa dağıtılması

$$m_{2Hl} = (1/2) m_{22} \cdot L_{2V}/L \quad (5.16)$$

Ön sağ aksın üzerinde bulunan taşıt gövdesinin düşey yöndeki hareket denklemi,

$$m_{2Vr} \cdot \ddot{z}_{2Vr} + k_{2V} \cdot (\dot{z}_{2Vr} - \dot{z}_{1Vr}) + c_{2V} \cdot (z_{2Vr} - z_{1Vr}) = 0 \quad (5.17)$$

(5.17) denklemine (5.7) ve (5.12) denklemleri yerleştirilirse ön sağ aksın üzerinde bulunan taşıt gövdesinin düşey yöndeki hareket denklemi elde edilir.

$$(1/2).m_{22}.(L_{2H}/L).(\ddot{Z}_2 - L_{2V} . \ddot{\phi}_2 - s/2. \ddot{X}_2) + k_{2V}.(\dot{Z}_2 - L_{2V} . \dot{\phi}_2 - s/2. \dot{X}_2 - \dot{Z}_{1Vr}) + c_{2V}.(Z_2 - L_{2V} . \phi_2 - s/2.X_2 - Z_{1Vr}) = 0 \quad (5.18)$$

Ön sol aksın üzerinde bulunan taşıt gövdesinin düşey yöndeki hareket denklemi,

$$m_{2VI} . \ddot{Z}_{2VI} + k_{2V}.(\dot{Z}_{2VI} - \dot{Z}_{1VI}) + c_{2V}.(Z_{2VI} - Z_{1VI}) = 0 \quad (5.19)$$

(5.19) denklemine (5.8) ve (5.13) denklemleri yerleştirilirse ön sol aksın üzerinde bulunan taşıt gövdesinin düşey yöndeki hareket denklemi elde edilir.

$$(1/2).m_{22}.(L_{2H}/L).(\ddot{Z}_2 - L_{2V} . \ddot{\phi}_2 - s/2. \ddot{X}_2) + k_{2V}.(\dot{Z}_2 - L_{2V} . \dot{\phi}_2 + s/2. \dot{X}_2 - \dot{Z}_{1VI}) + c_{2V}.(Z_2 - L_{2V} . \phi_2 + s/2.X_2 - Z_{1VI}) = 0 \quad (5.20)$$

Arka sağ aksın üzerinde bulunan taşıt gövdesinin düşey yöndeki hareket denklemi,

$$m_{2Hr} . \ddot{Z}_{2Hr} + k_{2H}.(\dot{Z}_{2Hr} - \dot{Z}_{1Hr}) + c_{2H}.(Z_{2Hr} - Z_{1Hr}) = 0 \quad (5.21)$$

(5.21) denklemine (5.9) ve (5.15) denklemleri yerleştirilirse, arka sağ aksın üzerinde bulunan taşıt gövdesinin düşey yöndeki hareket denklemi elde edilir.

$$(1/2) m_{22}.L_{2V}/L.(\ddot{Z}_2 + L_{2H} . \ddot{\phi}_2 - s/2. \ddot{X}_2) + k_{2H}.(\dot{Z}_2 + L_{2H} . \dot{\phi}_2 - s/2. \dot{X}_2 - \dot{Z}_{1Hr}) + c_{2H}.(Z_2 + L_{2H} . \phi_2 - s/2.X_2 - Z_{1Hr}) = 0 \quad (5.22)$$

Arka sol aksın üzerinde bulunan taşıt gövdesinin düşey yöndeki hareket denklemi,

$$m_{2HL} . \ddot{Z}_{2HL} + k_{2H}.(\dot{Z}_{2HL} - \dot{Z}_{1HL}) + c_{2H}.(Z_{2HL} - Z_{1HL}) = 0 \quad (5.23)$$

(5.23) denklemine (5.10) ve (5.16) denklemleri yerleştirilirse, arka sol aksın üzerinde bulunan taşıt gövdesinin düşey yöndeki hareket denklemi elde edilir.0

$$(1/2) m_{22} \cdot L_{2V} / L \cdot (\ddot{Z}_2 + L_{2H} \cdot \ddot{\varphi}_2 + s/2 \cdot \ddot{X}_2) + k_{2H} \cdot (\dot{Z}_2 + L_{2H} \cdot \dot{\varphi}_2 + s/2 \cdot \dot{X}_2 - \dot{Z}_{1H}) + c_{2H} \cdot (Z_2 + L_{2H} \cdot \varphi_2 + s/2 \cdot X_2 - Z_{1H}) = 0 \quad (5.24)$$

(5.18), (5.20), (5.22) ve (5.24) denklemleri taraf tarafa toplanırsa taşıt gövdesinin düşey yöndeki hareket denklemi elde edilir.

$$2m_2 \cdot \ddot{Z}_2 + (2k_{2V} + 2k_{2H}) \cdot \dot{Z}_2 + (2c_{2V} + 2c_{2H}) \cdot Z_2 - (2k_{2V} \cdot L_{2V} - 2k_{2H} \cdot L_{2H}) \cdot \dot{\varphi}_2 - (2c_{2V} \cdot L_{2V} - 2c_{2H} \cdot L_{2H}) \cdot \varphi_2 - k_{2V} \cdot (\dot{Z}_{1Vl} + \dot{Z}_{1Vr}) - k_{2H} \cdot (\dot{Z}_{1Hl} + \dot{Z}_{1Hr}) - c_{2V} \cdot (Z_{1Vl} + Z_{1Vr}) - c_{2V} \cdot (Z_{1Vl} + Z_{1Vr}) = 0 \quad (5.25)$$

Taşıt gövdesinin üzerinde motor ve üç tane egzoz parçası olduğu için, bu kütlelerin etkileri (5.25) denklemi ile belirtilen taşıt gövdesinin düşey yöndeki hareket denkleminde eklenirse taşıt gövdesinin üzerinde bahsedilen kütlelerin bulunduğu durumdaki düşey yöndeki hareket denklemi elde edilir.

$$2m_2 \cdot \ddot{Z}_2 + (2k_{2V} + 2k_{2H}) \cdot \dot{Z}_2 + (2c_{2V} + 2c_{2H}) \cdot Z_2 - (2k_{2V} \cdot L_{2V} - 2k_{2H} \cdot L_{2H}) \cdot \dot{\varphi}_2 - (2c_{2V} \cdot L_{2V} - 2c_{2H} \cdot L_{2H}) \cdot \varphi_2 - k_{2V} \cdot (\dot{Z}_{1Vl} + \dot{Z}_{1Vr}) - k_{2H} \cdot (\dot{Z}_{1Hl} + \dot{Z}_{1Hr}) - c_{2V} \cdot (Z_{1Vl} + Z_{1Vr}) - c_{2V} \cdot (Z_{1Vl} + Z_{1Vr}) + m_M \cdot \ddot{Z}_M + m_{e1} \cdot \ddot{Z}_{e1} + m_{e2} \cdot \ddot{Z}_{e2} + m_{e3} \cdot \ddot{Z}_2 = 0 \quad (5.26)$$

5.1.2 Taşıt Gövdesinin Moment Denklemleri

Taşıt gövdesinin X_2 eksen yönündeki moment denkleminin elde edilmesi taşıt gövdesinin hareket denkleminin elde edilmesine benzer. Buradaki tek farklılık taşıt gövdesinin X_2 eksen yönündeki J_{2Y} atalet momentinin taşıtın sağ ve sol tarafına dağıtılmasıdır.

J_{2Y} atalet momenti X_2 eksenin sağ ve sol tarafına dağıtılsa,

Taşıt gövdesinin X_2 eksenin sağ tarafındaki atalet momenti

$$(1/2).J_{2Y} \quad (5.27)$$

Taşıt gövdesinin X_2 eksenin sol tarafındaki atalet momenti

$$(1/2).J_{2Y} \quad (5.28)$$

Taşıt gövdesinin X_2 eksenin sağ tarafındaki kısmının X_2 eksenine göre moment denklemi,

$$(1/2).J_{2Y} \ddot{\varphi}_2 - k_{2V}.(\dot{z}_{2Vr} - \dot{z}_{1Vr}).L_{2V} + k_{2H}.(\dot{z}_{2Hr} - \dot{z}_{1Hr}).L_{2H} - c_{2V}.(z_{2Vr} - z_{1Vr}).L_{2V} + c_{2H}.(z_{2Hr} - z_{1Hr}).L_{2H} = 0 \quad (5.29)$$

(5.7) ve (5.9) denklemleri (5.29) denklemine konursa, taşıt gövdesinin X_2 eksenin sağ tarafındaki kısmının X_2 eksenine göre moment denklemi elde edilir.

$$(1/2).J_{2Y} \ddot{\varphi}_2 - k_{2V}.(z_2 - L_{2V} \cdot \varphi_2 - s/2 \cdot \ddot{X}_2 - \dot{z}_{1Vr}).L_{2V}$$

$$+ k_{2H}.(\dot{z}_2 + L_{2H} \cdot \dot{\varphi}_2 - s/2 \cdot \ddot{X}_2 - \dot{z}_{1Hr}).L_{2H} - c_{2V}.(z_2 - L_{2V} \cdot \varphi_2 - s/2 \cdot X_2 - z_{1Vr}).L_{2V}$$

$$+ c_{2H}.(z_2 + L_{2H} \cdot \varphi_2 - s/2 \cdot X_2 - z_{1Hr}).L_{2H} = 0 \quad (5.30)$$

Taşıt gövdesinin X_2 eksenine sol tarafındaki kısmının X_2 eksenine göre moment denklemi,

$$(1/2) \cdot J_{2y} \cdot \ddot{\varphi}_2 - k_{2V} \cdot (\dot{z}_{2Vl} - \dot{z}_{1Vl}) \cdot L_{2V} + k_{2H} \cdot (\dot{z}_{2Hl} - \dot{z}_{1Hl}) \cdot L_{2H} - \\ c_{2V} \cdot (z_{2Vl} - z_{1Vl}) \cdot L_{2V} + c_{2H} \cdot (z_{2Hl} - z_{1Hl}) \cdot L_{2H} = 0 \quad (5.31)$$

(5.8) ve (5.10) denklemleri (5.31) denkleminde konursa, taşıt gövdesinin X_2 eksenine sol tarafındaki kısmının X_2 eksenine göre moment denklemi elde edilir.

$$(1/2) \cdot J_{2y} \cdot \ddot{\varphi}_2 - k_{2V} \cdot (\dot{z}_2 - L_{2V} \cdot \dot{\varphi}_2 + s/2 \cdot \ddot{X}_2 - \dot{z}_{1Vl}) \cdot L_{2V} + \\ k_{2H} \cdot (\dot{z}_2 + L_{2H} \cdot \dot{\varphi}_2 + s/2 \cdot \ddot{X}_2 - \dot{z}_{1Hl}) \cdot L_{2H} - c_{2V} \cdot (z_2 - L_{2V} \cdot \varphi_2 + s/2 \cdot X_2 - z_{1Vl}) \cdot L_{2V} + \\ c_{2H} \cdot (z_2 + L_{2H} \cdot \varphi_2 + s/2 \cdot X_2 - z_{1Hl}) \cdot L_{2H} = 0 \quad (5.32)$$

(5.30) ve (5.32) denklemleri taraf tarafa toplanırsa, taşıt gövdesinin X_2 eksenine göre moment denklemi elde edilir.

Taşıt gövdesinin X_2 eksenine göre moment denklemi,

$$J_{2y} \cdot \ddot{\varphi}_2 + (2 k_{2V} \cdot L_{2V}^2 + 2 k_{2H} \cdot L_{2H}^2) \cdot \ddot{\varphi}_2 + (2 c_{2V} \cdot L_{2V}^2 + 2 c_{2H} \cdot L_{2H}^2) \cdot \varphi_2 - \\ (2 k_{2V} \cdot L_{2V} - 2 k_{2H} \cdot L_{2H}) \cdot \dot{z}_2 - (2 c_{2V} \cdot L_{2V} - 2 c_{2H} \cdot L_{2H}) \cdot z_2 + \\ k_{2V} \cdot (\dot{z}_{1Vl} + \dot{z}_{1Vr}) \cdot L_{2V} - k_{2H} \cdot (\dot{z}_{1Hl} + \dot{z}_{1Hr}) \cdot L_{2H} + c_{2V} \cdot (z_{1Vl} + z_{1Vr}) \cdot L_{2V} - \\ c_{2H} \cdot (z_{1Hl} + z_{1Hr}) \cdot L_{2H} = 0 \quad (5.33)$$

(5.33) denkleminde verilen taşıt gövdesinin X_2 eksenine göre moment denklemi taşıt gövdesinin üzerinde herhangi bir kütle olmadığı zaman geçerlidir. Fakat üç boyutlu modelde taşıt gövdesinin üzerinde motor ve üç tane egzoz parçası olduğu için bu kütlelerin de X_2 eksenine göre olan momentleri taşıt gövdesinin üzerinde kütle olmadığı durumdaki X_2 eksenine göre olan moment denkleminde eklenir. Bu durumda,

b_x : Motorun ağırlık merkezinin X_2 eksenine olan uzaklığı olmak üzere

Motorun X_2 eksenine göre momenti,

$$-m_M \cdot \ddot{z}_M \cdot b_x \quad (5.34)$$

c_x : Birinci egzoz parçasının ağırlık merkezinin X_2 eksenine olan uzaklığı olmak üzere

Birinci egzoz parçasının X_2 eksenine göre momenti,

$$-m_{e1} \cdot \ddot{z}_{e1} \cdot c_x \quad (5.35)$$

d_x : İkinci egzoz parçasının ağırlık merkezinin X_2 eksenine olan uzaklığı olmak üzere

İkinci egzoz parçasının X_2 eksenine göre momenti

$$m_{e2} \cdot \ddot{z}_{e2} \cdot d_x \quad (5.36)$$

e_x : Üçüncü egzoz parçasının ağırlık merkezinin X_2 eksenine olan uzaklığı olmak üzere

Üçüncü egzoz parçasının X_2 eksenine göre momenti

$$m_{e3} \cdot \ddot{z}_{e3} \cdot e_x \quad (5.37)$$

(5.34), (5.35), (5.36) ve (5.37) denklemleri (5.33) denklemine eklenirse, taşıt gövdesinin üzerinde motor ve üç egzoz parçasının olduğu durumdaki X_2 eksenine göre moment denklemi elde edilir.

Taşıt gövdesinin üzerinde motor ve üç egzoz parçasının olduğu durumdaki X_2 eksenine göre moment denklemi

$$\begin{aligned}
& J_{2y} \cdot \ddot{\phi}_2 + (2 k_{2V} \cdot L_{2V}^2 + 2 k_{2H} \cdot L_{2H}^2) \cdot \ddot{\phi}_2 + (2 c_{2V} \cdot L_{2V}^2 + 2 c_{2H} \cdot L_{2H}^2) \cdot \dot{\phi}_2 - \\
& (2 k_{2V} \cdot L_{2V} - 2 k_{2H} \cdot L_{2H}) \cdot \dot{z}_2 - (2 c_{2V} \cdot L_{2V} - 2 c_{2H} \cdot L_{2H}) \cdot z_2 + \\
& k_{2V} \cdot (\dot{z}_{1Vl} + \dot{z}_{1Vr}) \cdot L_{2V} - k_{2H} \cdot (\dot{z}_{1Hl} + \dot{z}_{1Hr}) \cdot L_{2H} + c_{2V} \cdot (z_{1Vl} + z_{1Vr}) \cdot L_{2V} - \\
& - c_{2H} \cdot (z_{1Hl} + z_{1Hr}) \cdot L_{2H} \\
& -m_M \cdot \ddot{z}_M \cdot b_x - m_{e1} \cdot \ddot{z}_{e1} \cdot c_x + m_{e2} \cdot \ddot{z}_{e2} \cdot d_x + m_{e3} \cdot \ddot{z}_{e3} \cdot e_x = 0
\end{aligned} \tag{5.38}$$

Taşıt gövdesinin Y_2 eksen yönündeki moment denkleminin elde edilmesi taşıt gövdesinin hareket denkleminin elde edilmesine benzer. Buradaki tek farklılık taşıt gövdesinin Y_2 eksen yönündeki J_{2x} atalet momentinin taşıtın ön ve arka tarafına dağıtılmasıdır.

J_{2x} atalet momenti Y_2 eksenin sağ ve sol tarafına dağıtılırsa,

Taşıt gövdesinin Y_2 eksenin sağ tarafındaki atalet momenti

$$(L_{2H}/L) \cdot J_{2x} \tag{5.39}$$

Taşıt gövdesinin Y_2 eksenin sol tarafındaki atalet momenti

$$(L_{2V}/L) \cdot J_{2x} \tag{5.40}$$

Taşıt gövdesinin Y_2 eksenin sağ tarafındaki kısmının Y_2 eksenine göre moment denklemi,

$$\begin{aligned}
& (L_{2H}/L) \cdot J_{2x} \cdot \ddot{X}_2 - k_{2V} \cdot (\dot{z}_{2Vr} - \dot{z}_{1Vr}) \cdot s/2 + k_{2V} \cdot (\dot{z}_{2Vl} - \dot{z}_{1Vl}) \cdot s/2 \\
& - c_{2V} \cdot (z_{2Vr} - z_{1Vr}) \cdot s/2 + c_{2V} \cdot (z_{2Vl} - z_{1Vl}) \cdot s/2 = 0
\end{aligned} \tag{5.41}$$

(5.7) ve (5.8) denklemleri (5.41) denkleminde konursa taşıt gövdesinin Y_2 eksenine göre moment denklemi elde edilir.

$$\begin{aligned} & (L_{2H}/L) \cdot J_{2X} \cdot \ddot{X}_2 - k_{2V} \cdot (\dot{Z}_2 - L_{2V} \cdot \dot{\varphi}_2 - s/2 \cdot \dot{X}_2 - \dot{Z}_{1Vr}) \cdot s/2 + \\ & k_{2V} \cdot (\dot{Z}_2 - L_{2V} \cdot \dot{\varphi}_2 + s/2 \cdot \dot{X}_2 - \dot{Z}_{1Vl}) \cdot s/2 \\ & - c_{2V} \cdot (\dot{Z}_2 - L_{2V} \cdot \dot{\varphi}_2 - s/2 \cdot \dot{X}_2 - \dot{Z}_{1Vr}) \cdot s/2 + c_{2V} \cdot (\dot{Z}_2 - L_{2V} \cdot \dot{\varphi}_2 + s/2 \cdot \dot{X}_2 - \dot{Z}_{1Vl}) \cdot s/2 = 0 \quad (5.42) \end{aligned}$$

(5.42) denklemi düzenlenirse,

$$\begin{aligned} & (L_{2V}/L) \cdot J_{2X} \cdot \ddot{X}_2 + (k_{2V} \cdot s/2 - k_{2V} \cdot s/2) \cdot \dot{Z}_2 + 2k_{2V} \cdot (s/2)^2 \cdot \dot{X}_2 - k_{2V} \cdot (\dot{Z}_{1Vl} - \dot{Z}_{1Vr}) \cdot (s/2) + \\ & (c_{2V} \cdot s/2 - c_{2V} \cdot s/2) \cdot \dot{Z}_2 + 2c_{2V} \cdot (s/2)^2 \cdot \dot{X}_2 - c_{2V} \cdot (\dot{Z}_{1Vl} - \dot{Z}_{1Vr}) \cdot (s/2) = 0 \quad (5.43) \end{aligned}$$

X_{1V} taşıtın ön aksının yalpa hareketini temsil eder. Bu ifade (5.44) denkleminde görülmektedir.

$$X_{1V} = (Z_{1Vl} - Z_{1Vr}) / s \quad [9] \quad (5.44)$$

(5.44) denkleminde göre,

$$(Z_{1Vl} - Z_{1Vr}) \cdot s = X_{1V} \quad (5.45)$$

(5.45) denklemi (5.43) denkleminde konursa,

$$\begin{aligned} & (L_{2V}/L) \cdot J_{2X} \cdot \ddot{X}_2 + 2k_{2V} \cdot (s/2)^2 \cdot \dot{X}_2 - k_{2V} \cdot (s^2/2) \cdot \dot{X}_{1V} \\ & + 2c_{2V} \cdot (s/2)^2 \cdot \dot{X}_2 - c_{2V} \cdot (s^2/2) \cdot X_{1V} = 0 \quad (5.46) \end{aligned}$$

(5.46) denkleminde bulunan $-k_{2V} \cdot (s^2/2) \cdot \dot{X}_{1V}$ ve $-c_{2V} \cdot (s^2/2) \cdot X_{1V}$ terimleri 2 ile çarpılıp 2'ye bölünürse (5.47) denklemi elde edilir.

$$(L_{2V}/L) \cdot J_{2X} \ddot{X}_2 + 2k_{2V} \cdot (s/2)^2 \cdot \dot{X}_2 - 2k_{2V} \cdot (s/2)^2 \cdot \dot{X}_{1V} + 2c_{2V} \cdot (s/2)^2 \cdot X_2 - 2c_{2V} \cdot (s/2)^2 \cdot X_{1V} = 0 \quad (5.47)$$

Taşıt gövdesinin Y_2 eksenin sol tarafındaki kısmının Y_2 eksenine göre moment denklemi,

$$(L_{2V}/L) \cdot J_{2X} \ddot{X}_2 - k_{2H} \cdot (\dot{z}_{2Hr} - \dot{z}_{1Hr}) \cdot s/2 + k_{2H} \cdot (\dot{z}_{2Hl} - \dot{z}_{1Hl}) \cdot s/2 - c_{2H} \cdot (z_{2Hr} - z_{1Hr}) \cdot s/2 + c_{2H} \cdot (z_{2Hl} - z_{1Hl}) \cdot s/2 = 0 \quad (5.48)$$

(5.9) ve (5.10) denklemleri (5.48) denkleminde konursa taşıt gövdesinin Y_2 eksenin sol tarafındaki kısmının Y_2 eksenine göre moment denklemi elde edilir.

$$(L_{2V}/L) \cdot J_{2X} \ddot{X}_2 - k_{2H} \cdot (\dot{z}_2 + L_{2H} \cdot \dot{\varphi}_2 - s/2 \cdot \dot{X}_2 - \dot{z}_{1Hr}) \cdot s/2 + k_{2H} \cdot (\dot{z}_2 + L_{2H} \cdot \dot{\varphi}_2 + s/2 \cdot \dot{X}_2 - \dot{z}_{1Hl}) \cdot s/2 - c_{2H} \cdot (z_2 + L_{2H} \cdot \varphi_2 - s/2 \cdot X_2 - z_{1Hr}) \cdot s/2 + c_{2H} \cdot (z_2 + L_{2H} \cdot \varphi_2 + s/2 \cdot X_2 - z_{1Hl}) \cdot s/2 = 0 \quad (5.49)$$

(5.42) denklemi düzenlenirse,

$$(L_{2V}/L) \cdot J_{2X} \ddot{X}_2 + (k_{2H} \cdot s/2 - k_{2H} \cdot s/2) \cdot \dot{z}_2 + 2k_{2H} \cdot (s/2)^2 \cdot \dot{X}_2 - k_{2H} \cdot (\dot{z}_{1Hl} - \dot{z}_{1Hr}) \cdot (s/2) + (c_{2H} \cdot s/2 - c_{2H} \cdot s/2) \cdot z_2 + 2c_{2H} \cdot (s/2)^2 \cdot X_2 - c_{2H} \cdot (z_{1Hl} - z_{1Hr}) \cdot (s/2) = 0 \quad (5.50)$$

X_{1H} taşıtın arka aksının yalpa hareketini temsil eder. Bu ifade (5.51) denkleminde görülmektedir.

$$X_{1H} = (z_{1Hl} - z_{1Hr}) / s \quad (5.51)$$

(5.51) denklemine göre,

$$(z_{1Hr} - z_{1Hr}) \cdot s = X_{1H} \quad (5.52)$$

(5.52) denklemini (5.50) denklemine konursa,

$$\begin{aligned} (L_{2V}/L) \cdot J_{2X} \ddot{X}_2 + 2k_{2H} \cdot (s/2)^2 \cdot \dot{X}_2 - k_{2H} \cdot (s^2/2) \cdot \dot{X}_{1H} \\ + 2c_{2H} \cdot (s/2)^2 \cdot X_2 - c_{2H} \cdot (s^2/2) \cdot X_{1H} = 0 \end{aligned} \quad (5.53)$$

(5.53) denkleminde bulunan $-k_{2H} \cdot (s^2/2) \cdot \dot{X}_{1H}$ ve $-c_{2H} \cdot (s^2/2) \cdot X_{1H}$ terimleri 2 ile çarpılıp 2'ye bölünürse (5.54) denklemini elde edilir.

$$\begin{aligned} (L_{2V}/L) \cdot J_{2X} \ddot{X}_2 + 2k_{2H} \cdot (s/2)^2 \cdot \dot{X}_2 - 2k_{2H} \cdot (s/2)^2 \cdot \dot{X}_{1H} \\ + 2c_{2H} \cdot (s/2)^2 \cdot X_2 - 2c_{2H} \cdot (s/2)^2 \cdot X_{1H} = 0 \end{aligned} \quad (5.54)$$

(5.47) ve (5.54) denklemleri taraf tarafa toplanırsa taşıt gövdesinin yalpa denklemi elde edilir. Buna göre,

$$\begin{aligned} J_{2X} \ddot{X}_2 + 2 \cdot (k_{2V} + k_{2H}) \cdot (s/2)^2 \cdot \dot{X}_2 - 2k_{2V} \cdot (s/2)^2 \cdot \dot{X}_{1V} - 2k_{2H} \cdot (s/2)^2 \cdot \dot{X}_{1H} \\ + 2 \cdot (c_{2V} + c_{2H}) \cdot (s/2)^2 \cdot X_2 - 2c_{2V} \cdot (s/2)^2 \cdot X_{1V} - 2c_{2H} \cdot (s/2)^2 \cdot X_{1H} = 0 \end{aligned} \quad (5.55)$$

(5.55) denklemini taşıt gövdesinin üzerinde kütle bulunmadığı durumdaki yalpa denklemdir. Fakat taşıt gövdesinin üzerinde motor, birinci egzoz parçası, ikinci egzoz parçası, üçüncü egzoz parçası olmak üzere dört tane kütle vardır. Bu kütlelerin taşıt gövdesinin Y_2 eksenine göre momentleri sırası ile,

s_M : Motorun ağırlık merkezinin Y_2 eksenine olan uzaklığı olmak üzere

Motorun Y_2 eksenine göre atalet momenti

$$m_M \cdot \ddot{Z}_M \cdot s_M \quad (5.56)$$

s_{e1} : Birinci egzoz parçasının ağırlık merkezinin Y_2 eksenine olan uzaklığı olmak üzere

Birinci egzoz parçasının Y_2 eksenine göre atalet momenti

$$m_{e1} \cdot \ddot{z}_{e1} \cdot s_{e1} \quad (5.57)$$

s_{e2} : İkinci egzoz parçasının ağırlık merkezinin Y_2 eksenine olan uzaklığı olmak üzere

İkinci egzoz parçasının Y_2 eksenine göre atalet momenti

$$m_{e2} \cdot \ddot{z}_{e2} \cdot s_{e2} \quad (5.58)$$

s_{e3} : İkinci egzoz parçasının ağırlık merkezinin Y_2 eksenine olan uzaklığı olmak üzere

Üçüncü egzoz parçasının Y_2 eksenine göre atalet momenti

$$m_{e3} \cdot \ddot{z}_{e3} \cdot s_{e3} \quad (5.59)$$

(5.56), (5.57), (5.58) ve (5.59) denklemleri (5.55) denklemine eklenirse taşıt gövdesinin üzerinde motor, birinci egzoz parçası, ikinci egzoz parçası ve üçüncü egzoz parçası olduğu durumdaki Y_2 eksenine göre momenti veya bir başka deyişle yalpa denklemi elde edilir.

$$\begin{aligned} & J_{2x} \ddot{X}_2 + 2 \cdot (k_{2v} + k_{2H}) \cdot (s/2)^2 \cdot \ddot{X}_2 - 2k_{2v} \cdot (s/2)^2 \cdot \dot{X}_{1v} - 2k_{2H} \cdot (s/2)^2 \cdot \dot{X}_{1H} \\ & + 2 \cdot (c_{2v} + c_{2H}) \cdot (s/2)^2 \cdot X_2 - 2c_{2v} \cdot (s/2)^2 \cdot X_{1H} - 2c_{2H} \cdot (s/2)^2 \cdot X_{1H} + m_M \cdot \ddot{z}_M \cdot s_M \\ & + m_{e1} \cdot \ddot{z}_{e1} \cdot s_{e1} + m_{e2} \cdot \ddot{z}_{e2} \cdot s_{e2} + m_{e3} \cdot \ddot{z}_{e3} \cdot s_{e3} = 0 \end{aligned} \quad (5.60)$$

5.2 AKSLARIN HAREKET VE YALPA DENKLEMLERİ

5.2.1 Aksların Hareket Denklemleri

Aksların hareket ve yalpa denklemlerinde kullanılan terimler,

m_{1Vr} : Ön sağ aksın kütlesi

m_{1Vl} : Ön sol aksın kütlesi

m_{1V} : Ön sağ aks ile sol aksın kütlelerinin toplamı

m_{1Hr} : Arka sağ aksın kütlesi

m_{1Hl} : Arka sol aksın kütlesi

m_{1H} : Arka sağ aks ile sol aksın kütlelerinin toplamı

z_{1Vr} : Ön sağ aksın deplasmanı

z_{1Vl} : Ön sol aksın deplasmanı

z_{1Hr} : Arka sağ aksın deplasmanı

z_{1Hl} : Arka sol aksın deplasmanı

h_{Vr} : Ön sağ aksa ait yol uyarısı

h_{Vl} : Ön sol aksa ait yol uyarısı

h_{Hr} : Arka sağ aksa ait yol uyarısı

h_{Hl} : Arka sol aksa ait yol uyarısı

$h_{\Delta V}$: Ön aksa ait yalpa uyarısı

$h_{\Delta H}$: Arka aksa ait yol uyarısı

c_{1V} : Ön sağ ve sol aksı gövdeye bağlayan yay elemanın katsayısı

c_{1H} : Arka sağ ve sol aksı bağlayan yay elemanın katsayısı

Ön sağ aksın düşey yöndeki hareket denklemi

$$m_{1Vr} \ddot{z}_{1Vr} + k_{2V}(\dot{z}_{1Vr} - \dot{z}_{2Vr}) + c_{2V}(z_{1Vr} - z_{2Vr}) + c_{1V}(z_{1Vr} - h_{Vr}) = 0 \quad (5.61)$$

(5.7) denklemi (5.61) denklemine konursa ön sağ aksın düşey yöndeki hareket denklemi elde edilir.

$$m_{1V} \ddot{z}_{1Vr} + k_{2V}(\dot{z}_{1Vr} - \dot{z}_2 + L_{2V} \dot{\phi}_2 + s/2 \dot{X}_2) + c_{2V}(z_{1Vr} - z_2 + L_{2V} \phi_2 + s/2 X_2) + c_{1V}(z_{1Vr} - h_{Vr}) = 0 \quad (5.62)$$

Ön sol aksın düşey yöndeki hareket denklemi

$$m_{1Vl} \ddot{z}_{1Vl} + k_{2V}(\dot{z}_{1Vl} - \dot{z}_{2Vl}) + c_{2V}(z_{1Vl} - z_{2Vl}) + c_{1V}(z_{1Vl} - h_{Vl}) = 0 \quad (5.63)$$

(5.8) denklemi (5.63) denklemine konursa ön sol aksın düşey yöndeki hareket denklemi elde edilir.

$$m_{1Vl} \ddot{z}_{1Vl} + k_{2V}(\dot{z}_{1Vl} - \dot{z}_2 + L_{2V} \dot{\phi}_2 - s/2 \dot{X}_2) + c_{2V}(z_{1Vl} - z_2 + L_{2V} \phi_2 - s/2 X_2) + c_{1V}(z_{1Vl} - h_{Vl}) = 0 \quad (5.64)$$

Arka sağ aksın düşey yöndeki hareket denklemi,

$$m_{1Hr} \ddot{z}_{1Hr} + k_{2H}(\dot{z}_{1Hr} - \dot{z}_{2Hr}) + c_{2H}(z_{1Hr} - z_{2Hr}) + c_{1H}(z_{1Hr} - h_{Hr}) = 0 \quad (5.65)$$

(5.10) denklemi (5.65) denklemine konursa,

$$m_{1Hr} \ddot{z}_{1Hr} + k_{2H}(\dot{z}_{1Hr} - \dot{z}_2 - L_{2H} \dot{\phi}_2 + s/2 \dot{X}_2) + c_{2H}(z_{1Hr} - z_2 - L_{2H} \phi_2 + s/2 X_2) + c_{1H}(z_{1Hr} - h_{Hr}) = 0 \quad (5.66)$$

Arka sol aksın düşey yöndeki hareket denklemi,

$$m_{1Hl} \ddot{z}_{1Hl} + k_{2H}(\dot{z}_{1Hl} - \dot{z}_{2Hl}) + c_{2H}(z_{1Hl} - z_{2Hl}) + c_{1H}(z_{1Hl} - h_{Hl}) = 0 \quad (5.67)$$

(5.11) denklemi (5.67) denklemine konursa,

$$m_{1H} \ddot{z}_{1H} + k_{2H} (\dot{z}_{1H} - \dot{z}_2 - L_{2H} \dot{\phi}_2 - s/2 \cdot \dot{X}_2) + c_{2H} (z_{1H} - z_2 - L_{2H} \phi_2 - s/2 \cdot X_2) + c_{1H} (z_{1H} - h_{H1}) = 0 \quad (5.68)$$

5.2.2 Aksların Yalpa Denklemleri

Ön aksın yalpa denklemini elde etmek için ön sağ ve sol akslara etki eden kuvvetlerin iz genişliğinin ortasına göre olan momentlerinin toplanması gerekir.

Ön sağ aksa etki eden kuvvetlerin iz genişliğinin orta noktasına göre meydana getirdiği

momentlerin toplamı,

$$-m_{1Vr} \ddot{z}_{1Vr} (s/2) - k_{2Vr} (\dot{z}_{1Vr} - \dot{z}_{2Vr}) (s/2) - c_{2Vr} (z_{1Vr} - z_{2Vr}) (s/2) - c_{1Vr} (z_{1Vr} - h_{Vr}) (s/2) \quad (5.69)$$

Ön sol aksa etki eden kuvvetlerin oluşturduğu momentlerin toplamı

$$m_{1Vl} \ddot{z}_{1Vl} (s/2) + k_{2Vl} (\dot{z}_{1Vl} - \dot{z}_{2Vl}) (s/2) + c_{2Vl} (z_{1Vl} - z_{2Vl}) (s/2) + c_{1Vl} (z_{1Vl} - h_{Vl}) (s/2) \quad (5.70)$$

m_{1Vr} ile m_{1Vl} momentler iz genişliğinin orta noktasına göre alındığı için birbirine eşittir.

Ön aksın yalpa hareket denklemi (5.69) ve (5.70) denklemlerinin toplanması ile elde edilir.

$$m_{1Vl}(\ddot{z}_{1Vl} - \ddot{z}_{1Vr})(s/2) + k_{2V}(\dot{z}_{1Vl} - \dot{z}_{1Vr})(s/2) + c_{2V}(z_{1Vl} - z_{1Vr})(s/2) +$$

$$k_{2V}(\dot{z}_{2Vr} - \dot{z}_{2Vl})(s/2) + c_{2V}(z_{2Vr} - z_{2Vl})(s/2) + c_{2V}(z_{1Vl} - z_{1Vr})(s/2)$$

$$-c_{1V}(z_{1Vr} - h_{Vr})(s/2) + c_{1V}(z_{1Vl} - h_{Vl})(s/2) = 0 \quad (5.71)$$

(5.7) ve (5.8) denklemleri (5.71) denklemine konursa,

$$m_{1Vl}(\ddot{z}_{1Vl} - \ddot{z}_{1Vr})(s/2) + k_{2V}(\dot{z}_{1Vl} - \dot{z}_{1Vr})(s/2) + c_{2V}(z_{1Vl} - z_{1Vr})(s/2) +$$

$$k_{2V}(\dot{z}_2 - L_{2V} \dot{\phi}_2 - s/2 \cdot \dot{X}_2 - \dot{z}_2 + L_{2V} \dot{\phi}_2 - s/2 \cdot \dot{X}_2)(s/2)$$

$$+ c_{2V}(z_2 - L_{2V} \phi_2 - s/2 \cdot X_2 - z_2 + L_{2V} \phi_2 - s/2 \cdot X_2)(s/2)$$

$$+ c_{2V}(z_{1Vl} - z_{1Vr})(s/2)$$

$$-c_{1V}(z_{1Vr} - h_{Vr})(s/2) + c_{1V}(z_{1Vl} - h_{Vl})(s/2) = 0 \quad (5.72)$$

(5.72) denklemi düzenlenirse,

$$m_{1Vl}(\ddot{z}_{1Vl} - \ddot{z}_{1Vr})(s/2) + k_{2V}(\dot{z}_{1Vl} - \dot{z}_{1Vr})(s/2) + c_{2V}(z_{1Vl} - z_{1Vr})(s/2)$$

$$-2k_{2V}(s/2)^2 \cdot \dot{X}_2 - 2c_{2V}(s/2)^2 \cdot X_2 - c_{1V}(z_{1Vr} - h_{Vr})(s/2)$$

$$+ c_{1V}(z_{1Vl} - h_{Vl})(s/2) = 0 \quad (5.73)$$

(5.73) denklemi düzenlenirse,

$$\begin{aligned}
 & m_{1Vl} \cdot (\ddot{z}_{1Vl} - \ddot{z}_{1Vr}) \cdot (s/2) + k_{2V} \cdot (\dot{z}_{1Vl} - \dot{z}_{1Vr}) \cdot (s/2) + c_{2V} (z_{1Vl} - z_{1Vr}) \cdot (s/2) \\
 & - 2k_{2V} \cdot (s/2)^2 \cdot \dot{X}_2 - 2c_{2V} \cdot (s/2)^2 \cdot X_2 + c_{1V} (z_{1Vl} - z_{1Vr}) \cdot (s/2) \\
 & + c_{1V} (h_{1Vr} - h_{1Vl}) (s/2) = 0
 \end{aligned} \tag{5.74}$$

(5.45) denklemi (5.74) denklemine yerleştirilirse,

$$\begin{aligned}
 & m_{1Vl} \cdot (s^2/2) \cdot \ddot{X}_{1V} + k_{2V} \cdot (s^2/2) \cdot \dot{X}_{1V} + c_{2V} \cdot (s^2/2) \cdot X_{1V} - 2k_{2V} \cdot (s/2)^2 \cdot \dot{X}_2 - 2c_{2V} \cdot (s/2)^2 \cdot X_2 \\
 & + c_{1V} \cdot (s^2/2) \cdot X_{1V} + c_{1V} (h_{1Vr} - h_{1Vl}) \cdot (s/2) = 0
 \end{aligned} \tag{5.75}$$

$h_{\Delta V}$: Ön aksa ait yalpa uyarısı olmak üzere,

$$h_{Vl} - h_{Vr} = s \cdot h_{\Delta V} \tag{5.76}$$

(5.76) denklemi (5.75) denklemine konursa,

$$\begin{aligned}
 & m_{1Vl} \cdot (s^2/2) \cdot \ddot{X}_{1V} + k_{2V} \cdot (s^2/2) \cdot \dot{X}_{1V} + c_{2V} \cdot (s^2/2) \cdot X_{1V} - 2k_{2V} \cdot (s/2)^2 \cdot \dot{X}_2 - 2c_{2V} \cdot (s/2)^2 \cdot X_2 \\
 & + c_{1V} \cdot (s^2/2) \cdot X_{1V} - c_{1V} h_{\Delta V} \cdot (s^2/2) = 0
 \end{aligned} \tag{5.77}$$

(5.77) denkleminde bulunan $(s^2/2)$ 'li terimler 2 ile çarpılıp 2'ye bölünürse,

$$\begin{aligned}
 & 2 m_{1Vl} \cdot (s/2)^2 \cdot \ddot{X}_{1V} + 2 k_{2V} \cdot (s/2)^2 \cdot \dot{X}_{1V} - 2 c_{2V} \cdot (s/2)^2 \cdot X_{1V} + (2 c_{2V} + 2 c_{1V}) \cdot (s/2)^2 \cdot X_2 \\
 & - 2 c_{1V} h_{\Delta V} \cdot (s/2) = 0
 \end{aligned} \tag{5.78}$$

$2 m_{1V} = m_{1V}$ olmak üzere,

(5.78) denklemi düzenlenirse,

$$m_{1V} \cdot (s/2)^2 \cdot \ddot{X}_{1V} + 2 k_{2V} \cdot (\dot{X}_{1V} - \dot{X}_2) \cdot (s/2)^2 + (2 c_{2V} + 2 c_{1V}) \cdot (s/2)^2 \cdot X_{1V} - 2 c_{2V} \cdot (s/2)^2 \cdot X_2 = 2 c_{1V} h_{\Delta V} \cdot (s/2) \quad (5.79)$$

Arka aksın yalpa denklemini elde etmek için arka sağ ve sol akslara etki eden kuvvetlerin iz genişliğinin ortasına göre olan momentlerinin toplanması gerekir.

Ön sağ aksa etki eden kuvvetlerin iz genişliğinin orta noktasına göre meydana getirdiği momentlerin toplamı,

$$-m_{1Hr} \cdot \ddot{z}_{1Hr} \cdot (s/2) - k_{2H} \cdot (\dot{z}_{1Hr} - \dot{z}_{2Hr}) \cdot (s/2) - c_{2H} \cdot (z_{1Hr} - z_{2Hr}) \cdot (s/2) - c_{1H} (z_{1Hr} - h_{Hr}) \cdot (s/2) \quad (5.80)$$

Ön sol aksa etki eden kuvvetlerin oluşturduğu momentlerin toplamı

$$m_{1Hl} \cdot \ddot{z}_{1Hl} \cdot (s/2) + k_{2H} \cdot (\dot{z}_{1Hl} - \dot{z}_{2Hl}) \cdot (s/2) + c_{2H} \cdot (z_{1Hl} - z_{2Hl}) \cdot (s/2) + c_{1V} (z_{1Hl} - h_{Hl}) \cdot (s/2) \quad (5.81)$$

m_{1Hr} ile m_{1Hl} momentler iz genişliğinin orta noktasına göre alındığı için birbirine eşittir.

Arka aksın yalpa hareket denklemi (5.80) ve (5.81) denklemlerinin toplanması ile elde edilir.

$$m_{1Hl} \cdot (\ddot{z}_{1Hl} - \ddot{z}_{1Hr}) \cdot (s/2) + k_{2H} \cdot (\dot{z}_{1Hl} - \dot{z}_{1Hr}) \cdot (s/2) + c_{2H} (z_{1Hl} - z_{1Hr}) \cdot (s/2) + k_{2H} \cdot (\dot{z}_{2Hr} - \dot{z}_{2Hl}) \cdot (s/2) + c_{2H} \cdot (z_{2Hr} - z_{2Hl}) \cdot (s/2) + c_{2H} \cdot (z_{1Hl} - z_{1Hr}) \cdot (s/2) - c_{1H} (z_{1Hr} - h_{Hr}) \cdot (s/2) + c_{1H} (z_{1Vl} - h_{Hl}) \cdot (s/2) = 0 \quad (5.82)$$

(5.9) ve (5.10) denklemleri (5.82) denklemine konursa,

$$\begin{aligned}
 & m_{1HI} \cdot (\ddot{z}_{1HI} - \ddot{z}_{1Hr}) \cdot (s/2) + k_{2H} \cdot (\dot{z}_{1HI} - \dot{z}_{1Hr}) \cdot (s/2) + c_{2H} (z_{1HI} - z_{1Hr}) \cdot (s/2) + \\
 & k_{2H} \cdot (\dot{z}_2 + L_{2H} \cdot \dot{\phi}_2 - s/2 \cdot \dot{X}_2 - \dot{z}_2 - L_{2H} \cdot \dot{\phi}_2 - s/2 \cdot \dot{X}_2) \cdot (s/2) \\
 & + c_{2H} \cdot (z_2 - L_{2H} \cdot \phi_2 - s/2 \cdot X_2 - z_2 - L_{2H} \cdot \phi_2 - s/2 \cdot X_2) \cdot (s/2) \\
 & + c_{2H} \cdot (z_{1HI} - z_{1Hr}) \cdot (s/2) \\
 & - c_{1H} (z_{1Hr} - h_{Hr}) \cdot (s/2) + c_{1H} (z_{1HI} - h_{HI}) \cdot (s/2) = 0
 \end{aligned} \tag{5.83}$$

(5.83) denklemi düzenlenirse,

$$\begin{aligned}
 & m_{1HI} \cdot (\ddot{z}_{1HI} - \ddot{z}_{1Hr}) \cdot (s/2) + k_{2H} \cdot (\dot{z}_{1HI} - \dot{z}_{1Hr}) \cdot (s/2) + c_{2H} (z_{1HI} - z_{1Hr}) \cdot (s/2) \\
 & - 2k_{2H} \cdot (s/2)^2 \cdot \dot{X}_2 - 2c_{2H} \cdot (s/2)^2 \cdot X_2 - c_{1H} (z_{1Hr} - h_{Hr}) \cdot (s/2) \\
 & + c_{1H} (z_{1HI} - h_{HI}) \cdot (s/2) = 0
 \end{aligned} \tag{5.84}$$

(5.84) denklemi düzenlenirse,

$$\begin{aligned}
 & m_{1HI} \cdot (\ddot{z}_{1HI} - \ddot{z}_{1Hr}) \cdot (s/2) + k_{2H} \cdot (\dot{z}_{1HI} - \dot{z}_{1Hr}) \cdot (s/2) + c_{2H} (z_{1HI} - z_{1Hr}) \cdot (s/2) \\
 & - 2k_{2H} \cdot (s/2)^2 \cdot \dot{X}_2 - 2c_{2H} \cdot (s/2)^2 \cdot X_2 + c_{1H} (z_{1HI} - z_{1Hr}) \cdot (s/2) \\
 & + c_{1H} (h_{1Hr} - h_{1HI}) \cdot (s/2) = 0
 \end{aligned} \tag{5.85}$$

(5.45) denklemi (5.85) denklemine yerleştirilirse,

$$\begin{aligned}
 & m_{1HI} \cdot (s^2/2) \cdot \ddot{X}_{1H} + k_{2H} \cdot (s^2/2) \cdot \dot{X}_{1H} + c_{2H} \cdot (s^2/2) \cdot X_{1H} - 2k_{2H} \cdot (s/2)^2 \cdot \dot{X}_2 - 2c_{2H} \cdot (s/2)^2 \cdot X_2 \\
 & + c_{1H} \cdot (s^2/2) \cdot X_{1H} + c_{1H} (h_{1Hr} - h_{1HI}) \cdot (s/2) = 0
 \end{aligned} \tag{5.86}$$

$h_{\Delta H}$: Arka aksa ait yalpa uyarısı olmak üzere,

$$h_{HI} - h_{Hr} = s \cdot h_{\Delta H} \quad (5.87)$$

(5.87) denklemini (5.86) denklemine konursa,

$$m_{1HI} \cdot (s^2/2) \cdot \ddot{X}_{1H} + k_{2H} \cdot (s^2/2) \cdot \dot{X}_{1H} + c_{2H} \cdot (s^2/2) \cdot X_{1H} - 2 k_{2H} \cdot (s/2)^2 \cdot \dot{X}_2 - 2 c_{2H} \cdot (s/2)^2 \cdot X_2 + c_{1H} \cdot (s^2/2) \cdot X_{1H} - c_{1H} h_{\Delta H} \cdot (s^2/2) = 0 \quad (5.88)$$

(5.88) denkleminde bulunan $(s^2/2)$ 'li terimler 2 ile çarpılıp 2'ye bölünürse,

$$2 m_{1HI} \cdot (s/2)^2 \cdot \ddot{X}_{1H} + 2 k_{2H} \cdot (s/2)^2 \cdot (\dot{X}_{1H} - \dot{X}_2) + (2 c_{2H} + 2 c_{1H}) (s/2)^2 (X_{1H}) - 2 c_{2H} \cdot (s/2)^2 \cdot X_2 = 2 c_{1H} h_{\Delta H} \cdot (s/2) \quad (5.89)$$

$2 m_{1HI} = m_{1H}$ olmak üzere,

$$m_{1H} \cdot (s/2)^2 \cdot \ddot{X}_{1H} + 2 k_{2H} \cdot (s/2)^2 \cdot (\dot{X}_{1H} - \dot{X}_2) + (2 c_{2H} + 2 c_{1H}) (s/2)^2 (X_{1H}) - 2 c_{2H} \cdot (s/2)^2 \cdot X_2 = 2 c_{1H} h_{\Delta H} \cdot (s/2) \quad (5.90)$$

5.3 MOTORUN HAREKET VE MOMENT DENKLEMLERİ

5.3.1 Motorun Hareket Denklemleri

Motorun hareket ve yalpa denklemlerinde kullanılan terimler,

z_M : Motorun ağırlık merkezinin deplasmanı

z_{M1} : Motor üzerindeki birinci noktanın deplasmanı

z_{M2} : Motor üzerindeki ikincinin noktanın deplasmanı

z_{M3} : Motor üzerindeki üçüncü noktanın deplasmanı

z_{M4} : Motor üzerindeki dördüncü noktanın deplasmanı

l_1 : Motor üzerindeki birinci noktanın motorun ağırlık merkezine X_M eksen yönündeki uzaklığı

l_2 : Motor üzerindeki ikinci noktanın motorun ağırlık merkezine X_M eksen yönündeki uzaklığı

l_3 : Motor üzerindeki üçüncü noktanın motorun ağırlık merkezine X_M eksen yönündeki uzaklığı

l_4 : Motor üzerindeki dördüncü noktanın motorun ağırlık merkezine X_M eksen yönündeki uzaklığı

s_{M1} : Motor üzerindeki üçüncü noktanın motorun ağırlık merkezine Y_M eksen yönündeki uzaklığı

s_{M2} : Motor üzerindeki üçüncü noktanın motorun ağırlık merkezine Y_M eksen yönündeki uzaklığı

s_{M3} : Motor üzerindeki üçüncü noktanın motorun ağırlık merkezine Y_M eksen yönündeki uzaklığı

s_{M4} : Motor üzerindeki üçüncü noktanın motorun ağırlık merkezine Y_M eksen yönündeki uzaklığı

s_1 : Motor üzerindeki birinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün

taşıt gövdesinin ağırlık merkezine Y_2 eksen yönündeki uzaklığı

s_2 : Motor üzerindeki ikinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün

taşıt gövdesinin ağırlık merkezine Y_2 eksen yönündeki uzaklığı

s_3 : Motor üzerindeki üçüncü noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün

taşıt gövdesinin ağırlık merkezine Y_2 eksen yönündeki uzaklığı

J_{MY} : Motorun X_M eksenindeki atalet momenti

J_{MX} : Motorun Y_M eksenindeki atalet momenti

z_{1SM} : Motor üzerindeki birinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün
deplasmanı

z_{2SM} : Motor üzerindeki ikinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün
deplasmanı

z_{3SM} : Motor üzerindeki üçüncü noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün
deplasmanı

c_{M1} : Motor üzerindeki birinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan yay elemanın yay
katsayısı

c_{M2} : Motor üzerindeki ikinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan yay elemanın yay
katsayısı

c_{M3} : Motor üzerindeki üçüncü noktayı taşıt gövdesine bağlayan yay elemanın yay
katsayısı

c_{me1} : Motor üzerindeki dördüncü noktayı birinci egzoz parçasına bağlayan yay
elemanın yay katsayısı

k_{M1} : Motor üzerindeki birinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan sönüm elemanın yay
katsayısı

k_{M2} : Motor üzerindeki ikinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan sönüm elemanın yay
katsayısı

k_{M3} : Motor üzerindeki üçüncü noktayı taşıt gövdesine bağlayan sönüm elemanın yay katsayısı

k_{me1} : Motor üzerindeki dördüncü noktayı birinci egzoz parçasına bağlayan sönüm elemanın yay katsayısı

m_M : Motorun kütlesi

J_{MY} : Motorun XM eksenine göre atalet momenti

J_{MX} : Motorun YM eksenine göre atalet momenti

X_M : Motorun yalpa açısı (X_2 ile aynı yönde)

ϕ_M : Motorun kafa vurma açısı (ϕ_2 ile aynı yönde)

Motor üzerindeki birinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün taşıt

gövdesinin ağırlık merkezine X_2 eksen yönündeki mesafesi,

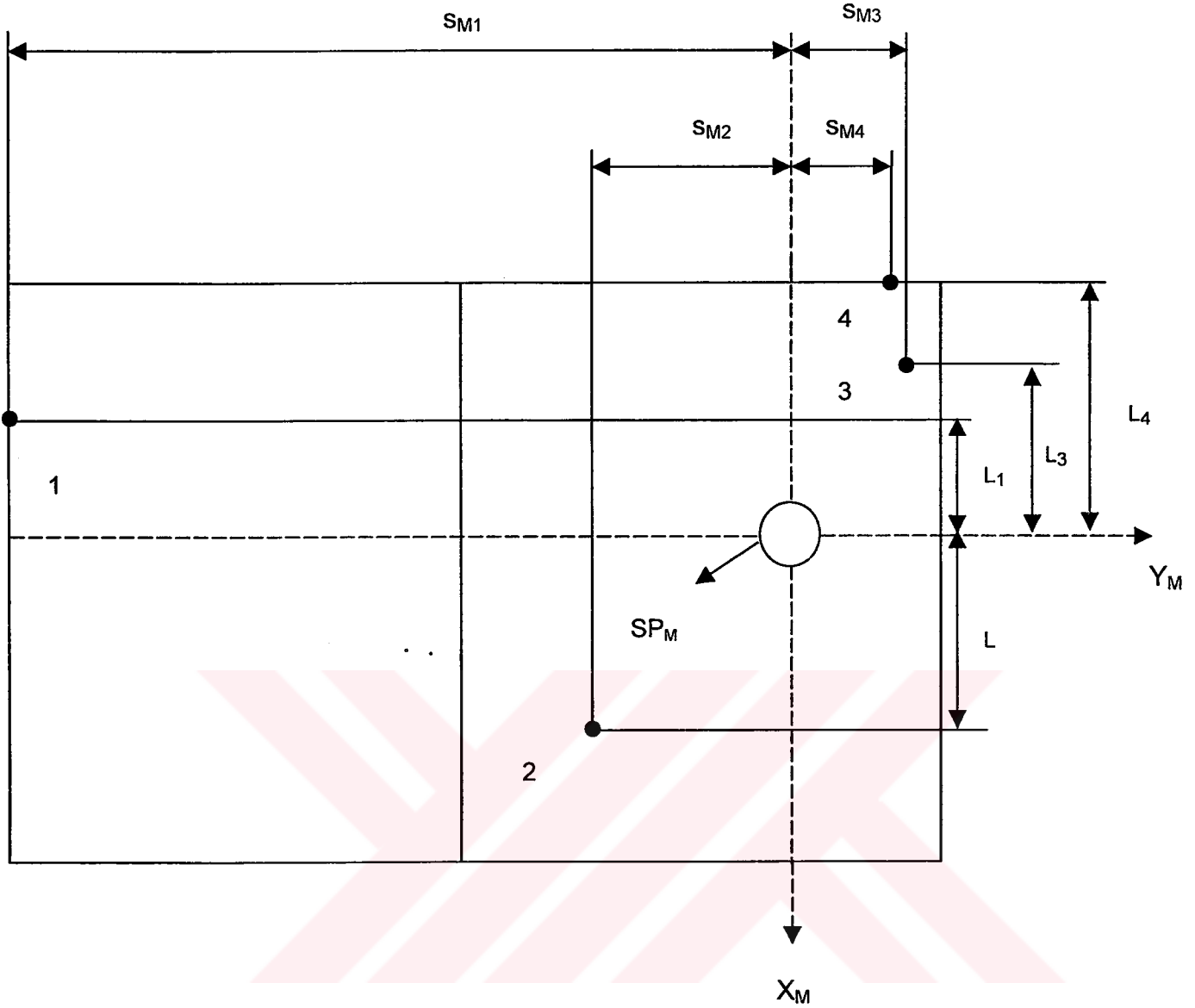
$$b_x - l_1$$

Motor üzerindeki ikinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün taşıt gövdesinin ağırlık merkezine X_2 eksen yönündeki mesafesi

$$b_x + l_2$$

Motor üzerindeki üçüncü noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün taşıt gövdesinin ağırlık merkezine X_2 eksen yönündeki mesafesi

$$b_x - l_3$$



Şekil 5.4 Motorun üstten görünüşü

Motor üzerindeki bulunan noktalarının deplasmanları taşıt gövdesinin akslar üzerinde bulunan kısımlarının deplasmanlarının hesaplandığı yöntemle hesaplanır. Şekil 5.4'de motorun üstten görünüşü görülmektedir.

Motor üzerindeki birinci noktanın deplasmanı,

$$Z_{M1} = Z_M + I_1 \cdot \varphi_M - S_{M1} \cdot X_M \quad (5.91)$$

Motor üzerindeki ikinci noktanın deplasmanı,

$$Z_{M2} = Z_M - I_2 \cdot \varphi_M - S_{M2} \cdot X_M \quad (5.92)$$

Motor üzerindeki üçüncü noktanın deplasmanı,

$$z_{M3} = z_M + l_3 \cdot \varphi_M + s_{M3} \cdot X_M \quad (5.93)$$

Motor üzerindeki dördüncü noktanın deplasmanı

$$z_{M4} = z_M + l_4 \cdot \varphi_M + s_{M4} \cdot X_M \quad (5.94)$$

Birinci egzoz parçası üzerindeki dördüncü noktanın deplasmanı

$$z_{e1} = z_{e1} - l_{4e1} \cdot \varphi_{e1} - s_{4e1} \cdot X_{e1} \quad (5.95)$$

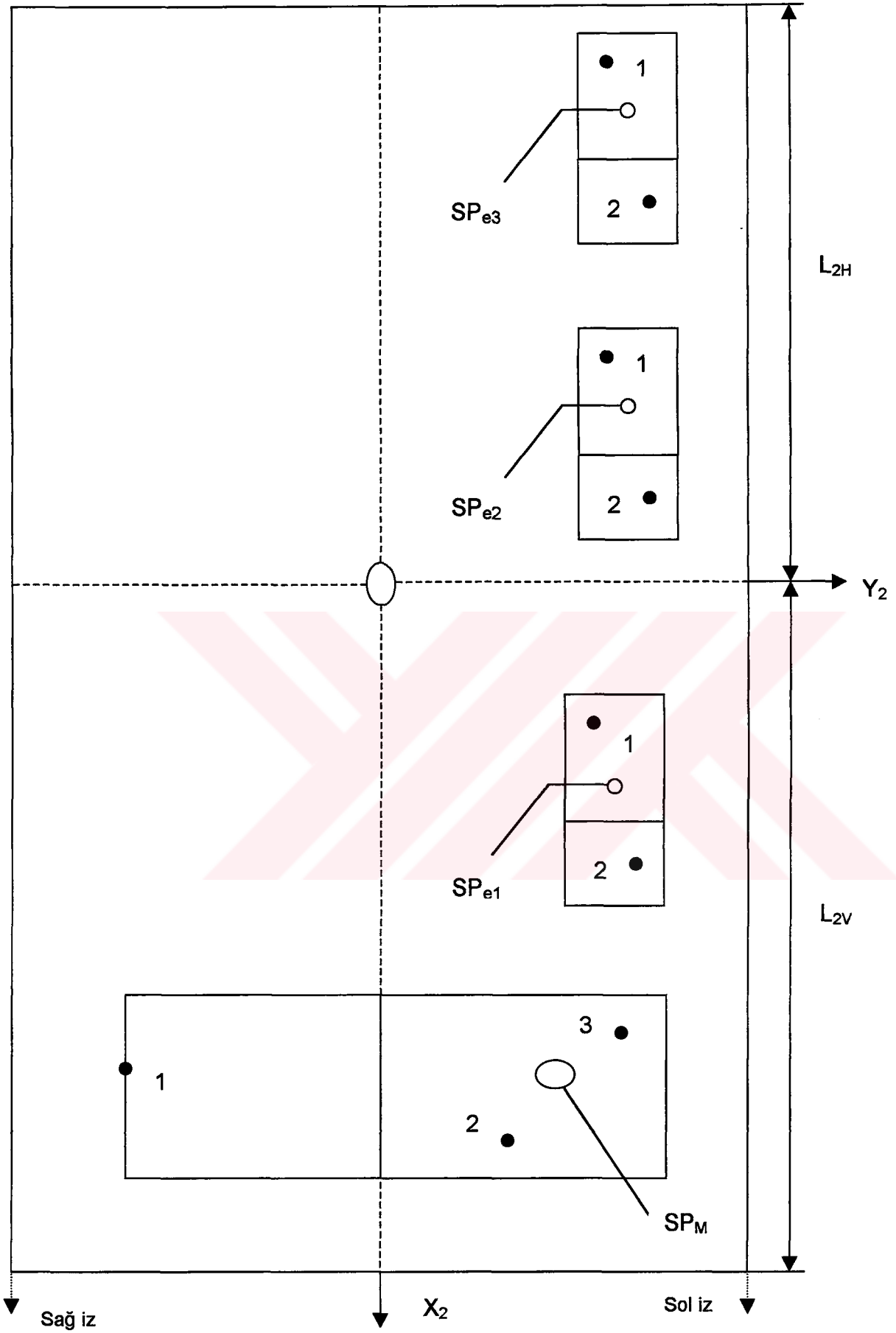
Şekil 5.5'de motorun taşıt gövdesinin üstten görünüşündeki konumu görülmektedir.

Motora birinci egzoz parçasından etki eden toplam kuvvet ,

$$k_{me1} (\dot{z}_{M4} - \dot{z}_{e1}) + c_{me1} (z_{M4} - z_{e1}) \quad (5.96)$$

(5.96) denklemine (5.94) ve (5.95) denklemleri konursa, motora birinci egzoz parçasından etki eden toplam kuvvet bulunur.

$$\begin{aligned} & k_{me1} \cdot (\dot{z}_M + l_4 \cdot \dot{\varphi}_M + s_{M4} \cdot \ddot{X}_M - \dot{z}_{e1} + l_{4e1} \cdot \dot{\varphi}_{e1} + s_{4e1} \cdot \ddot{X}_{e1}) + \\ & + c_{me1} \cdot (z_M + l_4 \cdot \varphi_M + s_{M4} \cdot X_M - z_{e1} + l_{4e1} \cdot \varphi_{e1} + s_{4e1} \cdot X_{e1}) \end{aligned} \quad (5.97)$$



Şekil 5.4 Motorun taşıt gövdesinin üstten görünüşündeki konumu

Motorun hareket denklemini yazmak için ilk önce motorun birinci egzoz kütlesi ile bağlantısının olmadığı kabul edilir.

Motor üzerindeki noktaların taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümlerinin deplasmanları

Motor üzerindeki birinci nokta için,

$$z_{1SM} = z_2 - (b_x - l_1) \cdot \varphi_2 - s_1 \cdot X_2 \quad (5.98)$$

Motor üzerindeki ikinci nokta için,

$$z_{2SM} = z_2 - (b_x + l_2) \cdot \varphi_2 + s_2 \cdot X_2 \quad (5.99)$$

Motor üzerindeki üçüncü nokta için,

$$z_{3SM} = z_2 - (b_x - l_3) \cdot \varphi_2 + s_3 \cdot X_2 \quad (5.100)$$

Motor üzerindeki birinci noktanın olduğu kısmın kütlesini A ,ikinci noktanın olduğu kısmın kütlesini B, üçüncü noktasının olduğu kısmın kütlesi C olsun.

X_M eksenine göre moment alınırsa,

$$A \cdot s_{M1} + B \cdot s_{M2} = C \cdot s_{M3} \quad (5.101)$$

Y_M eksenine göre moment alınırsa,

$$B \cdot l_2 = A \cdot l_1 + C \cdot l_3 \quad (5.102)$$

ve

$$A + B + C = m_M \quad (5.103)$$

Motor üzerindeki birinci noktanın bulunduğu kısmın hareket denklemi;

$$A \cdot \ddot{z}_{M1} + k_{M1} \cdot (\dot{z}_{M1} - \dot{z}_{1SM}) + c_{M1} \cdot (z_{M1} - z_{1SM}) = 0 \quad (5.104)$$

(5.91) ve (5.98) denklemleri (5.104) denklemine konursa,

$$\begin{aligned}
 A. & (\ddot{z}_M + l_1 \cdot \ddot{\phi}_M - s_{M1} \cdot \ddot{X}_M) \\
 & + k_{M1} \cdot (\dot{z}_M + l_1 \cdot \dot{\phi}_M - s_{M1} \cdot \dot{X}_M - \dot{z}_2 + (b_x - l_1) \cdot \dot{\phi}_2 + s_1 \cdot \dot{X}_2) \\
 & + c_{M1} \cdot (z_M + l_1 \cdot \phi_M - s_{M1} \cdot X_M - z_2 + (b_x - l_1) \cdot \phi_2 + s_1 \cdot X_2) = 0
 \end{aligned} \tag{5.105}$$

Motor üzerindeki ikinci noktanın bulunduğu kısmın hareket denklemi,

$$B. \ddot{z}_{M2} + k_{M2} \cdot (\dot{z}_{M2} - \dot{z}_{2SM}) + c_{M2} \cdot (z_{M2} - z_{2SM}) = 0 \tag{5.106}$$

(5.92) ve (5.99) denklemleri (5.106) denklemine konursa,

$$\begin{aligned}
 B. & (\ddot{z}_M - l_2 \cdot \ddot{\phi}_M - s_{M2} \cdot \ddot{X}_M) \\
 & + k_{M2} \cdot (\dot{z}_M - l_2 \cdot \dot{\phi}_M - s_{M2} \cdot \dot{X}_M - \dot{z}_2 + (b_x + l_2) \cdot \dot{\phi}_2 - s_2 \cdot \dot{X}_2) \\
 & + c_{M2} \cdot (z_M + l_2 \cdot \phi_M - s_{M2} \cdot X_M - z_2 + (b_x + l_2) \cdot \phi_2 - s_2 \cdot X_2) = 0
 \end{aligned} \tag{5.107}$$

Motor üzerindeki üçüncü noktanın bulunduğu kısmın hareket denklemi,

$$C. \ddot{z}_{M3} + k_{M3} \cdot (\dot{z}_{M3} - \dot{z}_{3SM}) + c_{M3} \cdot (z_{M3} - z_{3SM}) = 0 \tag{5.108}$$

(5.93) ve (5.100) denklemleri (5.109) denklemine konursa

$$\begin{aligned}
 C. & (\ddot{z}_M + l_3 \cdot \ddot{\phi}_M + s_{M3} \cdot \ddot{X}_M) \\
 & + k_{M3} \cdot (\dot{z}_M + l_3 \cdot \dot{\phi}_M + s_{M3} \cdot \dot{X}_M - \dot{z}_2 + (b_x - l_3) \cdot \dot{\phi}_2 - s_3 \cdot \dot{X}_2) \\
 & + c_{M3} \cdot (z_M + l_3 \cdot \phi_M + s_{M3} \cdot X_M - z_2 + (b_x - l_3) \cdot \phi_2 - s_3 \cdot X_2) = 0
 \end{aligned} \tag{5.109}$$

(5.105), (5.107) ve (5.109) denklemleri taraf tarafa toplanırsa motorun kuvvet denklemini elde edilir.

$$\begin{aligned}
& (A+B+C). \ddot{z}_M + (A.l_1 - B.l_2 + C.l_3). \ddot{\phi}_M + (-A.s_{M1} - B.s_{M2} + C.s_{M3}). \ddot{X}_M \\
& + (k_{M1} + k_{M2} + k_{M3}). \dot{z}_M + (k_{M1}.l_1 - k_{M2}.l_2 + k_{M3}.l_3). \dot{\phi}_M \\
& + (k_{M3}.s_{M3} - k_{M2}.s_{M2} - k_{M1}.s_{M1}). \dot{X}_M \\
& - (k_{M1} + k_{M2} + k_{M3}). \dot{z}_2 + (k_{M1}.(b_x - l_1) + k_{M2}.(b_x + l_2) + k_{M3}.(b_x - l_3)) \dot{\phi}_2 \\
& + (c_{M1}.s_1 - k_{M2}.s_2 - k_{M3}.s_3). \dot{X}_2 + (c_{M1} + c_{M2} + c_{M3}). z_M \\
& + (c_{M1}.l_1 - c_{M2}.l_2 + c_{M3}.l_3). \phi_M + (c_{M3}.s_{M3} - c_{M2}.s_{M2} - c_{M1}.s_{M1}). X_M \\
& - (c_{M1} + c_{M2} + c_{M3}). z_2 + (c_{M1}.(b_x - l_1) + c_{M2}.(b_x + l_2) + c_{M3}.(b_x - l_3)). \phi_2 \\
& + (c_{M1}.s_1 - c_{M2}.s_2 - c_{M3}.s_3). X_2 = 0 \tag{5.110}
\end{aligned}$$

(5.101) ,(5.102) ve (5.103) denklemleri (5.110) denklemin ilk satırındaki yerlerine konursa,

(5.110) denkleminin ilk satırında bulunan $\ddot{\phi}_M$ ve $\ddot{X}_M$ 'li terimler yok olurlar.

Yapılan düzenlemelerden sonra da (5.110) denklemi aşağıdaki denkleme dönüşür.

$$\begin{aligned}
& m_M \cdot \ddot{z}_M + (k_{M1} + k_{M2} + k_{M3}) \cdot \dot{z}_M + (k_{M1} \cdot l_1 - k_{M2} \cdot l_2 + k_{M3} \cdot l_3) \cdot \dot{\varphi}_M \\
& + (k_{M3} \cdot s_{M3} - k_{M2} \cdot s_{M2} - k_{M1} \cdot s_{M1}) \cdot \dot{X}_M \\
& - (k_{M1} + k_{M2} + k_{M3}) \cdot \dot{z}_2 + (k_{M1} \cdot (b_x - l_1) + k_{M2} \cdot (b_x + l_2) + k_{M3} \cdot (b_x - l_3)) \cdot \dot{\varphi}_2 \\
& + (k_{M1} \cdot s_1 - k_{M2} \cdot s_2 - k_{M3} \cdot s_3) \cdot \dot{X}_2 + (c_{M1} + c_{M2} + c_{M3}) \cdot z_M \\
& + (c_{M1} \cdot l_1 - c_{M2} \cdot l_2 + c_{M3} \cdot l_3) \cdot \varphi_M + (c_{M3} \cdot s_{M3} - c_{M2} \cdot s_{M2} - c_{M1} \cdot s_{M1}) \cdot X_M \\
& - (c_{M1} + c_{M2} + c_{M3}) \cdot z_2 + (c_{M1} \cdot (b_x - l_1) + c_{M2} \cdot (b_x + l_2) + c_{M3} \cdot (b_x - l_3)) \cdot \varphi_2 \\
& + (c_{M1} \cdot s_1 - c_{M2} \cdot s_2 - c_{M3} \cdot s_3) \cdot X_2 = 0
\end{aligned} \tag{5.111}$$

(5.111) denklemi motoru birinci egzoz parçasına bağlı olmadığı durumdaki hareket denklemdir. Fakat modelde motor birinci egzoz parçasına yay ve sönüm elemanı ile bağlıdır. Bu nedenle bu bağlantıdan gelen kuvvetler (5.111) denklemine eklenmelidir.

(5.97) denklemi (5.111) denklemine eklenirse motorun hareket denklemi elde edilir.

$$\begin{aligned}
 m_M \cdot \ddot{z}_M + (k_{M1} + k_{M2} + k_{M3}) \cdot \dot{z}_M + (k_{M1} \cdot l_1 - k_{M2} \cdot l_2 + k_{M3} \cdot l_3) \cdot \dot{\varphi}_M \\
 + (k_{M3} \cdot s_{M3} - k_{M2} \cdot s_{M2} - k_{M1} \cdot s_{M1}) \cdot \dot{X}_M \\
 - (k_{M1} + k_{M2} + k_{M3}) \cdot \dot{z}_2 + (k_{M1} \cdot (b_x - l_1) + k_{M2} \cdot (b_x + l_2) + k_{M3} \cdot (b_x - l_3)) \cdot \dot{\varphi}_2 \\
 + (k_{M1} \cdot s_1 - k_{M2} \cdot s_2 - k_{M3} \cdot s_3) \cdot \dot{X}_2 + (c_{M1} + c_{M2} + c_{M3}) \cdot z_M \\
 + (c_{M1} \cdot l_1 - c_{M2} \cdot l_2 + c_{M3} \cdot l_3) \cdot \varphi_M + (c_{M3} \cdot s_{M3} - c_{M2} \cdot s_{M2} - c_{M1} \cdot s_{M1}) \cdot X_M \\
 - (c_{M1} + c_{M2} + c_{M3}) \cdot z_2 + (c_{M1} \cdot (b_x - l_1) + c_{M2} \cdot (b_x + l_2) + c_{M3} \cdot (b_x - l_3)) \cdot \varphi_2 \\
 + (c_{M1} \cdot s_1 - c_{M2} \cdot s_2 - c_{M3} \cdot s_3) \cdot X_2 + \\
 k_{me1} \cdot (\dot{z}_M + l_4 \cdot \dot{\varphi}_M + s_{M4} \cdot \dot{X}_M - \dot{z}_{e1} + l_{4e1} \cdot \dot{\varphi}_{e1} + s_{4e1} \cdot \dot{X}_{e1}) + \\
 c_{me1} \cdot (z_M + l_4 \cdot \varphi_M + s_{M4} \cdot X_M - z_{e1} + l_{4e1} \cdot \varphi_{e1} + s_{4e1} \cdot X_{e1}) = 0
 \end{aligned} \tag{5.112}$$

(5.112) denklemi düzenlenirse,

$$\begin{aligned}
& m_M \ddot{z}_M + (k_{M1} + k_{M2} + k_{M3} + k_{me1}) \dot{z}_M \\
& + (k_{M1} \cdot l_1 - k_{M2} \cdot l_2 + k_{M3} \cdot l_3 + k_{me1} \cdot l_4) \cdot \dot{\varphi}_M \\
& + (k_{M3} \cdot s_{M3} - k_{M2} \cdot s_{M2} - k_{M1} \cdot s_{M1} + k_{me1} \cdot s_{M4}) \cdot \dot{X}_M \\
& - (k_{M1} + k_{M2} + k_{M3}) \cdot \dot{z}_2 + (k_{M1} \cdot (b_x - l_1) + k_{M2} \cdot (b_x + l_2) + k_{M3} \cdot (b_x - l_3)) \cdot \dot{\varphi}_2 \\
& + (k_{M1} \cdot s_1 - k_{M2} \cdot s_2 - k_{M3} \cdot s_3) \cdot \dot{X}_2 - k_{me1} \cdot \dot{z}_{e1} + k_{me1} \cdot l_{4e1} \cdot \dot{\varphi}_{e1} + k_{me1} \cdot s_{4e1} \cdot \dot{X}_{e1} + \\
& + (c_{M1} + c_{M2} + c_{M3} + c_{me1}) \cdot z_M + (c_{M1} \cdot l_1 - c_{M2} \cdot l_2 + c_{M3} \cdot l_3 + c_{me1} \cdot l_4) \cdot \varphi_M \\
& + (c_{M3} \cdot s_{M3} - c_{M2} \cdot s_{M2} - c_{M1} \cdot s_{M1} + c_{me1} \cdot s_{M4}) \cdot X_M \\
& - (c_{M1} + c_{M2} + c_{M3}) \cdot z_2 + (c_{M1} \cdot (b_x - l_1) + c_{M2} \cdot (b_x + l_2) + c_{M3} \cdot (b_x - l_3)) \cdot \varphi_2 \\
& + (c_{M1} \cdot s_1 - c_{M2} \cdot s_2 - c_{M3} \cdot s_3) \cdot X_2 - c_{me1} \cdot z_{e1} + c_{me1} \cdot l_{4e1} \cdot \varphi_{e1} + c_{me1} \cdot s_{4e1} \cdot X_{e1} = 0 \quad (5.113)
\end{aligned}$$

5.3.2 Motorun Kafa Vurma Moment Denklemi

Motora birinci egzoz parçasından etki eden toplam kuvvetinin motorun X_M eksenine göre moment denklemi;

$$k_{me1} \cdot (\dot{z}_{M4} - \dot{z}_{4e1}) \cdot l_4 + c_{me1} \cdot (z_{M4} - z_{4e1}) \cdot l_4 \quad (5.114)$$

(5.94) ve (5.95) denklemleri (5.114) denklemine konursa,

$$\begin{aligned}
& k_{me1} \cdot (\dot{z}_M + l_4 \cdot \dot{\varphi}_M + s_{M4} \cdot \dot{X}_M - \dot{z}_{e1} + l_{4e1} \cdot \dot{\varphi}_{e1} + s_{4e1} \cdot \dot{X}_{e1}) \cdot l_4 + \\
& c_{me1} \cdot (z_M + l_4 \cdot \varphi_M + s_{M4} \cdot X_M - z_{e1} + l_{4e1} \cdot \varphi_{e1} + s_{4e1} \cdot X_{e1}) \cdot l_4 \quad (5.115)
\end{aligned}$$

Motorun X_M eksenine göre moment denkleminin çıkarılması

Motorun J_{MY} atalet momenti üç parçaya ayrılırsa,

$$J_{MY} = J_{1MY} + J_{2MY} + J_{3MY}$$

J_{1MY} : Motorun birinci noktasının bulunduğu kısmın X_M eksenine göre atalet momenti

J_{2MY} : Motorun birinci noktasının bulunduğu kısmın X_M eksenine göre atalet momenti

J_{3MY} : 3 noktasına ait açılal moment

Motorun birinci noktasının bulunduğu kısmının X_M eksenine göre moment denklemi,

$$J_{1MY} \ddot{\phi}_M + k_{M1} (\dot{z}_{M1} - \dot{z}_{1SM}) \cdot l_1 + c_{M1} (z_{M1} - z_{1SM}) \cdot l_1 = 0 \quad (5.116)$$

(5.91) ve (5.98) denklemleri (5.116) denklemine konursa ,

$$\begin{aligned} J_{1MY} \ddot{\phi}_M + k_{M1} (\dot{z}_M + l_1 \cdot \dot{\phi}_M - s_{M1} \cdot \dot{X}_M - \dot{z}_2 + (b_x - l_1) \cdot \dot{\phi}_2 + s_1 \cdot \dot{X}_2) \cdot l_1 \\ + c_{M1} (z_M + l_1 \cdot \phi_M - s_{M1} \cdot X_M - z_2 + (b_x - l_1) \cdot \phi_2 + s_1 \cdot X_2) \cdot l_1 = 0 \end{aligned} \quad (5.117)$$

Motorun ikinci noktasının bulunduğu kısmının X_M eksenine göre moment denklemi,

$$J_{2MY} \ddot{\phi}_M - k_{M2} (\dot{z}_{M2} - \dot{z}_{2SM}) \cdot l_2 - c_{M2} (z_{M2} - z_{2SM}) \cdot l_2 = 0 \quad (5.118)$$

(5.92) ve (5.99) denklemleri (5.118) denklemine konursa

$$\begin{aligned} J_{2MY} \ddot{\phi}_M - k_{M2} (\dot{z}_M - l_2 \cdot \dot{\phi}_M - s_{M2} \cdot \dot{X}_M - \dot{z}_2 + (b_x + l_2) \cdot \dot{\phi}_2 - s_2 \cdot \dot{X}_2) \cdot l_2 \\ - c_{M2} (z_M - l_2 \cdot \phi_M - s_{M2} \cdot X_M - z_2 + (b_x + l_2) \cdot \phi_2 - s_2 \cdot X_2) \cdot l_2 = 0 \end{aligned} \quad (5.119)$$

Motorun üçüncü noktasının bulunduğu kısmının X_M eksenine göre moment denklemi,

$$J_{3MY} \ddot{\phi}_M + k_{M3} (\dot{z}_{M3} - \dot{z}_{3SM}) \cdot l_3 + c_{M1} \cdot (z_{M3} - z_{3SM}) \cdot l_3 = 0 \quad (5.120)$$

(5.93) ve (5.100) denklemleri (5.120) denklemine konursa,

$$\begin{aligned} J_{3MY} \ddot{\phi}_M + k_{M3} \cdot (\dot{z}_M + l_3 \cdot \dot{\phi}_M + s_{M3} \cdot \dot{X}_M - \dot{z}_2 + (b_x - l_3) \cdot \dot{\phi}_2 - s_3 \cdot \dot{X}_2) \cdot l_3 \\ + c_{M3} \cdot (z_M + l_3 \cdot \phi_M + s_{M3} \cdot X_M - z_2 + (b_x - l_3) \cdot \phi_2 - s_3 \cdot X_2) \cdot l_3 = 0 \end{aligned} \quad (5.121)$$

(5.117), (5.119) ve (5.121) denklemleri taraf tarafa toplanılırsa motorun X_M eksenine göre moment denklemi elde edilir.

$$\begin{aligned} J_{MY} \ddot{\phi}_M + (k_{M1} \cdot l_1 - k_{M2} \cdot l_2 + k_{M3} \cdot l_3) \cdot \dot{z}_M + (k_{M1} \cdot l_1^2 + k_{M2} \cdot l_2^2 + k_{M3} \cdot l_3^2) \cdot \dot{\phi}_M \\ + (k_{M2} \cdot s_{M2} \cdot l_2 + k_{M3} \cdot s_{M3} \cdot l_3 - k_{M1} \cdot s_{M1} \cdot l_1) \cdot \dot{X}_M + (k_{M2} \cdot l_2 - k_{M1} \cdot l_1 - k_{M3} \cdot l_3) \cdot \dot{z}_2 \\ + (k_{M1} \cdot (b_x \cdot l_1 - l_1^2) - k_{M2} \cdot (b_x \cdot l_2 + l_2^2) + k_{M3} \cdot (b_x \cdot l_3 - l_3^2)) \cdot \dot{\phi}_2 \\ + (k_{M1} \cdot s_1 \cdot l_1 + k_{M2} \cdot s_2 \cdot l_2 - k_{M3} \cdot s_3 \cdot l_3) \cdot \dot{X}_2 + (c_{M1} \cdot l_1 - c_{M2} \cdot l_2 + c_{M3} \cdot l_3) \cdot z_M \\ + (c_{M1} \cdot l_1^2 + c_{M2} \cdot l_2^2 + c_{M3} \cdot l_3^2) \cdot \phi_M \\ + (c_{M2} \cdot s_{M2} \cdot l_2 + c_{M3} \cdot s_{M3} \cdot l_3 - c_{M1} \cdot s_{M1} \cdot l_1) \cdot X_M + (c_{M2} \cdot l_2 - c_{M1} \cdot l_1 - c_{M3} \cdot l_3) \cdot z_2 \\ + (c_{M1} \cdot (b_x \cdot l_1 - l_1^2) - c_{M2} \cdot (b_x \cdot l_2 + l_2^2) + c_{M3} \cdot (b_x \cdot l_3 - l_3^2)) \cdot \phi_2 \\ + (c_{M1} \cdot s_1 \cdot l_1 + c_{M2} \cdot s_2 \cdot l_2 - c_{M3} \cdot s_3 \cdot l_3) \cdot X_2 = 0 \end{aligned} \quad (5.122)$$

(5.122) denklemi motorun birinci egzoz parçasına bağlı olmadığı durumdaki X_M eksenine göre moment denklemdir. Fakat modelde motor birinci egzoz parçasına yay ve sönüm elemanlarıyla bağlıdır. Bu elemanların yarattığı kuvvetlerin motorun X_M eksenine göre momentleri (5.122) denklemine eklenirse motorun birinci egzoz parçası ile bağlı olduğu durumdaki X_M eksenine göre moment denklemi elde edilir.

(5.115) denklemi (5.122) denklemine eklenirse,

$$\begin{aligned}
 & J_{MY} \cdot \ddot{\varphi}_M + (k_{M1} \cdot l_1 - k_{M2} \cdot l_2 + k_{M3} \cdot l_3) \cdot \dot{z}_M + (k_{M1} \cdot l_1^2 + k_{M2} \cdot l_2^2 + k_{M3} \cdot l_3^2) \cdot \dot{\varphi}_M \\
 & + (k_{M2} \cdot s_{M2} \cdot l_2 + k_{M3} \cdot s_{M3} \cdot l_3 - k_{M1} \cdot s_{M1} \cdot l_1) \cdot \dot{X}_M + (k_{M2} \cdot l_2 - k_{M1} \cdot l_1 - k_{M3} \cdot l_3) \cdot \dot{z}_2 \\
 & + (k_{M1} \cdot (b_x \cdot l_1 - l_1^2) - k_{M2} \cdot (b_x \cdot l_2 + l_2^2) + k_{M3} \cdot (b_x \cdot l_3 - l_3^2)) \cdot \dot{\varphi}_2 \\
 & + (k_{M1} \cdot s_1 \cdot l_1 + k_{M2} \cdot s_2 \cdot l_2 - k_{M3} \cdot s_3 \cdot l_3) \cdot \dot{X}_2 + (c_{M1} \cdot l_1 - c_{M2} \cdot l_2 + c_{M3} \cdot l_3) \cdot z_M \\
 & + (c_{M1} \cdot l_1^2 + c_{M2} \cdot l_2^2 + c_{M3} \cdot l_3^2) \cdot \varphi_M \\
 & + (c_{M2} \cdot s_{M2} \cdot l_2 + c_{M3} \cdot s_{M3} \cdot l_3 - c_{M1} \cdot s_{M1} \cdot l_1) \cdot X_M + (c_{M2} \cdot l_2 - c_{M1} \cdot l_1 - c_{M3} \cdot l_3) \cdot z_2 \\
 & + (c_{M1} \cdot (b_x \cdot l_1 - l_1^2) - c_{M2} \cdot (b_x \cdot l_2 + l_2^2) + c_{M3} \cdot (b_x \cdot l_3 - l_3^2)) \cdot \varphi_2 \\
 & + (c_{M1} \cdot s_1 \cdot l_1 + c_{M2} \cdot s_2 \cdot l_2 - c_{M3} \cdot s_3 \cdot l_3) \cdot X_2 \\
 & + k_{me1} \cdot (\dot{z}_M + l_4 \cdot \dot{\varphi}_M + s_{M4} \cdot \dot{X}_M - \dot{z}_{e1} + l_{4e1} \cdot \dot{\varphi}_{e1} + s_{4e1} \cdot \dot{X}_{e1}) \cdot l_4 + \\
 & + c_{me1} \cdot (z_M + l_4 \cdot \varphi_M + s_{M4} \cdot X_M - z_{e1} + l_{4e1} \cdot \varphi_{e1} + s_{4e1} \cdot X_{e1}) \cdot l_4 = 0
 \end{aligned} \tag{5.123}$$

(5.123) denklemi düzenlenirse motorun birinci egzoz parçasına bağlı olduğu durumdaki X_M eksenine göre moment denklemi elde edilir.

$$\begin{aligned}
& J_{MY} \cdot \ddot{\phi}_M + (k_{M1} \cdot l_1 - k_{M2} \cdot l_2 + k_{M3} \cdot l_3 + k_{me1} \cdot l_4) \cdot \dot{z}_M \\
& + (k_{M1} \cdot l_1^2 + k_{M2} \cdot l_2^2 + k_{M3} \cdot l_3^2 + k_{me1} \cdot l_4^2) \cdot \dot{\phi}_M \\
& + (k_{M2} \cdot s_{M2} \cdot l_2 + k_{M3} \cdot s_{M3} \cdot l_3 + k_{me1} \cdot s_{M4} \cdot l_4 - k_{M1} \cdot s_{M1} \cdot l_1) \cdot \dot{X}_M \\
& + (k_{M2} \cdot l_2 - k_{M3} \cdot l_3 - k_{M1} \cdot l_1) \cdot \dot{z}_2 \\
& + (k_{M1} \cdot (b_x \cdot l_1 - l_1^2) - k_{M2} \cdot (b_x \cdot l_2 + l_2^2) + k_{M3} \cdot (b_x \cdot l_3 - l_3^2)) \cdot \dot{\phi}_2 \\
& + (k_{M1} \cdot s_1 \cdot l_1 + k_{M2} \cdot s_2 \cdot l_2 - k_{M3} \cdot s_3 \cdot l_3) \cdot \dot{X}_2 \\
& - k_{me1} \cdot l_4 \cdot \dot{z}_{e1} + k_{me1} \cdot l_{4e1} \cdot l_4 \cdot \dot{\phi}_{e1} + k_{me1} \cdot s_{4e1} \cdot l_4 \cdot \dot{X}_{e1} \\
& + (c_{M1} \cdot l_1^2 + c_{M2} \cdot l_2^2 + c_{M3} \cdot l_3^2 + c_{me1} \cdot l_4^2) \cdot \phi_M \\
& + (c_{M2} \cdot s_{M2} \cdot l_2 + c_{M3} \cdot s_{M3} \cdot l_3 + c_{me1} \cdot s_{M4} \cdot l_4 - c_{M1} \cdot s_{M1} \cdot l_1) \cdot X_M \\
& + (c_{M2} \cdot l_2 - c_{M1} \cdot l_1 - c_{M3} \cdot l_3) \cdot z_2 \\
& + (c_{M1} \cdot (b_x \cdot l_1 - l_1^2) - c_{M2} \cdot (b_x \cdot l_2 + l_2^2) + c_{M3} \cdot (b_x \cdot l_3 - l_3^2)) \cdot \phi_2 \\
& + (c_{M1} \cdot s_1 \cdot l_1 + c_{M2} \cdot s_2 \cdot l_2 - c_{M3} \cdot s_3 \cdot l_3) \cdot X_2 - c_{me1} \cdot l_4 \cdot z_{e1} + c_{me1} \cdot l_{4e1} \cdot l_4 \cdot \phi_{e1} \\
& + c_{me1} \cdot s_{4e1} \cdot l_4 \cdot X_{e1} = 0
\end{aligned} \tag{5.124}$$

5.3.3 Motorun Yalpa Moment Denklemi

Motora birinci egzoz parçasından etki eden toplam kuvvetinin motorun X_M eksenindeki moment denklemi;

$$k_{me1} \cdot (\dot{Z}_{M4} - \dot{Z}_{4e1}) \cdot s_{M4} + c_{me1} \cdot (Z_{M4} - Z_{4e1}) \cdot s_{M4} \quad (5.125)$$

(5.94) ve (5.95) denklemleri (5.125) denklemine konursa,

$$k_{me1} \cdot (\dot{Z}_M + l_4 \cdot \dot{\varphi}_M + s_{M4} \cdot \dot{X}_M - \dot{Z}_{e1} + l_{4e1} \cdot \dot{\varphi}_{e1} + s_{4e1} \cdot \dot{X}_{e1}) \cdot s_{M4} + c_{me1} \cdot (Z_M + l_4 \cdot \varphi_M + s_{M4} \cdot X_M - Z_{e1} + l_{4e1} \cdot \varphi_{e1} + s_{4e1} \cdot X_{e1}) \cdot s_{M4} \quad (5.126)$$

Motorun Y_M eksenine göre moment denklemi,

Motorun J_{MX} atalet momenti üç parçaya ayrılırsa,

$$J_{MX} = J_{1MX} + J_{2MX} + J_{3MX}$$

J_{1MX} : Motorun birinci noktasının bulunduğu kısmın Y_M eksenine göre atalet momenti

J_{2MX} : Motorun ikinci noktasının bulunduğu kısmın Y_M eksenine göre atalet momenti

J_{3MX} : Motorun üçüncü noktasının bulunduğu kısmın Y_M eksenine göre atalet momenti

Motorun birinci noktasının bulunduğu kısmın Y_M eksenine göre moment denklemi,

$$J_{1MX} \cdot \ddot{X}_M - k_{M1} \cdot (\dot{Z}_{M1} - \dot{Z}_{1SM}) \cdot s_{M1} - c_{M1} \cdot (Z_{M1} - Z_{1SM}) \cdot s_{M1} = 0 \quad (5.127)$$

(5.91) ve (5.98) denklemleri (5.127) denklemine konursa,

$$J_{1MX} \cdot \ddot{X}_M - k_{M1} \cdot (\dot{Z}_M + l_1 \cdot \dot{\varphi}_M - s_{M1} \cdot \dot{X}_M - \dot{Z}_2 + (b_x - l_1) \cdot \dot{\varphi}_2 + s_1 \cdot \dot{X}_2) \cdot s_{M1} - c_{M1} \cdot (Z_M + l_1 \cdot \varphi_M - s_{M1} \cdot X_M - Z_2 + (b_x - l_1) \cdot \varphi_2 + s_1 \cdot X_2) \cdot s_{M1} = 0 \quad (5.128)$$

Motorun ikinci noktasının bulunduğu kısmın Y_M eksenine göre moment denklemi,

$$J_{2MX} \cdot \ddot{X}_M - k_{M2} \cdot (\dot{Z}_{M2} - \dot{Z}_{2SM}) \cdot s_{M2} - c_{M2} \cdot (Z_{M2} - Z_{2SM}) \cdot s_{M2} = 0 \quad (5.129)$$

(5.92) ve (5.99) denklemleri (5.129) denklemine konursa,

$$J_{2M} \ddot{X}_M - k_{M2} \cdot (\dot{Z}_M - l_2 \cdot \dot{\varphi}_M - s_{M2} \cdot \dot{X}_M - \dot{Z}_2 + (b_x + l_2) \cdot \dot{\varphi}_2 - s_2 \cdot \dot{X}_2) \cdot s_{M2} - c_{M2} \cdot (Z_M - l_2 \cdot \varphi_M - s_{M2} \cdot X_M - Z_2 + (b_x + l_2) \cdot \varphi_2 - s_2 \cdot X_2) \cdot s_{M2} = 0 \quad (5.130)$$

Motorun üçüncü noktasının bulunduğu kısmın Y_M eksenine göre moment denklemi,

$$J_{3MX} \ddot{X}_M + k_{M3} \cdot (\dot{Z}_{M3} - \dot{Z}_{3SM}) \cdot s_{M3} + c_{M3} \cdot (Z_{M3} - Z_{3SM}) \cdot s_{M3} = 0 \quad (5.131)$$

(5.93) ve (5.100) denklemleri (5.131) denklemine konursa,

$$J_{3M} \ddot{X}_M + k_{M3} \cdot (\dot{Z}_M + l_3 \cdot \dot{\varphi}_M + s_{M3} \cdot \dot{X}_M - \dot{Z}_2 + (b_x - l_3) \cdot \dot{\varphi}_2 - s_3 \cdot \dot{X}_2) \cdot s_{M3} + c_{M3} \cdot (Z_M + l_3 \cdot \varphi_M + s_{M3} \cdot X_M - Z_2 + (b_x - l_3) \cdot \varphi_2 - s_3 \cdot X_2) \cdot s_{M3} = 0 \quad (5.132)$$

(5.128), (5.130) ve (5.132) denklemleri taraf tarafa toplanırsa motorun Y_M eksenine göre moment denklemi elde edilir.

$$\begin{aligned} & J_{MX} \ddot{X}_M + (k_{M3} \cdot s_{M3} - k_{M2} \cdot s_{M2} - k_{M1} \cdot s_{M1}) \cdot \dot{Z}_M \\ & + (k_{M3} \cdot l_3 \cdot s_{M3} + k_{M2} \cdot l_2 \cdot s_{M2} - k_{M1} \cdot l_1 \cdot s_{M1}) \cdot \dot{\varphi}_M \\ & + (k_{M1} \cdot s_{M1}^2 + k_{M2} \cdot s_{M2}^2 + k_{M3} \cdot s_{M3}^2) \cdot \dot{X}_M + (k_{M1} \cdot s_{M1} + k_{M2} \cdot s_{M2} - k_{M3} \cdot s_{M3}) \cdot \dot{Z}_2 + \\ & + (k_{M3} \cdot (b_x - l_3) \cdot s_{M3} - k_{M2} \cdot (b_x + l_2) \cdot s_{M2} - k_{M1} \cdot (b_x - l_1) \cdot s_{M1}) \cdot \dot{\varphi}_2 \\ & + (k_{M2} \cdot s_2 \cdot s_{M2} - k_{M1} \cdot s_1 \cdot s_{M1} - k_{M3} \cdot s_3 \cdot s_{M3}) \cdot \dot{X}_2 + (c_{M3} \cdot s_{M3} - c_{M2} \cdot s_{M2} - c_{M1} \cdot s_{M1}) \cdot Z_M \\ & + (c_{M3} \cdot l_3 \cdot s_{M3} + c_{M2} \cdot l_2 \cdot s_{M2} - c_{M1} \cdot l_1 \cdot s_{M1}) \cdot \varphi_M \\ & + (c_{M1} \cdot s_{M1}^2 + c_{M2} \cdot s_{M2}^2 + c_{M3} \cdot s_{M3}^2) \cdot X_M + (c_{M1} \cdot s_{M1} + c_{M2} \cdot s_{M2} - c_{M3} \cdot s_{M3}) \cdot Z_2 + \\ & + (c_{M3} \cdot (b_x - l_3) \cdot s_{M3} - c_{M2} \cdot (b_x + l_2) \cdot s_{M2} - c_{M1} \cdot (b_x - l_1) \cdot s_{M1}) \cdot \varphi_2 \\ & + (c_{M2} \cdot s_2 \cdot s_{M2} - c_{M1} \cdot s_1 \cdot s_{M1} - c_{M3} \cdot s_3 \cdot s_{M3}) \cdot X_2 = 0 \end{aligned} \quad (5.133)$$

(5.133) denklemi motorun birinci egzoz parçası ile bağlı olmadığı durumdaki Y_M eksenine göre moment denklemdir.

(5.133) denklemine (5.126) denklemi eklenirse motorun birinci egzoz parçası ile bağlı olduğu durumdaki Y_M eksenine göre moment denklemi elde edilir.

$$\begin{aligned}
& J_{MX} \cdot \ddot{X}_M + (k_{M3} \cdot s_{M3} - k_{M2} \cdot s_{M2} - k_{M1} \cdot s_{M1}) \cdot \dot{Z}_M \\
& + (k_{M3} \cdot l_3 \cdot s_{M3} + k_{M2} \cdot l_2 \cdot s_{M2} - k_{M1} \cdot l_1 \cdot s_{M1}) \cdot \dot{\phi}_M \\
& + (k_{M1} \cdot s_{M1}^2 + k_{M2} \cdot s_{M2}^2 + k_{M3} \cdot s_{M3}^2) \cdot \dot{X}_M + (k_{M1} \cdot s_{M1} + k_{M2} \cdot s_{M2} - k_{M3} \cdot s_{M3}) \cdot \dot{Z}_2 \\
& + (k_{M3} \cdot (b_x - l_3) \cdot s_{M3} - k_{M2} \cdot (b_x + l_2) \cdot s_{M2} - k_{M1} \cdot (b_x - l_1) \cdot s_{M1}) \cdot \dot{\phi}_2 \\
& + (k_{M2} \cdot s_2 \cdot s_{M2} - k_{M1} \cdot s_1 \cdot s_{M1} - k_{M3} \cdot s_3 \cdot s_{M3}) \cdot \dot{X}_2 + (c_{M3} \cdot s_{M3} - c_{M2} \cdot s_{M2} - c_{M1} \cdot s_{M1}) \cdot Z_M \\
& + (c_{M3} \cdot l_3 \cdot s_{M3} + c_{M2} \cdot l_2 \cdot s_{M2} - c_{M1} \cdot l_1 \cdot s_{M1}) \cdot \phi_M \\
& + (c_{M1} \cdot s_{M1}^2 + c_{M2} \cdot s_{M2}^2 + c_{M3} \cdot s_{M3}^2) \cdot X_M + (c_{M1} \cdot s_{M1} + c_{M2} \cdot s_{M2} - c_{M3} \cdot s_{M3}) \cdot Z_2 \\
& + (c_{M3} \cdot (b_x - l_3) \cdot s_{M3} - c_{M2} \cdot (b_x + l_2) \cdot s_{M2} - c_{M1} \cdot (b_x - l_1) \cdot s_{M1}) \cdot \phi_2 \\
& + (c_{M2} \cdot s_2 \cdot s_{M2} - c_{M1} \cdot s_1 \cdot s_{M1} - c_{M3} \cdot s_3 \cdot s_{M3}) \cdot X_2 \\
& + k_{me1} \cdot (\dot{Z}_M + l_4 \cdot \dot{\phi}_M + s_{M4} \cdot \dot{X}_M - \dot{Z}_{e1} + l_{4e1} \cdot \dot{\phi}_{e1} + s_{4e1} \cdot \dot{X}_{e1}) \cdot s_{M4} \\
& + c_{me1} \cdot (Z_M + l_4 \cdot \phi_M + s_{M4} \cdot X_M - Z_{e1} + l_{4e1} \cdot \phi_{e1} + s_{4e1} \cdot X_{e1}) \cdot s_{M4} = 0
\end{aligned} \tag{5.134}$$

(5.134) denklemi düzenlenirse motorun birinci egzoz parçasına bağlı olduğu durumdaki Y_M eksenine göre moment denklemi elde edilir.

$$\begin{aligned}
& J_{MX} \cdot \ddot{X}_M + (k_{M3} \cdot s_{M3} - k_{M2} \cdot s_{M2} - k_{M1} \cdot s_{M1} + k_{me1} \cdot s_{M4}) \cdot \dot{Z}_M \\
& + (k_{M3} \cdot l_3 \cdot s_{M3} + k_{M2} \cdot l_2 \cdot s_{M2} - k_{M1} \cdot l_1 \cdot s_{M1} + k_{me1} \cdot l_4 \cdot s_{M4}) \cdot \dot{\phi}_M \\
& + (k_{M1} \cdot s_{M1}^2 + k_{M2} \cdot s_{M2}^2 + k_{M3} \cdot s_{M3}^2 + k_{me1} \cdot s_{M4}^2) \cdot \dot{X}_M \\
& + (k_{M1} \cdot s_{M1} + k_{M2} \cdot s_{M2} - k_{M3} \cdot s_{M3}) \cdot \dot{Z}_2 \\
& + (k_{M3} \cdot (b_x - l_3) \cdot s_{M3} - k_{M2} \cdot (b_x + l_2) \cdot s_{M2} - k_{M1} \cdot (b_x - l_1) \cdot s_{M1}) \cdot \dot{\phi}_2 \\
& + (k_{M2} \cdot s_2 \cdot s_{M2} - k_{M1} \cdot s_1 \cdot s_{M1} - k_{M3} \cdot s_3 \cdot s_{M3}) \cdot \dot{X}_2 - k_{me1} \cdot s_{M4} \cdot \dot{Z}_{e1} + k_{me1} \cdot l_{4e1} \cdot s_{M4} \cdot \dot{\phi}_{e1} \\
& + k_{me1} \cdot s_{4e1} \cdot s_{M4} \cdot \dot{X}_{e1} + (c_{M3} \cdot s_{M3} - c_{M2} \cdot s_{M2} - c_{M1} \cdot s_{M1} + c_{me1} \cdot s_{M4}) \cdot Z_M \\
& + (c_{M3} \cdot l_3 \cdot s_{M3} + c_{M2} \cdot l_2 \cdot s_{M2} - c_{M1} \cdot l_1 \cdot s_{M1} + c_{me1} \cdot l_4 \cdot s_{M4}) \cdot \phi_M \\
& + (c_{M1} \cdot s_{M1}^2 + c_{M2} \cdot s_{M2}^2 + c_{M3} \cdot s_{M3}^2 + c_{me1} \cdot s_{M4}^2) \cdot X_M \\
& + (c_{M1} \cdot s_{M1} + c_{M2} \cdot s_{M2} - c_{M3} \cdot s_{M3}) \cdot Z_2 \\
& + (c_{M3} \cdot (b_x - l_3) \cdot s_{M3} - c_{M2} \cdot (b_x + l_2) \cdot s_{M2} - c_{M1} \cdot (b_x - l_1) \cdot s_{M1}) \cdot \phi_2 \\
& + (c_{M2} \cdot s_2 \cdot s_{M2} - c_{M1} \cdot s_1 \cdot s_{M1} - c_{M3} \cdot s_3 \cdot s_{M3}) \cdot X_2 - c_{me1} \cdot s_{M4} \cdot Z_{e1} + c_{me1} \cdot l_{4e1} \cdot s_{M4} \cdot \phi_{e1} + \\
& + c_{me1} \cdot s_{4e1} \cdot s_{M4} \cdot X_{e1} = 0
\end{aligned} \tag{5.135}$$

5.4 BİRİNCİ EGZoz PARÇASININ HAREKET VE MOMENT DENKLEMLERİ

5.4.1 Birinci Egzoz Parçasının Hareket Denklemi

Birinci egzoz parçası taşıt gövdesine birbirlerine göre çapraz konumda bulunan iki tane yay ve sönüm elemanlarıyla taşıt gövdesine, birer tane yay ve sönüm elemanı ile motora ve birinci egzoz parçasına bağlanmıştır.

Birinci egzoz parçasının hareket ve moment denklemlerindeki terimler,

z_{e1} : Birinci egzoz parçasının ağırlık merkezinin deplasmanı

z_{1e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın deplasmanı

z_{2e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki ikincinin noktanın deplasmanı

z_{3e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktanın deplasmanı

z_{4e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki dördüncü noktanın deplasmanı

z_{1se1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün deplasmanı

z_{2se1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün deplasmanı

l_{1e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın birinci egzoz parçasının ağırlık merkezine X_{e1} eksenini yönündeki uzaklığı

l_{2e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın birinci egzoz parçasının ağırlık merkezine X_{e1} eksenini yönündeki uzaklığı

l_{3e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktanın birinci egzoz parçasının ağırlık merkezine X_{e1} eksenini yönündeki uzaklığı

l_{4e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki dördüncü noktanın birinci egzoz parçasının ağırlık merkezine X_{e1} eksenini yönündeki uzaklığı

c_x : Birinci egzoz parçasının ağırlık merkezinin taşıt gövdesinin ağırlık merkezine X_2 eksenini yönündeki uzaklığı

s_{1e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın birinci egzoz parçasının ağırlık merkezine Y_{e1} eksen yönündeki uzaklığı

s_{2e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın birinci egzoz parçasının ağırlık merkezine Y_{e1} eksen yönündeki uzaklığı

s_{3e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktanın birinci egzoz parçasının ağırlık merkezine Y_{e1} eksen yönündeki uzaklığı

s_{4e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki ın ağırlık merkezine Y_{e1} eksen yönündeki uzaklığı

s_4 : Birinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün Y_2 eksen yönündeki uzaklığı

s_5 : Birinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün Y_2 eksen yönündeki uzaklığı

c_{1e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan yay elemanın yay katsayısı

c_{2e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan yay elemanın yay katsayısı

c_{me1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki dördüncü noktayı motora bağlayan yay elemanın yay katsayısı

c_{e1e2} : Birinci egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktayı ikinci egzoz parçasına bağlayan yay elemanın yay katsayısı

k_{1e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan sönüm elemanın sönüm katsayısı

k_{2e1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan sönüm elemanın sönüm katsayısı

k_{me1} : Birinci egzoz parçası üzerindeki dördüncü noktayı motora bağlayan sönüm elemanın sönüm katsayısı

k_{e1e2} : Birinci egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktayı ikinci egzoz parçasına bağlayan sönüm elemanın sönüm katsayısı

m_{e1} : Birinci egzoz parçasının kütlesi

J_{e1Y} : Birinci egzoz parçasının X_{e1} eksenine göre atalet momenti

J_{e1X} : Birinci egzoz parçasının Y_{e1} eksenine göre atalet momenti

X_{e1} : Birinci egzoz parçasının yalpa açısı (X_2 ile aynı yönde)

φ_{e1} : Birinci egzoz parçasının kafa vurma açısı (φ_2 ile aynı yönde)

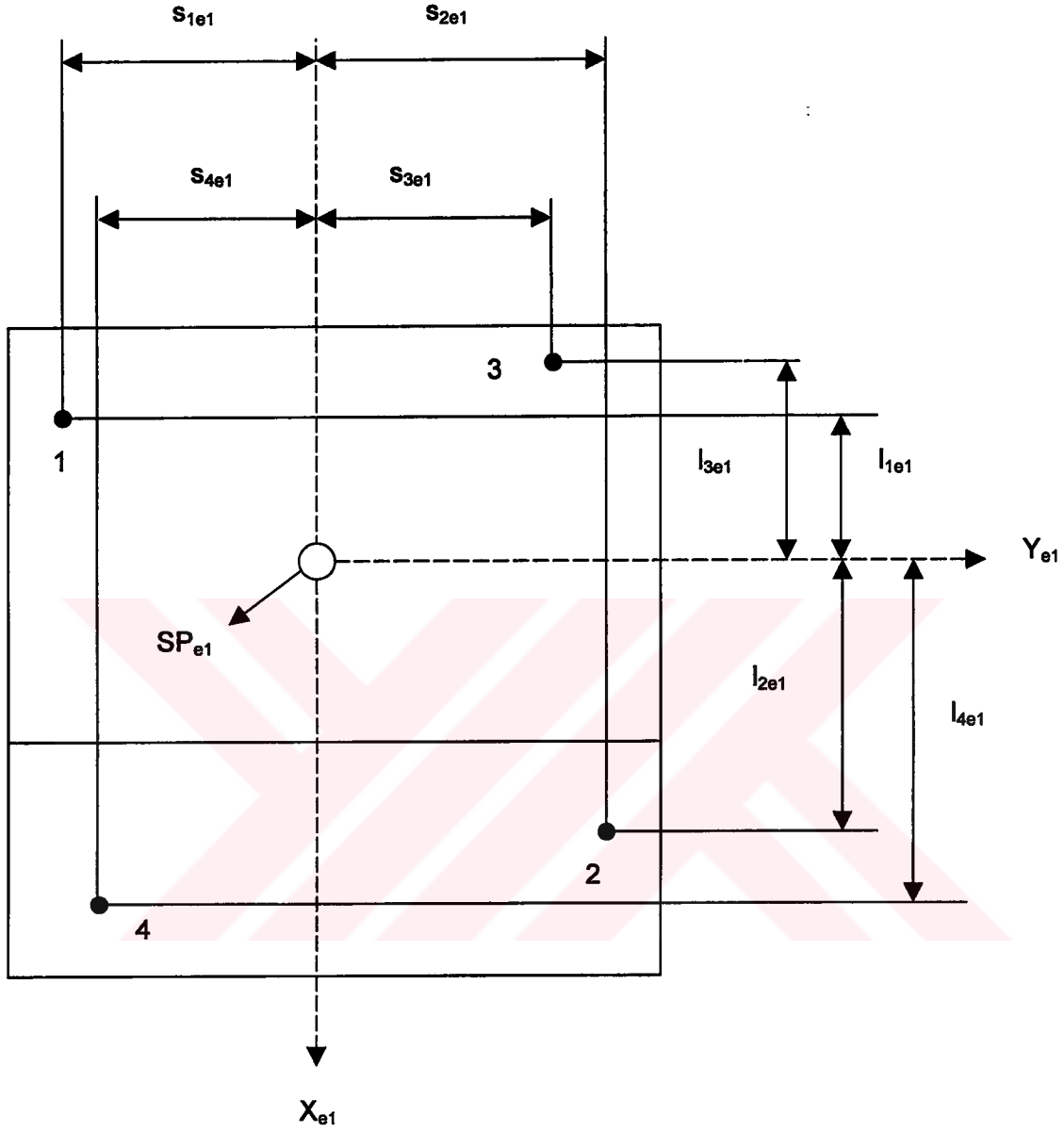
Birinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün

taşıt gövdesinin ağırlık merkezine X_2 eksen yönündeki mesafesi,

$$c_x - l_{1e1}$$

Birinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün taşıt gövdesinin ağırlık merkezine X_2 eksen yönündeki mesafesi,

$$c_x + l_{2e1}$$



Şekil 5.6 Birinci egzoz parçasının üstten görünüşü

Birinci egzoz parçası üzerindeki bulunan noktalarının deplasmanları taşıt gövdesinin akslar üzerinde bulunan kısımlarının deplasmanlarının hesaplandığı yöntemle hesaplanır. Şekil 5.6'da birinci egzoz parçasının üstten görünüşü görülmektedir. Şekil 5.5'te ise birinci egzoz parçası üç boyutlu titreşim modelinin üstten görünüşünde görülmektedir.

Birinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın deplasmanı,

$$Z_{1e1} = Z_{e1} + l_{1e1} \cdot \varphi_{e1} - s_{1e1} \cdot X_{e1} \quad (5.136)$$

Birinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın deplasmanı,

$$Z_{2e1} = Z_{e1} - l_{2e1} \cdot \varphi_{e1} + s_{2e1} \cdot X_{e1} \quad (5.137)$$

Birinci egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktanın deplasmanı,

$$Z_{3e1} = Z_{e1} + l_{3e1} \cdot \varphi_{e1} + s_{3e1} \cdot X_{e1} \quad (5.138)$$

Birinci egzoz parçası üzerindeki dördüncünün noktanın deplasmanı,

$$Z_{4e1} = Z_{e1} - l_{4e1} \cdot \varphi_{e1} + s_{4e1} \cdot X_{e1} \quad (5.139)$$

İkinci egzoz parçasının üzerindeki dördüncü noktanın deplasmanı

$$Z_{4e2} = Z_{e2} - l_{4e2} \cdot \varphi_{e2} - s_{4e2} \cdot X_{e2} \quad (5.140)$$

Birinci egzoz parçası ile ikinci egzoz parçası arasındaki yay ve sönüm elemanından kaynaklanan kuvvet,

$$k_{e1e2} \cdot (\dot{Z}_{3e1} - \dot{Z}_{4e2}) + c_{e1e2} \cdot (Z_{3e1} - Z_{4e2}) \quad (5.141)$$

(5.138) ve (5.140) denklemleri (5.141) denklemine konursa,

$$\begin{aligned} & +k_{e1e2} \cdot (\dot{Z}_{e1} + l_{3e1} \cdot \dot{\varphi}_{e1} + s_{3e1} \cdot \dot{X}_{e1} - \dot{Z}_{e2} + l_{4e2} \cdot \dot{\varphi}_{e2} - s_{4e2} \cdot \dot{X}_{e2}) \\ & + c_{e1e2} \cdot (Z_{e1} + l_{3e1} \cdot \varphi_{e1} + s_{3e1} \cdot X_{e1} - Z_{e2} + l_{4e2} \cdot \varphi_{e2} - s_{4e2} \cdot X_{e2}) \end{aligned} \quad (5.142)$$

Birinci egzoz parçası ile motor arasındaki yay ve sönüm elemanından kaynaklanan kuvvet

$$k_{me1} \cdot (\dot{Z}_{4e1} - \dot{Z}_{M4}) + c_{me1} \cdot (Z_{4e1} - Z_{M4}) \quad (5.143)$$

(5.94) ve (5.136) denklemleri (5.143) denklemine konursa,

$$\begin{aligned}
 &+k_{me1} \cdot (\dot{z}_{e1} - l_{4e1} \cdot \dot{\phi}_{e1} - s_{4e1} \cdot \dot{X}_{e1} - \dot{z}_M - l_4 \cdot \dot{\phi}_M - s_{M4} \cdot \dot{X}_M) \\
 &+c_{me1} \cdot (z_{e1} - l_{4e1} \cdot \phi_{e1} - s_{4e1} \cdot X_{e1} - z_M - l_4 \cdot \phi_M - s_{M4} \cdot X_M)
 \end{aligned} \quad (5.144)$$

Birinci egzoz parçasının hareket denklemini yazmak için ilk önce birinci egzoz parçasının motor ve ikinci egzoz parçası ile bağlantısının olmadığı kabul edilir.

Birinci egzoz parçası üzerindeki noktaların taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümlerinin deplasmanları,

Birinci egzoz parçası üzerindeki birinci nokta için,

$$z_{1se1} = z_2 - (c_x - l_{1e1}) \cdot \phi_2 + s_4 \cdot X_2 \quad (5.145)$$

Birinci egzoz parçası üzerindeki ikinci nokta için,

$$z_{2se1} = z_2 - (c_x + l_{2e1}) \cdot \phi_2 + s_5 \cdot X_2 \quad (5.146)$$

Birinci egzoz parçasının üzerindeki birinci noktanın olduğu kısmın kütlesi A ,ikinci noktanın olduğu kısmın kütlesini B olsun.

X_{e1} eksenine göre moment alınırsa,

$$A \cdot l_{1e1} = B \cdot l_{2e1} \quad (5.147)$$

Y_{e1} eksenine göre moment alınırsa,

$$A \cdot s_{1e1} = B \cdot s_{2e1} \quad (5.148)$$

ve

$$A + B = m_{e1} \quad (5.149)$$

Birinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın bulunduğu kısmın hareket denklemi;

$$A. \ddot{z}_{1e1} + k_{1e1} \cdot (\dot{z}_{1e1} - \dot{z}_{1se1}) + c_{1e1} \cdot (z_{1e1} - z_{1se1}) = 0 \quad (5.150)$$

(5.136) ve (5.145) denklemleri (5.150) denklemine konursa,

$$\begin{aligned} A. (\ddot{z}_{e1} + l_{1e1} \cdot \ddot{\varphi}_{e1} - s_{1e1} \cdot \ddot{X}_{e1}) + \\ k_{1e1} \cdot (\dot{z}_{e1} + l_{1e1} \cdot \dot{\varphi}_{e1} - s_{1e1} \cdot \dot{X}_{e1} - \dot{z}_2 + (c_x - l_{1e1}) \cdot \dot{\varphi}_2 - s_4 \cdot \dot{X}_2) + \\ c_{1e1} \cdot (z_{e1} - l_{1e1} \cdot \varphi_{e1} - s_{1e1} \cdot X_{e1} - z_2 + (c_x - l_{1e1}) \cdot \varphi_2 - s_4 \cdot X_2) = 0 \end{aligned} \quad (5.151)$$

Birinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın bulunduğu kısmın hareket denklemi;

$$B. \ddot{z}_{2e1} + k_{2e1} \cdot (\dot{z}_{2e1} - \dot{z}_{2se1}) + c_{2e1} \cdot (z_{2e1} - z_{2se1}) = 0 \quad (5.152)$$

(5.137) ve (5.146) denklemleri (5.152) denklemine konursa,

$$\begin{aligned} B. (\ddot{z}_{e1} - l_{2e1} \cdot \ddot{\varphi}_{e1} + s_{2e1} \cdot \ddot{X}_{e1}) + \\ k_{2e1} \cdot (\dot{z}_{e1} - l_{2e1} \cdot \dot{\varphi}_{e1} + s_{2e1} \cdot \dot{X}_{e1} - \dot{z}_2 + (c_x + l_{2e1}) \cdot \dot{\varphi}_2 - s_5 \cdot \dot{X}_2) + \\ c_{2e1} \cdot (z_{e1} - l_{2e1} \cdot \varphi_{e1} + s_{2e1} \cdot X_{e1} - z_2 + (c_x + l_{2e1}) \cdot \varphi_2 - s_5 \cdot X_2) = 0 \end{aligned} \quad (5.153)$$

(5.151) ve (5.153) denklemleri taraf tarafa toplanırsa birinci egzoz parçasının hareket denklemi elde edilir.

$$\begin{aligned}
& (A+B). \ddot{z}_{e1} + (A.l_{1e1} - B.l_{2e1}). \ddot{\phi}_{e1} + (-A.s_{1e1} + B.s_{2e1}). \ddot{X}_{e1} \\
& + (k_{1e1} + k_{2e1}). \dot{z}_{e1} + (k_{1e1}.l_{1e1} - k_{2e1}.l_{2e1}). \dot{\phi}_{e1} + (-k_{1e1}.s_{1e1} + k_{2e1}.s_{2e1}). \dot{X}_{e1} \\
& - (k_{1e1} + k_{2e1}). \dot{z}_2 + (k_{1e1}.(c_x - l_{1e1}) + k_{2e1}.(c_x + l_{2e1})). \dot{\phi}_2 - (k_{1e1}.s_4 + k_{2e1}.s_5). \dot{X}_2 \\
& + (c_{1e1} + c_{2e1}). z_{e1} + (c_{1e1}.l_{1e1} - c_{2e1}.l_{2e1}). \phi_{e1} + (-c_{1e1}.s_{1e1} + c_{2e1}.s_{2e1}). X_{e1} \\
& - (c_{1e1} + c_{2e1}). z_2 + (c_{1e1}.(c_x - l_{1e1}) + c_{2e1}.(c_x + l_{2e1})). \phi_2 - (c_{1e1}.s_4 + c_{2e1}.s_5). X_2 = 0 \quad (5.154)
\end{aligned}$$

(5.147) ,(5.148) ve (5.149) denklemleri (5.154) denklemin ilk satırındaki yerlerine konursa,

(5.154) denkleminin ilk satırındaki $\ddot{\phi}_{e1}$ ve $\ddot{X}_{e1}$ 'li terimler yok olurlar.

Yapılan düzenlemelerden sonra (5.154) denklemi aşağıdaki denkleme dönüşür.

$$\begin{aligned}
& m_{e1}. \ddot{z}_{e1} + (k_{1e1} + k_{2e1}). \dot{z}_{e1} + (k_{1e1}.l_{1e1} - k_{2e1}.l_{2e1}). \dot{\phi}_{e1} \\
& + (-k_{1e1}.s_{1e1} + k_{2e1}.s_{2e1}). \dot{X}_{e1} \\
& - (k_{1e1} + k_{2e1}). \dot{z}_2 + (k_{1e1}.(c_x - l_{1e1}) + k_{2e1}.(c_x + l_{2e1})). \dot{\phi}_2 - (k_{1e1}.s_4 + k_{2e1}.s_5). \dot{X}_2 \\
& + (c_{1e1} + c_{2e1}). z_{e1} + (c_{1e1}.l_{1e1} - c_{2e1}.l_{2e1}). \phi_{e1} + (-c_{1e1}.s_{1e1} + c_{2e1}.s_{2e1}). X_{e1} \\
& - (c_{1e1} + c_{2e1}). z_2 + (c_{1e1}.(c_x - l_{1e1}) \\
& + c_{2e1}.(c_x + l_{2e1})). \phi_2 - (c_{1e1}.s_4 + c_{2e1}.s_5). X_2 = 0 \quad (5.155)
\end{aligned}$$

(5.155) denklemi birinci egzoz parçasının motora ve ikinci egzoz parçasına bağlı olmadığı durumdaki hareket denklemidir. Fakat modelde, birinci egzoz parçası yay ve sönüm elemanları ile motora ve ikinci egzoz parçasına bağlıdır. Bu nedenle bu bağlantılardan gelen kuvvetler (5.155) denklemine eklenmelidir.

(5.142) ve (5.144) denklemleri (5.155) denklemine eklenirse birinci egzoz parçasının hareket denklemi elde edilir.

$$\begin{aligned}
& m_{e1} \cdot \ddot{z}_{e1} + (k_{1e1} + k_{2e1}) \cdot \dot{z}_{e1} + (k_{1e1} \cdot l_{1e1} - k_{2e1} \cdot l_{2e1}) \cdot \dot{\varphi}_{e1} \\
& + (-k_{1e1} \cdot s_{1e1} + k_{2e1} \cdot s_{2e1}) \cdot \dot{X}_{e1} \\
& - (k_{1e1} + k_{2e1}) \cdot \dot{z}_2 + (k_{1e1} \cdot (C_x - l_{1e1}) + k_{2e1} \cdot (C_x + l_{2e1})) \cdot \dot{\varphi}_2 - (k_{1e1} \cdot s_4 + k_{2e1} \cdot s_5) \cdot \dot{X}_2 \\
& + (C_{1e1} + C_{2e1}) \cdot z_{e1} + (C_{1e1} \cdot l_{1e1} - C_{2e1} \cdot l_{2e1}) \cdot \varphi_{e1} + (-C_{1e1} \cdot s_{1e1} + C_{2e1} \cdot s_{2e1}) \cdot X_{e1} \\
& - (C_{1e1} + C_{2e1}) \cdot z_2 + (C_{1e1} \cdot (C_x - l_{1e1}) + C_{2e1} \cdot (C_x + l_{2e1})) \cdot \varphi_2 - (C_{1e1} \cdot s_4 + C_{2e1} \cdot s_5) \cdot X_2 \\
& + k_{e1e2} \cdot (\dot{z}_{e1} + l_{3e1} \cdot \dot{\varphi}_{e1} + s_{3e1} \cdot \dot{X}_{e1} - \dot{z}_{e2} + l_{4e2} \cdot \dot{\varphi}_{e2} - s_{4e2} \cdot \dot{X}_{e2}) \\
& + c_{e1e2} \cdot (z_{e1} + l_{3e1} \cdot \varphi_{e1} + s_{3e1} \cdot X_{e1} - z_{e2} + l_{4e2} \cdot \varphi_{e2} - s_{4e2} \cdot X_{e2}) \\
& + k_{me1} \cdot (\dot{z}_{e1} - l_{4e1} \cdot \dot{\varphi}_{e1} - s_{4e1} \cdot \dot{X}_{e1} - \dot{z}_M - l_4 \cdot \dot{\varphi}_M - s_{M4} \cdot \dot{X}_M) \\
& + c_{me1} \cdot (z_{e1} - l_{4e1} \cdot \varphi_{e1} - s_{4e1} \cdot X_{e1} - z_M - l_4 \cdot \varphi_M - s_{M4} \cdot X_M) = 0
\end{aligned} \tag{5.156}$$

(5.156) denklemi düzenlenirse,

$$\begin{aligned}
& m_{e1} \cdot \ddot{z}_{e1} + (k_{1e1} + k_{2e1} + k_{e1e2} + k_{me1}) \cdot \dot{z}_{e1} \\
& + (k_{1e1} \cdot l_{1e1} - k_{2e1} \cdot l_{2e1} + k_{e1e2} \cdot l_{3e1} - k_{me1} \cdot l_{4e1}) \cdot \dot{\varphi}_{e1} \\
& + (k_{2e1} \cdot s_{2e1} - k_{1e1} \cdot s_{1e1} + k_{e1e2} \cdot s_{3e1} - k_{me1} \cdot s_{4e1}) \cdot \dot{X}_{e1} \\
& - (k_{1e1} + k_{2e1}) \cdot \dot{z}_2 + (k_{1e1} \cdot (C_x - l_{1e1}) + k_{2e1} \cdot (C_x + l_{2e1})) \cdot \dot{\varphi}_2 - (k_{1e1} \cdot s_4 + k_{2e1} \cdot s_5) \cdot \dot{X}_2 \\
& - k_{e1e2} \cdot \dot{z}_{e2} + k_{e1e2} \cdot l_{4e2} \cdot \dot{\varphi}_{e2} - k_{e1e2} \cdot s_{4e2} \cdot \dot{X}_{e2} - k_{me1} \cdot \dot{z}_M - k_{me1} \cdot l_4 \cdot \dot{\varphi}_M \\
& - k_{me1} \cdot s_{M4} \cdot \dot{X}_M + (c_{1e1} + c_{2e1} + c_{e1e2} + c_{me1}) \cdot z_{e1} \\
& + (c_{1e1} \cdot l_{1e1} - c_{2e1} \cdot l_{2e1} + c_{e1e2} \cdot l_{3e1} - c_{me1} \cdot l_{4e1}) \cdot \varphi_{e1} \\
& + (c_{2e1} \cdot s_{2e1} - c_{1e1} \cdot s_{1e1} + c_{e1e2} \cdot s_{3e1} - c_{me1} \cdot s_{4e1}) \cdot X_{e1} \\
& - (c_{1e1} + c_{2e1}) \cdot z_2 + (c_{1e1} \cdot (C_x - l_{1e1}) + c_{2e1} \cdot (C_x + l_{2e1})) \cdot \varphi_2 - (c_{1e1} \cdot s_4 + c_{2e1} \cdot s_5) \cdot X_2 \\
& - c_{e1e2} \cdot z_{e2} + c_{e1e2} \cdot l_{4e2} \cdot \varphi_{e2} - c_{e1e2} \cdot s_{4e2} \cdot X_{e2} - c_{me1} \cdot z_M - c_{me1} \cdot l_4 \cdot \varphi_M \\
& - c_{me1} \cdot s_{M4} \cdot X_M = 0
\end{aligned} \tag{5.157}$$

5.4.2 Birinci egzoz parçasının kafa vurma moment denklemi

Birinci egzoz parçasına ikinci egzoz parçasından etki eden toplam kuvvetinin birinci egzoz parçasının X_{e1} eksenine göre moment denklemi,

$$+k_{e1e2} \cdot (\dot{z}_{3e1} - \dot{z}_{4e2}) \cdot l_{3e1} + c_{e1e2} \cdot (z_{3e1} - z_{4e2}) \cdot l_{3e1} \tag{5.158}$$

(5.138) ve (5.140) denklemleri (5.158) denklemine konursa,

$$\begin{aligned}
& +k_{e1e2} \cdot (\dot{z}_{e1} + l_{3e1} \cdot \dot{\varphi}_{e1} + s_{3e1} \cdot \dot{X}_{e1} - \dot{z}_{e2} + l_{4e2} \cdot \dot{\varphi}_{e2} - s_{4e2} \cdot \dot{X}_{e2}) \cdot l_{3e1} \\
& + c_{e1e2} \cdot (z_{e1} + l_{3e1} \cdot \varphi_{e1} + s_{3e1} \cdot X_{e1} - z_{e2} + l_{4e2} \cdot \varphi_{e2} - s_{4e2} \cdot X_{e2}) \cdot l_{3e1}
\end{aligned} \tag{5.159}$$

Birinci egzoz parçasına motordan etki eden toplam kuvvetinin birinci egzoz parçasının X_{e1} eksenine göre moment denklemi,

$$-k_{me1} \cdot (\dot{z}_{4e1} - \dot{z}_{M4}) \cdot l_{4e1} - c_{me1} \cdot (z_{4e1} - z_{M4}) \cdot l_{4e1} \quad (5.160)$$

(5.139) ve (5.94) denklemleri (5.160) denklemine konursa,

$$\begin{aligned} & -k_{me1} \cdot (\dot{z}_{e1} - l_{4e1} \cdot \dot{\phi}_{e1} - s_{4e1} \cdot \dot{X}_{e1} - \dot{z}_M - l_4 \cdot \dot{\phi}_M - s_{M4} \cdot \dot{X}_M) \cdot l_{4e1} \\ & -c_{me1} \cdot (z_{e1} - l_{4e1} \cdot \phi_{e1} - s_{4e1} \cdot X_{e1} - z_M - l_4 \cdot \phi_M - s_{M4} \cdot X_M) \cdot l_{4e1} \end{aligned} \quad (5.161)$$

Birinci egzoz parçasının J_{e1Y} atalet momenti iki parçaya ayrılırsa,

$$J_{e1Y} = J_{1e1Y} + J_{2e1Y}$$

J_{1e1Y} : Birinci egzoz parçasının birinci noktasının bulunduğu kısmın X_{e1} eksenine göre atalet momenti

J_{2e1Y} : Birinci egzoz parçasının ikinci noktasının bulunduğu kısmın X_{e1} eksenine göre atalet momenti

Birinci egzoz parçasının birinci noktasının bulunduğu kısmının X_{e1} eksenine göre moment denklemi,

$$J_{1e1Y} \cdot \ddot{\phi}_{e1} + k_{1e1} \cdot (\dot{z}_{1e1} - \dot{z}_{1se1}) \cdot l_{1e1} + c_{1e1} \cdot (z_{1e1} - z_{1se1}) \cdot l_{1e1} = 0 \quad (5.162)$$

(5.136) ve (5.145) denklemleri (5.162) denklemine konursa,

$$\begin{aligned} & J_{1e1Y} \cdot \ddot{\phi}_{e1} + k_{1e1} \cdot (\dot{z}_{e1} + l_{1e1} \cdot \dot{\phi}_{e1} - s_{1e1} \cdot \dot{X}_{e1} - \dot{z}_2 + (c_x \cdot l_{1e1}) \cdot \dot{\phi}_2 - s_4 \cdot \dot{X}_2) \cdot l_{1e1} \\ & + c_{1e1} \cdot (z_{e1} - l_{1e1} \cdot \phi_{e1} - s_{1e1} \cdot X_{e1} - z_2 + (c_x \cdot l_{1e1}) \cdot \phi_2 - s_4 \cdot X_2) \cdot l_{1e1} = 0 \end{aligned} \quad (5.163)$$

Birinci egzoz parçasının ikinci noktasının bulunduğu kısmının X_{e1} eksenine göre moment denklemi,

$$J_{2e1Y} \cdot \ddot{\phi}_{e1} - k_{2e1} \cdot (\dot{Z}_{2e1} - \dot{Z}_{2se1}) \cdot l_{2e1} - c_{2e1} \cdot (Z_{2e1} - Z_{2se1}) \cdot l_{2e1} = 0 \quad (5.164)$$

(5.137) ve (5.146) denklemleri (5.164) denkleminde konursa,

$$\begin{aligned} J_{2e1Y} \cdot \ddot{\phi}_{e1} - k_{2e1} \cdot (\dot{Z}_{e1} - l_{2e1} \cdot \dot{\phi}_{e1} + s_{2e1} \cdot \dot{X}_{e1} - \dot{Z}_2 + (c_x + l_{2e1}) \cdot \dot{\phi}_2 - s_5 \cdot \dot{X}_2) \cdot l_{2e1} \\ - c_{2e1} \cdot (Z_{e1} - l_{2e1} \cdot \phi_{e1} + s_{2e1} \cdot X_{e1} - Z_2 + (c_x + l_{2e1}) \cdot \phi_2 - s_5 \cdot X_2) \cdot l_{2e1} = 0 \end{aligned} \quad (5.165)$$

(5.163) ve (5.165) denklemleri taraf tarafa toplanılırsa birinci egzoz parçasının X_{e1} eksenine göre moment denklemi elde edilir.

$$\begin{aligned} J_{e1Y} \cdot \ddot{\phi}_{e1} + (k_{1e1} \cdot l_{1e1} - k_{2e1} \cdot l_{2e1}) \cdot \dot{Z}_{e1} + (k_{1e1} \cdot l_{1e1}^2 + k_{2e1} \cdot l_{2e1}^2) \cdot \dot{\phi}_{e1} \\ - (k_{2e1} \cdot s_{2e1} \cdot l_{2e1} + k_{1e1} \cdot s_{1e1} \cdot l_{1e1}) \cdot \dot{X}_{e1} + (k_{2e1} \cdot l_{2e1} - k_{1e1} \cdot l_{1e1}) \cdot \dot{Z}_2 + \\ (k_{1e1} \cdot (c_x \cdot l_{1e1} - l_{1e1}^2) - k_{2e1} \cdot (c_x \cdot l_{2e1} + l_{2e1}^2)) \cdot \dot{\phi}_2 + (k_{2e1} \cdot s_5 \cdot l_{2e1} - k_{1e1} \cdot s_4 \cdot l_{1e1}) \cdot \dot{X}_2 \\ + (c_{1e1} \cdot l_{1e1} - c_{2e1} \cdot l_{2e1}) \cdot Z_{e1} + (c_{1e1} \cdot l_{1e1}^2 + c_{2e1} \cdot l_{2e1}^2) \cdot \phi_{e1} - \\ (c_{2e1} \cdot s_{2e1} \cdot l_{2e1} + c_{1e1} \cdot s_{1e1} \cdot l_{1e1}) \cdot X_{e1} + (c_{2e1} \cdot l_{2e1} - c_{1e1} \cdot l_{1e1}) \cdot Z_2 + \\ (c_{1e1} \cdot (c_x \cdot l_{1e1} - l_{1e1}^2) - c_{2e1} \cdot (c_x \cdot l_{2e1} + l_{2e1}^2)) \cdot \phi_2 \\ + (c_{2e1} \cdot s_5 \cdot l_{2e1} - c_{1e1} \cdot s_4 \cdot l_{1e1}) \cdot X_2 = 0 \end{aligned} \quad (5.166)$$

(5.166) denklemi birinci egzoz parçasının motora ve ikinci egzoz parçasına bağlı olmadığı durumdaki X_{e1} eksenine göre moment denklemdir. Fakat modelde birinci egzoz parçası motora ve ikinci egzoz parçasına yay ve sönüm elemanlarıyla bağlıdır. Bu elemanların yarattığı kuvvetlerin motorun X_{e1} eksenine göre momentleri (5.166) denkleminde eklenirse birinci egzoz parçasının motor ve ikinci egzoz parçası ile bağlı olduğu durumdaki X_{e1} eksenine göre moment denklemi elde edilir.

(5.159) ve (5.161) denklemleri (5.166) denklemine eklenirse,

$$\begin{aligned}
& J_{e1Y} \ddot{\varphi}_{e1} + (k_{1e1} \cdot l_{1e1} - k_{2e1} \cdot l_{2e1}) \cdot \dot{Z}_{e1} + (k_{1e1} \cdot l_{1e1}^2 + k_{2e1} \cdot l_{2e1}^2) \cdot \dot{\varphi}_{e1} \\
& - (k_{2e1} \cdot s_{2e1} \cdot l_{2e1} + k_{1e1} \cdot s_{1e1} \cdot l_{1e1}) \cdot \dot{X}_{e1} + (k_{2e1} \cdot l_{2e1} - k_{1e1} \cdot l_{1e1}) \cdot \dot{Z}_2 \\
& + (k_{1e1} \cdot (C_X \cdot l_{1e1} - l_{1e1}^2) - k_{2e1} \cdot (C_X \cdot l_{2e1} + l_{2e1}^2)) \cdot \dot{\varphi}_2 + (k_{2e1} \cdot s_5 \cdot l_{2e1} - k_{1e1} \cdot s_4 \cdot l_{1e1}) \cdot \dot{X}_2 \\
& + (C_{1e1} \cdot l_{1e1} - C_{2e1} \cdot l_{2e1}) \cdot Z_{e1} + (C_{1e1} \cdot l_{1e1}^2 + C_{2e1} \cdot l_{2e1}^2) \cdot \varphi_{e1} \\
& - (C_{2e1} \cdot s_{2e1} \cdot l_{2e1} + C_{1e1} \cdot s_{1e1} \cdot l_{1e1}) \cdot X_{e1} + (C_{2e1} \cdot l_{2e1} - C_{1e1} \cdot l_{1e1}) \cdot Z_2 \\
& + (C_{1e1} \cdot (C_X \cdot l_{1e1} - l_{1e1}^2) - C_{2e1} \cdot (C_X \cdot l_{2e1} + l_{2e1}^2)) \cdot \varphi_2 \\
& + (C_{2e1} \cdot s_5 \cdot l_{2e1} - C_{1e1} \cdot s_4 \cdot l_{1e1}) \cdot X_2 \\
& + k_{e1e2} \cdot (\dot{Z}_{e1} + l_{3e1} \cdot \dot{\varphi}_{e1} + s_{3e1} \cdot \dot{X}_{e1} - \dot{Z}_{e2} + l_{4e2} \cdot \dot{\varphi}_{e2} - s_{4e2} \cdot \dot{X}_{e2}) \cdot l_{3e1} \\
& + C_{e1e2} \cdot (Z_{e1} + l_{3e1} \cdot \varphi_{e1} + s_{3e1} \cdot X_{e1} - Z_{e2} + l_{4e2} \cdot \varphi_{e2} - s_{4e2} \cdot X_{e2}) \cdot l_{3e1} \\
& - k_{me1} \cdot (\dot{Z}_{e1} - l_{4e1} \cdot \dot{\varphi}_{e1} - s_{4e1} \cdot \dot{X}_{e1} - \dot{Z}_M - l_4 \cdot \dot{\varphi}_M - s_{M4} \cdot \dot{X}_M) \cdot l_{4e1} \\
& - C_{me1} \cdot (Z_{e1} - l_{4e1} \cdot \varphi_{e1} - s_{4e1} \cdot X_{e1} - Z_M - l_4 \cdot \varphi_M - s_{M4} \cdot X_M) \cdot l_{4e1} = 0
\end{aligned} \tag{5.167}$$

(5.167) denklemi düzenlenirse birinci egzoz parçasının motora ve ikinci egzoz parçasına bağlı olduğu durumdaki X_{e1} eksenine göre moment denklemi elde edilir.

$$\begin{aligned}
& J_{e1Y} \ddot{\phi}_{e1} + (k_{1e1} \cdot l_{1e1} - k_{2e1} \cdot l_{2e1} + k_{e1e2} \cdot l_{3e1} - k_{me1} \cdot l_{4e1}) \cdot \dot{Z}_{e1} \\
& + (k_{1e1} \cdot l_{1e1}^2 + k_{2e1} \cdot l_{2e1}^2 + k_{e1e2} \cdot l_{3e1}^2 + k_{me1} \cdot l_{4e1}^2) \cdot \dot{\phi}_{e1} \\
& - (k_{2e1} \cdot s_{2e1} \cdot l_{2e1} + k_{1e1} \cdot s_{1e1} \cdot l_{3e1} - k_{e1e2} \cdot s_{3e1} \cdot l_{3e1} - k_{me1} \cdot s_{4e1} \cdot l_{4e1}) \cdot \dot{X}_{e1} \\
& + (k_{2e1} \cdot l_{2e1} - k_{1e1} \cdot l_{1e1}) \cdot \dot{Z}_2 \\
& + (k_{1e1} \cdot (c_x \cdot l_{1e1} - l_{1e1}^2) - k_{2e1} \cdot (c_x \cdot l_{2e1} + l_{2e1}^2)) \cdot \dot{\phi}_2 + (k_{2e1} \cdot s_5 \cdot l_{2e1} - k_{1e1} \cdot s_4 \cdot l_{1e1}) \cdot \dot{X}_2 \\
& - k_{e1e2} \cdot l_{3e1} \cdot \dot{Z}_{e2} + k_{e1e2} \cdot l_{4e2} \cdot l_{3e1} \cdot \dot{\phi}_{e2} - k_{e1e2} \cdot s_{4e2} \cdot l_{3e1} \cdot \dot{X}_{e2} + k_{me1} \cdot l_{4e1} \cdot \dot{Z}_M \\
& + k_{me1} \cdot l_4 \cdot l_{4e1} \cdot \dot{\phi}_M + k_{me1} \cdot s_{M4} \cdot l_{4e1} \cdot \dot{X}_M \\
& + (c_{1e1} \cdot l_{1e1} - c_{2e1} \cdot l_{2e1} + c_{e1e2} \cdot l_{3e1} - c_{me1} \cdot l_{4e1}) \cdot Z_{e1} \\
& + (c_{1e1} \cdot l_{1e1}^2 + c_{2e1} \cdot l_{2e1}^2 + c_{e1e2} \cdot l_{3e1}^2 + c_{me1} \cdot l_{4e1}^2) \cdot \phi_{e1} \\
& - (c_{2e1} \cdot s_{2e1} \cdot l_{2e1} + c_{1e1} \cdot s_{1e1} \cdot l_{3e1} - c_{e1e2} \cdot s_{3e1} \cdot l_{3e1} - c_{me1} \cdot s_{4e1} \cdot l_{4e1}) \cdot X_{e1} \\
& + (c_{2e1} \cdot l_{2e1} - c_{1e1} \cdot l_{1e1}) \cdot Z_2 \\
& + (c_{1e1} \cdot (c_x \cdot l_{1e1} - l_{1e1}^2) - c_{2e1} \cdot (c_x \cdot l_{2e1} + l_{2e1}^2)) \cdot \phi_2 \\
& + (c_{2e1} \cdot s_5 \cdot l_{2e1} - c_{1e1} \cdot s_4 \cdot l_{1e1}) \cdot X_2 - c_{e1e2} \cdot l_{3e1} \cdot Z_{e2} + c_{e1e2} \cdot l_{4e2} \cdot l_{3e1} \cdot \phi_{e2} \\
& - c_{e1e2} \cdot s_{4e2} \cdot l_{3e1} \cdot X_{e2} + c_{me1} \cdot Z_M \cdot l_{4e1} + c_{me1} \cdot l_4 \cdot l_{4e1} \cdot \phi_M + c_{me1} \cdot s_{M4} \cdot l_{4e1} \cdot X_M = 0 \quad (5.168)
\end{aligned}$$

5.4.3 Birinci Egzoz Parçasının Yalpa Moment Denklemi

Birinci egzoz parçasına ikinci egzoz parçasından etki eden toplam kuvvetin birinci egzoz parçasının Y_{e1} eksenine göre moment denklemi;

$$k_{e1e2} \cdot (\dot{z}_{3e1} - \dot{z}_{4e2}) \cdot s_{3e1} + c_{e1e2} \cdot (z_{3e1} - z_{4e2}) \cdot s_{3e1} \quad (5.169)$$

(5.138) ve (5.140) denklemleri (5.169) denklemine konursa,

$$\begin{aligned} &+k_{e1e2} \cdot (\dot{z}_{e1} + l_{3e1} \cdot \dot{\varphi}_{e1} + s_{3e1} \cdot \dot{X}_{e1} - \dot{z}_{e2} + l_{4e2} \cdot \dot{\varphi}_{e2} - s_{4e2} \cdot \dot{X}_{e2}) \cdot s_{3e1} \\ &+ c_{e1e2} \cdot (z_{e1} + l_{3e1} \cdot \varphi_{e1} + s_{3e1} \cdot X_{e1} - z_{e2} + l_{4e2} \cdot \varphi_{e2} - s_{4e2} \cdot X_{e2}) \cdot s_{3e1} \end{aligned} \quad (5.170)$$

Birinci egzoz parçasına motordan etki eden toplam kuvvetin birinci egzoz parçasının Y_{e1} eksenine göre moment denklemi;

$$-k_{me1} \cdot (\dot{z}_{4e1} - \dot{z}_{M4}) \cdot s_{4e1} - c_{me1} \cdot (z_{4e1} - z_{M4}) \cdot s_{4e1} \quad (5.171)$$

(5.139) ve (5.94) denklemleri (5.171) denklemine konursa,

$$\begin{aligned} &-k_{me1} \cdot (\dot{z}_{e1} - l_{4e1} \cdot \dot{\varphi}_{e1} - s_{4e1} \cdot \dot{X}_{e1} - \dot{z}_M - l_4 \cdot \dot{\varphi}_M - s_{M4} \cdot \dot{X}_M) \cdot s_{4e1} \\ &-c_{me1} \cdot (z_{e1} - l_{4e1} \cdot \varphi_{e1} - s_{4e1} \cdot X_{e1} - z_M - l_4 \cdot \varphi_M - s_{M4} \cdot X_M) \cdot s_{4e1} \end{aligned} \quad (5.172)$$

Birinci egzoz parçasının J_{e1X} atalet momenti iki parçaya ayrılırsa,

$$J_{1e1X} + J_{2e1X} = J_{e1X}$$

J_{1e1X} : Birinci egzoz parçasının birinci noktasının bulunduğu kısmın Y_{e1} eksenine göre atalet momenti

J_{1e2X} : Birinci egzoz parçasının ikinci noktasının bulunduğu kısmın Y_{e1} eksenine göre atalet momenti

Birinci egzoz parçasının birinci noktasının bulunduğu kısmın Y_{e1} eksenine göre moment denklemi

$$J_{1e1X} \cdot \ddot{X}_{e1} - k_{1e1} \cdot (\dot{Z}_{1e1} - \dot{Z}_{1se1}) \cdot s_{1e1} - c_{1e1} \cdot (Z_{1e1} - Z_{1se1}) \cdot s_{1e1} = 0 \quad (5.173)$$

(5.138) ve (5.145) denklemleri (5.173) denklemine konursa,

$$\begin{aligned} J_{1e1X} \cdot \ddot{X}_{e1} - k_{1e1} \cdot (\dot{Z}_{e1} + l_{1e1} \cdot \dot{\varphi}_{e1} - s_{1e1} \cdot \dot{X}_{e1} - \dot{Z}_2 + (c_x - l_{1e1}) \cdot \dot{\varphi}_2 - s_4 \cdot \dot{X}_2) \cdot s_{1e1} \\ - c_{1e1} \cdot (Z_{e1} + l_{1e1} \cdot \varphi_{e1} - s_{1e1} \cdot X_{e1} - Z_2 + (c_x - l_{1e1}) \cdot \varphi_2 - s_4 \cdot X_2) \cdot s_{1e1} = 0 \end{aligned} \quad (5.174)$$

Birinci egzoz parçasının ikinci noktasının bulunduğu kısmın Y_{e1} eksenine göre moment denklemi

$$J_{2e1X} \cdot \ddot{X}_{e1} + k_{2e1} \cdot (\dot{Z}_{1e1} - \dot{Z}_{1se1}) \cdot s_{1e1} + c_{1e1} \cdot (Z_{2e1} - Z_{2se1}) \cdot s_{1e1} = 0 \quad (5.175)$$

(5.139) ve (5.146) denklemleri (5.175) denklemine konursa,

$$\begin{aligned} J_{2e1X} \cdot \ddot{X}_{e1} + k_{2e1} \cdot (\dot{Z}_{e1} - l_{2e1} \cdot \dot{\varphi}_{e1} + s_{2e1} \cdot \dot{X}_{e1} - \dot{Z}_2 + (c_x + l_{2e1}) \cdot \dot{\varphi}_2 - s_5 \cdot \dot{X}_2) \cdot s_{2e1} \\ + c_{2e1} \cdot (Z_{e1} - l_{2e1} \cdot \varphi_{e1} + s_{2e1} \cdot X_{e1} - Z_2 + (c_x + l_{2e1}) \cdot \varphi_2 - s_5 \cdot X_2) \cdot s_{2e1} = 0 \end{aligned} \quad (5.176)$$

(5.174) ve (5.176) denklemleri taraf tarafa toplanırsa birinci egzoz parçasının Y_{e1} eksenine göre moment denklemi elde edilir.

$$\begin{aligned}
 & J_{e1X} \ddot{X}_{e1} + (k_{2e1} \cdot s_{2e1} - k_{1e1} \cdot s_{1e1}) \cdot \dot{Z}_{e1} - (k_{1e1} \cdot s_{1e1} \cdot l_{1e1} + k_{2e1} \cdot s_{2e1} \cdot l_{2e1}) \cdot \dot{\phi}_{e1} \\
 & + (k_{1e1} \cdot s_{1e1}^2 + k_{2e1} \cdot s_{2e1}^2) \cdot \dot{X}_{e1} + (k_{1e1} \cdot s_{1e1} - k_{2e1} \cdot s_{2e1}) \cdot \dot{Z}_2 \\
 & + (k_{2e1} \cdot (C_x \cdot s_{2e1} + l_{2e1} \cdot s_{2e1}) - k_{1e1} \cdot (C_x \cdot s_{1e1} - l_{1e1} \cdot s_{1e1})) \cdot \dot{\phi}_2 \\
 & + (k_{1e1} \cdot s_{4e1} \cdot s_{1e1} - k_{2e1} \cdot s_{5e1} \cdot s_{2e1}) \cdot \dot{X}_2 + (C_{2e1} \cdot s_{2e1} - C_{1e1} \cdot s_{1e1}) \cdot Z_{e1} \\
 & + (C_{1e1} \cdot s_{1e1} \cdot l_{1e1} + C_{2e1} \cdot s_{2e1} \cdot l_{2e1}) \cdot \phi_{e1} + (C_{1e1} \cdot s_{1e1}^2 + C_{2e1} \cdot s_{2e1}^2) \cdot X_{e1} \\
 & + (C_{1e1} \cdot s_{1e1} - C_{2e1} \cdot s_{2e1}) \cdot Z_2 \\
 & + (C_{2e1} \cdot (C_x \cdot s_{2e1} + l_{2e1} \cdot s_{2e1}) - C_{1e1} \cdot (C_x \cdot s_{1e1} - l_{1e1} \cdot s_{1e1})) \cdot \phi_2 \\
 & + (C_{1e1} \cdot s_{4e1} \cdot s_{1e1} - C_{2e1} \cdot s_{5e1} \cdot s_{2e1}) \cdot X_2 = 0 \tag{5.177}
 \end{aligned}$$

(5.177) denklemi birinci egzoz parçasının motor ve ikinci egzoz parçası ile bağlı olmadığı durumdaki Y_{e1} eksenine göre moment denklemdir.

(5.177) denklemine (5.170) ve (5.172) denklemleri eklenirse birinci egzoz parçasının motor ve ikinci egzoz parçası ile bağlı olduğu durumdaki Y_{e1} eksenine göre moment denklemi elde edilir.

$$\begin{aligned}
& J_{e1X} \ddot{X}_{e1} + (k_{2e1} \cdot s_{2e1} - k_{1e1} \cdot s_{1e1}) \cdot \dot{Z}_{e1} - (k_{1e1} \cdot s_{1e1} \cdot l_{1e1} + k_{2e1} \cdot s_{2e1} \cdot l_{2e1}) \cdot \dot{\varphi}_{e1} \\
& + (k_{1e1} \cdot s_{1e1}^2 + k_{2e1} \cdot s_{2e1}^2) \cdot \dot{X}_{e1} + (k_{1e1} \cdot s_{1e1} - k_{2e1} \cdot s_{2e1}) \cdot \dot{Z}_2 \\
& + (k_{2e1} \cdot (C_X \cdot s_{2e1} + l_{2e1} \cdot s_{2e1}) - k_{1e1} \cdot (C_X \cdot s_{1e1} - l_{1e1} \cdot s_{1e1})) \cdot \dot{\varphi}_2 \\
& + (k_{1e1} \cdot s_4 \cdot s_{1e1} - k_{2e1} \cdot s_5 \cdot s_{2e1}) \cdot \dot{X}_2 + (C_{2e1} \cdot s_{2e1} - C_{1e1} \cdot s_{1e1}) \cdot Z_{e1} \\
& (C_{1e1} \cdot s_{1e1} \cdot l_{1e1} + C_{2e1} \cdot s_{2e1} \cdot l_{2e1}) \cdot \varphi_{e1} + (C_{1e1} \cdot s_{1e1}^2 + C_{2e1} \cdot s_{2e1}^2) \cdot X_{e1} \\
& + (C_{1e1} \cdot s_{1e1} - C_{2e1} \cdot s_{2e1}) \cdot Z_2 \\
& + (C_{2e1} \cdot (C_X \cdot s_{2e1} + l_{2e1} \cdot s_{2e1}) - C_{1e1} \cdot (C_X \cdot s_{1e1} - l_{1e1} \cdot s_{1e1})) \cdot \varphi_2 \\
& + (C_{1e1} \cdot s_4 \cdot s_{1e1} - C_{2e1} \cdot s_5 \cdot s_{2e1}) \cdot X_2 \\
& + k_{e1e2} \cdot (\dot{Z}_{e1} + l_{3e1} \cdot \dot{\varphi}_{e1} + s_{3e1} \cdot \dot{X}_{e1} - \dot{Z}_{e2} + l_{4e2} \cdot \dot{\varphi}_{e2} - s_{4e2} \cdot \dot{X}_{e2}) \cdot s_{3e1} \\
& + C_{e1e2} \cdot (Z_{e1} + l_{3e1} \cdot \varphi_{e1} + s_{3e1} \cdot X_{e1} - Z_{e2} + l_{4e2} \cdot \varphi_{e2} - s_{4e2} \cdot X_{e2}) \cdot s_{3e1} \\
& - k_{me1} \cdot (\dot{Z}_{e1} - l_{4e1} \cdot \dot{\varphi}_{e1} - s_{4e1} \cdot \dot{X}_{e1} - \dot{Z}_M - l_4 \cdot \dot{\varphi}_M - s_{M4} \cdot \dot{X}_M) \cdot s_{4e1} \\
& - C_{me1} \cdot (Z_{e1} - l_{4e1} \cdot \varphi_{e1} - s_{4e1} \cdot X_{e1} - Z_M - l_4 \cdot \varphi_M - s_{M4} \cdot X_M) \cdot s_{4e1} = 0
\end{aligned} \tag{5.178}$$

(5.178) denklemi düzenlenirse birinci egzoz parçasının motora ve ikinci egzoz parçasına bağlı olduğu durumdaki Y_{e1} eksenine göre moment denklemi elde edilir.

$$\begin{aligned}
& J_{e1X} \ddot{X}_{e1} + (k_{2e1} \cdot s_{2e1} - k_{1e1} \cdot s_{1e1} + k_{e1e2} \cdot s_{3e1} - k_{me1} \cdot s_{4e1}) \cdot \dot{Z}_{e1} \\
& - (k_{1e1} \cdot s_{1e1} \cdot l_{1e1} + k_{2e1} \cdot s_{2e1} \cdot l_{2e1} - k_{e1e2} \cdot s_{3e1} \cdot l_{3e1} - k_{me1} \cdot s_{4e1} \cdot l_{4e1}) \cdot \dot{\phi}_{e1} \\
& + (k_{1e1} \cdot s_{1e1}^2 + k_{2e1} \cdot s_{2e1}^2 + k_{e1e2} \cdot s_{3e1}^2 + k_{me1} \cdot s_{4e1}^2) \cdot \dot{X}_{e1} \\
& + (k_{1e1} \cdot s_{1e1} - k_{2e1} \cdot s_{2e1}) \cdot \dot{Z}_2 \\
& + (k_{2e1} \cdot (C_x \cdot s_{2e1} + l_{2e1} \cdot s_{2e1}) - k_{1e1} \cdot (C_x \cdot s_{1e1} - l_{1e1} \cdot s_{1e1})) \cdot \dot{\phi}_2 \\
& + (k_{1e1} \cdot s_4 \cdot s_{1e1} - k_{2e1} \cdot s_5 \cdot s_{2e1}) \cdot \dot{X}_2 \\
& - k_{e1e2} \cdot s_{3e1} \cdot \dot{Z}_{e2} + k_{e1e2} \cdot l_{4e2} \cdot s_{3e1} \cdot \dot{\phi}_{e2} - k_{e1e2} \cdot s_{4e2} \cdot s_{3e1} \cdot \dot{X}_{e2} \\
& + k_{me1} \cdot s_{4e1} \cdot \dot{Z}_M + k_{me1} \cdot l_4 \cdot s_{4e1} \cdot \dot{\phi}_M + k_{me1} \cdot s_{M4} \cdot s_{4e1} \cdot \dot{X}_M \\
& + (C_{2e1} \cdot s_{2e1} - C_{1e1} \cdot s_{1e1} + C_{e1e2} \cdot s_{3e1} - C_{me1} \cdot s_{4e1}) \cdot Z_{e1} \\
& - (C_{1e1} \cdot s_{1e1} \cdot l_{1e1} + C_{2e1} \cdot s_{2e1} \cdot l_{2e1} - C_{e1e2} \cdot s_{3e1} \cdot l_{3e1} - C_{me1} \cdot s_{4e1} \cdot l_{4e1}) \cdot \phi_{e1} \\
& + (C_{1e1} \cdot s_{1e1}^2 + C_{2e1} \cdot s_{2e1}^2 + C_{e1e2} \cdot s_{3e1}^2 + C_{me1} \cdot s_{4e1}^2) \cdot X_{e1} \\
& + (C_{1e1} \cdot s_{1e1} - C_{2e1} \cdot s_{2e1}) \cdot Z_2 \\
& + (C_{2e1} \cdot (C_x \cdot s_{2e1} + l_{2e1} \cdot s_{2e1}) - C_{1e1} \cdot (C_x \cdot s_{1e1} - l_{1e1} \cdot s_{1e1})) \cdot \phi_2 \\
& + (C_{1e1} \cdot s_4 \cdot s_{1e1} - C_{2e1} \cdot s_5 \cdot s_{2e1}) \cdot X_2 \\
& + C_{e1e2} \cdot s_{3e1} \cdot Z_{e2} + C_{e1e2} \cdot l_{4e2} \cdot s_{3e1} \cdot \phi_{e2} - C_{e1e2} \cdot s_{4e2} \cdot s_{3e1} \cdot X_{e2} \\
& + C_{me1} \cdot s_{4e1} \cdot Z_M + C_{me1} \cdot l_4 \cdot s_{4e1} \cdot \phi_M + C_{me1} \cdot s_{M4} \cdot s_{4e1} \cdot X_M = 0 \quad (5.179)
\end{aligned}$$

5.5 İKİNCİ EGZOZ PARÇASININ HAREKET VE MOMENT DENKLEMLERİ

5.5.1 İkinci Egzoz Parçasının Hareket Denklemleri

İkinci egzoz parçası birbirlerine göre çapraz konumda bulunan iki tane yay ve sönüm elemanlarıyla taşıt gövdesine, birer tane yay ve sönüm elemanı ile birinci egzoz parçasına ve üçüncü egzoz parçasına bağlanmıştır.

İkinci egzoz parçasının hareket ve moment denklemlerinde bulunan terimler,

z_{e2} : İkinci egzoz parçasının ağırlık merkezinin deplasmanı

z_{1e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın deplasmanı

z_{2e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki ikincinin noktanın deplasmanı

z_{3e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktanın deplasmanı

z_{4e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki dördüncü noktanın deplasmanı

z_{1se2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün deplasmanı

z_{2se2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün deplasmanı

l_{1e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın ikinci egzoz parçasının ağırlık merkezine X_{e2} eksenini yönündeki uzaklığı

l_{2e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın ikinci egzoz parçasının ağırlık merkezine X_{e2} eksenini yönündeki uzaklığı

l_{3e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktanın ikinci egzoz parçasının ağırlık merkezine X_{e2} eksenini yönündeki uzaklığı

l_{4e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki dördüncü noktanın ikinci egzoz parçasının ağırlık merkezine X_{e2} eksenini yönündeki uzaklığı

d_x : İkinci egzoz parçasının ağırlık merkezinin taşıt gövdesinin ağırlık merkezine X_2 eksenini yönündeki uzaklığı

s_{1e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın ikinci egzoz parçasının ağırlık merkezine Y_{e2} eksenî yönündeki uzaklığı

s_{2e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın ikinci egzoz parçasının ağırlık merkezine Y_{e2} eksenî yönündeki uzaklığı

s_{3e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktanın ikinci egzoz parçasının ağırlık merkezine Y_{e2} eksenî yönündeki uzaklığı

s_{4e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki dördüncü noktanın ikinci egzoz parçasının ağırlık merkezine Y_{e2} eksenî yönündeki uzaklığı

s_6 : İkinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün Y_2 eksenî yönündeki uzaklığı

s_7 : İkinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün Y_2 eksenî yönündeki uzaklığı

c_{1e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan yay elemanın yay katsayısı

c_{2e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan yay elemanın yay katsayısı

c_{e1e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki dördüncü noktayı birinci egzoz parçasına bağlayan yay elemanın yay katsayısı

c_{e2e3} : İkinci egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktayı üçüncü egzoz parçasına bağlayan yay elemanın yay katsayısı

k_{1e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan sönüm elemanın sönüm katsayısı

k_{2e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan sönüm elemanın sönüm katsayısı

k_{e1e2} : İkinci egzoz parçası üzerindeki dördüncü noktayı birinci egzoz parçasına bağlayan sönüm elemanın sönüm katsayısı

k_{e2e3} : İkinci egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktayı üçüncü egzoz parçasına bağlayan sönüm elemanın sönüm katsayısı

m_{e2} : İkinci egzoz parçasının kütlesi

J_{e2Y} : İkinci egzoz parçasının X_{e2} eksenine göre atalet momenti

J_{e2X} : İkinci egzoz parçasının Y_{e2} eksenine göre atalet momenti

X_{e2} : İkinci egzoz parçasının yalpa açısı (X_2 ile aynı yönde)

φ_{e2} : İkinci egzoz parçasının kafa vurma açısı (φ_2 ile aynı yönde)

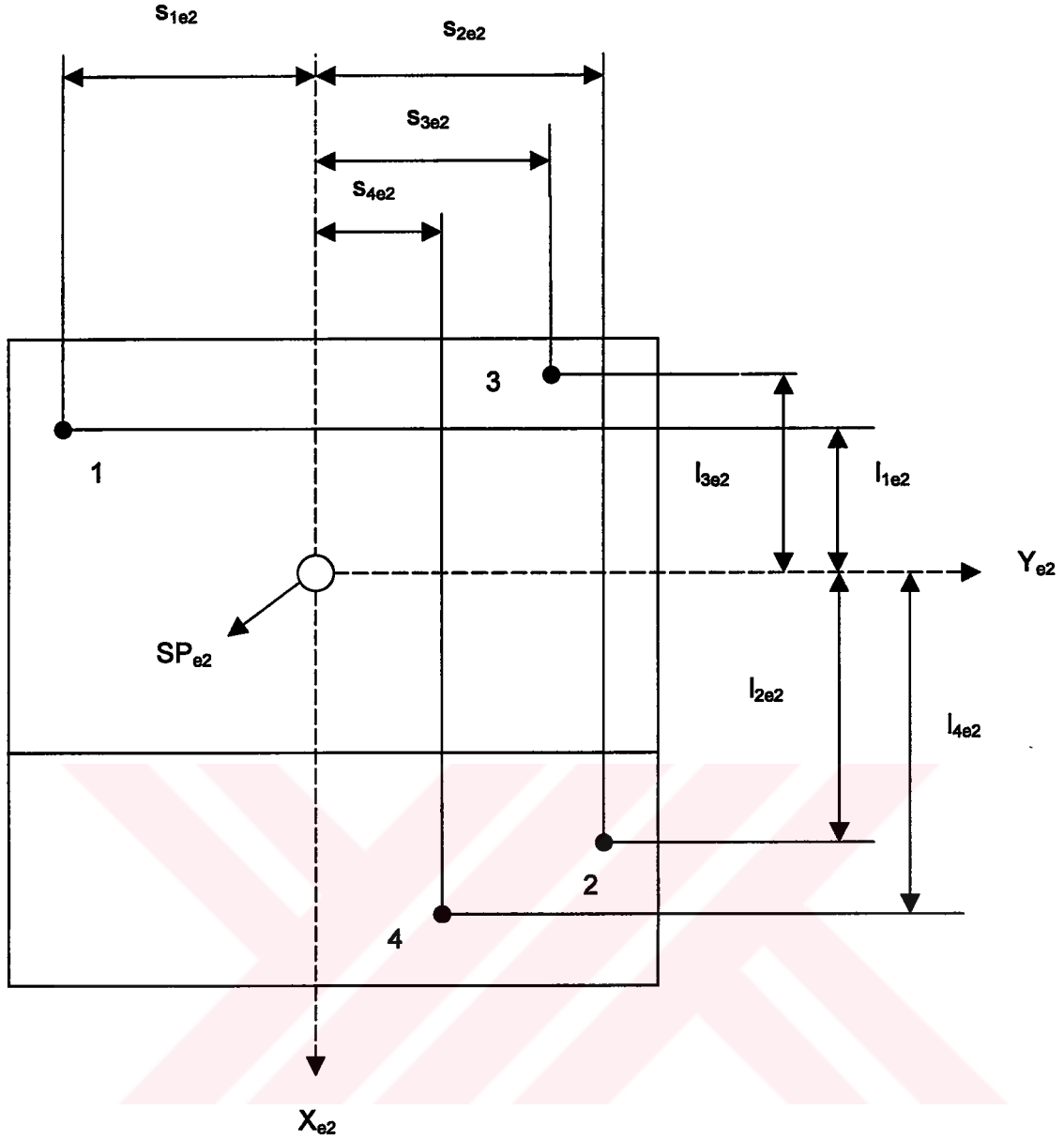
İkinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün

taşıt gövdesinin ağırlık merkezine X_2 eksen yönündeki mesafesi,

$$d_x + l_{1e2}$$

İkinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün taşıt gövdesinin ağırlık merkezine X_2 eksen yönündeki mesafesi,

$$d_x - l_{2e2}$$



Şekil 5.7 İkinci egzoz parçasının üstten görünüşü

İkinci egzoz parçası üzerindeki bulunan noktalarının deplasmanları taşıt gövdesinin akslar üzerinde bulunan kısımlarının deplasmanlarının hesaplandığı yöntemle hesaplanır. Şekil 5.7'da ikinci egzoz parçasının üstten görünüşü görülmektedir. Şekil 5.5'te ise ikinci egzoz parçası üç boyutlu titreşim modelinin üstten görünüşünde görülmektedir.

İkinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın deplasmanı,

$$Z_{1e2} = Z_{e2} + l_{1e2} \cdot \varphi_{e2} - s_{1e2} \cdot X_{e2} \quad (5.180)$$

İkinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın deplasmanı,

$$z_{2e2} = z_{e2} - l_{2e2} \cdot \varphi_{e2} + s_{2e2} \cdot X_{e2} \quad (5.181)$$

İkinci egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktanın deplasmanı,

$$z_{3e2} = z_{e2} + l_{3e2} \cdot \varphi_{e2} + s_{3e2} \cdot X_{e2} \quad (5.182)$$

İkinci egzoz parçası üzerindeki dördüncü noktanın deplasmanı,

$$z_{4e2} = z_{e2} - l_{4e2} \cdot \varphi_{e2} + s_{4e2} \cdot X_{e2} \quad (5.183)$$

Üçüncü egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktanın deplasmanı:

$$z_{3e3} = z_{e3} - l_{3e3} \cdot \varphi_{e3} + s_{3e3} \cdot X_{e3} \quad (5.184)$$

İkinci egzoz parçası ile birinci egzoz parçası arasındaki yay ve sönüm elemanından kaynaklanan kuvvet,

$$k_{e1e2} \cdot (z_{4e2} - z_{3e1}) + c_{e1e2} \cdot (\dot{z}_{4e2} - \dot{z}_{3e1}) \quad (5.185)$$

(5.138) ve (5.183) denklemleri (5.185) denklemine konursa,

$$\begin{aligned} & k_{e1e2} \cdot (z_{e2} - l_{4e2} \cdot \varphi_{e2} + s_{4e2} \cdot X_{e2} - z_{e1} - l_{3e1} \cdot \varphi_{e1} - s_{3e1} \cdot X_{e1}) \\ & + c_{e1e2} \cdot (z_{e2} - l_{4e2} \cdot \varphi_{e2} + s_{4e2} \cdot X_{e2} - z_{e1} - l_{3e1} \cdot \varphi_{e1} - s_{3e1} \cdot X_{e1}) \end{aligned} \quad (5.186)$$

İkinci egzoz parçası ile üçüncü egzoz parçası arasındaki yay ve sönüm elemanından kaynaklanan kuvvet,

$$k_{e2e3} \cdot (\dot{z}_{3e2} - \dot{z}_{3e3}) + c_{e2e3} \cdot (z_{3e2} - z_{3e3}) \quad (5.187)$$

(5.182) ve (5.184) denklemleri (5.187) denklemine konursa,

$$\begin{aligned} & k_{e2e3} \cdot (\dot{z}_{e2} + l_{3e2} \cdot \dot{\varphi}_{e2} + s_{3e2} \cdot \dot{X}_{e2} - \dot{z}_{e3} + l_{3e3} \cdot \dot{\varphi}_{e3} - s_{3e3} \cdot \dot{X}_{e3}) \\ & + c_{e2e3} \cdot (z_{e2} + l_{3e2} \cdot \varphi_{e2} + s_{3e2} \cdot X_{e2} - z_{e3} + l_{3e3} \cdot \varphi_{e3} - s_{3e3} \cdot X_{e3}) \end{aligned} \quad (5.188)$$

İkinci egzoz parçasının hareket denklemini yazmak için ilk önce ikinci egzoz parçasının birinci egzoz parçası ve üçüncü egzoz parçası ile bağlantısının olmadığı kabul edilir.

İkinci egzoz parçası üzerindeki noktaların taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümlerinin deplasmanları,

İkinci egzoz parçası üzerindeki birinci nokta için,

$$z_{1se2} = z_2 + (d_x + l_{1e2}) \cdot \varphi_2 + s_6 \cdot X_2 \quad (5.189)$$

İkinci egzoz parçası üzerindeki ikinci nokta için,

$$z_{2se2} = z_2 + (d_x - l_{2e2}) \cdot \varphi_2 + s_7 \cdot X_2 \quad (5.190)$$

İkinci egzoz parçasının üzerindeki birinci noktanın olduğu kısmın kütlesi A , ikinci noktanın olduğu kısmın kütlesini B olsun.

X_{e2} eksenine göre moment alınırsa,

$$A \cdot l_{1e2} = B \cdot l_{2e2} \quad (5.191)$$

Y_{e2} eksenine göre moment alınırsa,

$$A \cdot s_{1e2} = B \cdot s_{2e2} \quad (5.192)$$

ve

$$A + B = m_{e2} \quad (5.193)$$

İkinci egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın bulunduğu kısmın hareket denklemi

$$A \cdot \ddot{z}_{1e2} + k_{1e2} \cdot (\dot{z}_{1e2} - \dot{z}_{1se2}) + c_{1e2} \cdot (z_{1e2} - z_{1se2}) = 0 \quad (5.194)$$

(5.180) ve (5.189) denklemleri (5.194) denklemine konursa,

$$\begin{aligned} & A \cdot (\ddot{z}_{e2} + l_{1e2} \cdot \ddot{\phi}_{e2} - s_{1e2} \cdot \ddot{X}_{e2}) + \\ & k_{1e2} \cdot (\dot{z}_{e2} + l_{1e2} \cdot \dot{\phi}_{e2} - s_{1e2} \cdot \dot{X}_{e2} - \dot{z}_2 - (d_x + l_{1e2}) \cdot \dot{\phi}_2 - s_6 \cdot \dot{X}_2) \\ & + c_{1e2} \cdot (z_{e2} + l_{1e2} \cdot \phi_{e2} - s_{1e2} \cdot X_{e2} - z_2 - (d_x + l_{1e2}) \cdot \phi_2 - s_6 \cdot X_2) = 0 \end{aligned} \quad (5.195)$$

İkinci egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın bulunduğu kısmın hareket denklemi;

$$B \cdot \ddot{z}_{2e2} + k_{2e2} \cdot (\dot{z}_{2e2} - \dot{z}_{2se2}) + c_{2e2} \cdot (z_{2e2} - z_{2se2}) = 0 \quad (5.196)$$

(5.181) ve (5.190) denklemleri (5.196) denklemine konursa,

$$\begin{aligned} & B \cdot (\ddot{z}_{e2} - l_{2e2} \cdot \ddot{\phi}_{e2} + s_{2e2} \cdot \ddot{X}_{e2}) + \\ & k_{2e2} \cdot (\dot{z}_{e2} - l_{2e2} \cdot \dot{\phi}_{e2} + s_{2e2} \cdot \dot{X}_{e2} - \dot{z}_2 - (d_x - l_{2e2}) \cdot \dot{\phi}_2 - s_7 \cdot \dot{X}_2) \\ & + c_{2e2} \cdot (z_{e2} - l_{2e2} \cdot \phi_{e2} + s_{2e2} \cdot X_{e2} - z_2 - (d_x - l_{2e2}) \cdot \phi_2 - s_7 \cdot X_2) = 0 \end{aligned} \quad (5.197)$$

(5.195) ve (5.197) denklemleri taraf tarafa toplanırsa ikinci egzoz parçasının hareket denklemini elde edilir.

$$\begin{aligned}
& (A+B) \cdot \ddot{z}_{e2} + (A \cdot l_{1e2} - B \cdot l_{2e2}) \cdot \ddot{\phi}_{e2} + (-A \cdot s_{1e2} + B \cdot s_{2e2}) \cdot \ddot{X}_{e2} \\
& + (k_{1e2} + k_{2e2}) \cdot \dot{z}_{e2} + (k_{1e2} \cdot l_{1e2} - k_{2e2} \cdot l_{2e2}) \cdot \dot{\phi}_{e2} + (-k_{1e2} \cdot s_{1e2} + k_{2e2} \cdot s_{2e2}) \cdot \dot{X}_{e2} \\
& - (k_{1e2} + k_{2e2}) \cdot \dot{z}_2 - (k_{1e2} \cdot (d_x + l_{1e2}) + k_{2e2} \cdot (d_x - l_{2e2})) \cdot \dot{\phi}_2 - (k_{1e2} \cdot s_6 + k_{2e2} \cdot s_7) \cdot \dot{X}_2 \\
& + (c_{1e2} + c_{2e2}) \cdot z_{e2} + (c_{1e2} \cdot l_{1e2} - c_{2e2} \cdot l_{2e2}) \cdot \phi_{e2} + (-c_{1e2} \cdot s_{1e2} + c_{2e2} \cdot s_{2e2}) \cdot X_{e2} \\
& - (c_{1e2} + c_{2e2}) \cdot z_2 - (c_{1e2} \cdot (d_x + l_{1e2}) + c_{2e2} \cdot (d_x - l_{2e2})) \cdot \phi_2 \\
& - (c_{1e2} \cdot s_6 + c_{2e2} \cdot s_7) \cdot X_2 = 0
\end{aligned} \tag{5.198}$$

(5.192) ,(5.193) ve (5.194) denklemleri (5.198) denklemin ilk satırındaki yerlerine konursa,

(5.198) denkleminin ilk satırındaki $\ddot{\phi}_{e2}$ ve $\ddot{X}_{e2}$ 'li terimler yok olurlar.

Yapılan düzenlemelerden sonra (5.198) denklemi aşağıdaki denkleme dönüşür.

$$\begin{aligned}
& m_{e2} \cdot \ddot{z}_{e2} + (k_{1e2} + k_{2e2}) \cdot \dot{z}_{e2} + (k_{1e2} \cdot l_{1e2} - k_{2e2} \cdot l_{2e2}) \cdot \dot{\phi}_{e2} \\
& + (-k_{1e2} \cdot s_{1e2} + k_{2e2} \cdot s_{2e2}) \cdot \dot{X}_{e2} \\
& - (k_{1e2} + k_{2e2}) \cdot \dot{z}_2 - (k_{1e2} \cdot (d_x + l_{1e2}) + k_{2e2} \cdot (d_x - l_{2e2})) \cdot \dot{\phi}_2 - (k_{1e2} \cdot s_6 + k_{2e2} \cdot s_7) \cdot \dot{X}_2 \\
& + (c_{1e2} + c_{2e2}) \cdot z_{e2} + (c_{1e2} \cdot l_{1e2} - c_{2e2} \cdot l_{2e2}) \cdot \phi_{e2} + (-c_{1e2} \cdot s_{1e2} + c_{2e2} \cdot s_{2e2}) \cdot X_{e2} \\
& - (c_{1e2} + c_{2e2}) \cdot z_2 - (c_{1e2} \cdot (d_x + l_{1e2}) \\
& + c_{2e2} \cdot (d_x - l_{2e2})) \cdot \phi_2 - (c_{1e2} \cdot s_6 + c_{2e2} \cdot s_7) \cdot X_2 = 0
\end{aligned} \tag{5.199}$$

(5.199) denklemi ikinci egzoz parçasının , birinci ve üçüncü egzoz parçasına bağlı olmadığı durumdaki hareket denklemidir. Fakat modelde, ikinci egzoz parçası yay ve sönüm elemanları ile birinci ve üçüncü egzoz parçalarına bağlıdır. Bu nedenle bu bağlantılardan gelen kuvvetler (5.199) denklemine eklenmelidir.

(5.186) ve (5.188) denklemleri (5.199) denklemine eklenirse ikinci egzoz parçasının hareket denklemi elde edilir.

$$\begin{aligned}
& m_{e2} \ddot{z}_{e2} + (k_{1e2} + k_{2e2}) \dot{z}_{e2} + (k_{1e2} l_{1e2} - k_{2e2} l_{2e2}) \dot{\phi}_{e2} \\
& + (-k_{1e2} s_{1e2} + k_{2e2} s_{2e2}) \dot{X}_{e2} \\
& - (k_{1e2} + k_{2e2}) \dot{z}_2 - (k_{1e2} (d_x + l_{1e2}) + k_{2e2} (d_x - l_{2e2})) \dot{\phi}_2 - (k_{1e2} s_6 + k_{2e2} s_7) \dot{X}_2 \\
& + (c_{1e2} + c_{2e2}) z_{e2} + (c_{1e2} l_{1e2} - c_{2e2} l_{2e2}) \phi_{e2} + (-c_{1e2} s_{1e2} + c_{2e2} s_{2e2}) X_{e2} - \\
& - (c_{1e2} + c_{2e2}) z_2 - (c_{1e2} (d_x + l_{1e2}) + c_{2e2} (d_x - l_{2e2})) \phi_2 - (c_{1e2} s_6 + c_{2e2} s_7) X_2 \\
& + k_{e1e2} (\dot{z}_{e2} - l_{4e2} \dot{\phi}_{e2} + s_{4e2} \dot{X}_{e2} - \dot{z}_{e1} - l_{3e1} \dot{\phi}_{e1} - s_{3e1} \dot{X}_{e1}) \\
& + c_{e1e2} (z_{e2} - l_{4e2} \phi_{e2} + s_{4e2} X_{e2} - z_{e1} - l_{3e1} \phi_{e1} - s_{3e1} X_{e1}) + \\
& + k_{e2e3} (\dot{z}_{e2} + l_{3e2} \dot{\phi}_{e2} + s_{3e2} \dot{X}_{e2} - \dot{z}_{e3} + l_{3e3} \dot{\phi}_{e3} - s_{3e3} \dot{X}_{e3}) \\
& + c_{e2e3} (z_{e2} + l_{3e2} \phi_{e2} + s_{3e2} X_{e2} - z_{e3} + l_{3e3} \phi_{e3} - s_{3e3} X_{e3}) = 0 \quad (5.200)
\end{aligned}$$

(5.200) denklemi düzenlenirse,

$$\begin{aligned}
& m_{e2} \cdot \ddot{z}_{e2} + (k_{1e2} + k_{2e2} + k_{e1e2} + k_{e2e3}) \cdot \dot{z}_{e2} \\
& + (k_{1e2} \cdot l_{1e2} - k_{2e2} \cdot l_{2e2} - k_{e1e2} \cdot l_{4e2} - k_{e2e3} \cdot l_{3e2}) \cdot \dot{\phi}_{e2} \\
& + (-k_{1e2} \cdot s_{1e2} + k_{2e2} \cdot s_{2e2} + k_{e1e2} \cdot s_{4e2} + k_{e2e3} \cdot s_{3e2}) \cdot \dot{X}_{e2} \\
& - (k_{1e2} + k_{2e2}) \cdot \dot{z}_2 - (k_{1e2} \cdot (d_x + l_{1e2}) + k_{2e2} \cdot (d_x - l_{2e2})) \cdot \dot{\phi}_2 - (k_{1e2} \cdot s_6 + k_{2e2} \cdot s_7) \cdot \dot{X}_2 \\
& + k_{e1e2} \cdot \dot{z}_{e1} - k_{e1e2} \cdot l_{3e1} \cdot \dot{\phi}_{e1} - k_{e1e2} \cdot s_{3e1} \cdot \dot{X}_{e1} \\
& - k_{e2e3} \cdot \dot{z}_{e3} + k_{e2e3} \cdot l_{3e3} \cdot \dot{\phi}_{e3} - k_{e2e3} \cdot s_{3e3} \cdot \dot{X}_{e3} \\
& + (C_{1e2} + C_{2e2} + C_{e1e2} + C_{e2e3}) \cdot z_{e2} + (C_{1e2} \cdot l_{1e2} - C_{2e2} \cdot l_{2e2} - C_{e1e2} \cdot l_{4e2} + C_{e2e3} \cdot l_{3e2}) \cdot \phi_{e2} \\
& + (-C_{1e2} \cdot s_{1e2} + C_{2e2} \cdot s_{2e2} + C_{e1e2} \cdot s_{4e2} + C_{e2e3} \cdot s_{3e2}) \cdot X_{e2} \\
& - (C_{1e2} + C_{2e2}) \cdot z_2 - (C_{1e2} \cdot (d_x + l_{1e2}) + C_{2e2} \cdot (d_x - l_{2e2})) \cdot \phi_2 - (C_{1e2} \cdot s_6 + C_{2e2} \cdot s_7) \cdot X_2 \\
& + C_{e1e2} \cdot z_{e1} - C_{e1e2} \cdot l_{3e1} \cdot \phi_{e1} - C_{e1e2} \cdot s_{3e1} \cdot X_{e1} \\
& - C_{e2e3} \cdot z_{e3} + C_{e2e3} \cdot l_{3e3} \cdot \phi_{e3} - C_{e2e3} \cdot s_{3e3} \cdot X_{e3} = 0
\end{aligned} \tag{5.201}$$

İkinci egzoz parçasına birinci egzoz parçasından etki eden toplam kuvvetinin ikinci egzoz parçasının X_{e2} eksenine göre moment denklemi,

$$-k_{e1e2} \cdot (\dot{z}_{4e2} - \dot{z}_{3e1}) \cdot l_{4e2} - C_{e1e2} \cdot (z_{4e2} - z_{3e1}) \cdot l_{4e2} \tag{5.202}$$

(5.138) ve (5.183) denklemleri (5.202) denkleminde konursa,

$$\begin{aligned}
& -k_{e1e2} \cdot (\dot{z}_{e2} - l_{4e2} \cdot \dot{\phi}_{e2} + s_{4e2} \cdot \dot{X}_{e2} - \dot{z}_{e1} - l_{3e1} \cdot \dot{\phi}_{e1} - s_{3e1} \cdot \dot{X}_{e1}) \cdot l_{4e2} \\
& - C_{e1e2} \cdot (z_{e2} - l_{4e2} \cdot \phi_{e2} + s_{4e2} \cdot X_{e2} - z_{e1} - l_{3e1} \cdot \phi_{e1} - s_{3e1} \cdot X_{e1}) \cdot l_{4e2}
\end{aligned} \tag{5.203}$$

5.5.2 İkinci Egzoz Parçasının Kafa Vurma Moment Denklemi

İkinci egzoz parçasına üçüncü egzoz parçasından etki eden toplam kuvvetinin ikinci egzoz parçasının X_{e2} eksenine göre moment denklemi,

$$k_{e2e3} \cdot (\dot{z}_{3e2} - \dot{z}_{3e3}) \cdot l_{3e2} + c_{e2e3} \cdot (z_{3e2} - z_{3e3}) \cdot l_{3e2} \quad (5.204)$$

(5.182) ve (5.184) denklemleri (5.204) denklemine konursa,

$$k_{e2e3} \cdot (\dot{z}_{e2} + l_{3e2} \cdot \dot{\varphi}_{e2} + s_{3e2} \cdot \dot{X}_{e2} - \dot{z}_{e3} + l_{3e3} \cdot \dot{\varphi}_{e3} - s_{3e3} \cdot \dot{X}_{e3}) \cdot l_{3e2} + c_{e2e3} \cdot (z_{e2} + l_{3e2} \cdot \varphi_{e2} + s_{3e2} \cdot X_{e2} - z_{e3} + l_{3e3} \cdot \varphi_{e3} - s_{3e3} \cdot X_{e3}) \cdot l_{3e2} \quad (5.205)$$

İkinci egzoz parçasının J_{e2Y} atalet momenti iki parçaya ayrılırsa,

$$J_{e2Y} = J_{1e2Y} + J_{2e2Y}$$

J_{1e2Y} : İkinci egzoz parçasının birinci noktasının bulunduğu kısmın X_{e2} eksenine göre atalet momenti

J_{2e2Y} : İkinci egzoz parçasının ikinci noktasının bulunduğu kısmın X_{e2} eksenine göre atalet momenti

İkinci egzoz parçasının birinci noktasının bulunduğu kısmının X_{e2} eksenine göre moment denklemi,

$$J_{1e2Y} \cdot \ddot{\varphi}_{e2} + k_{1e2} \cdot (\dot{z}_{1e2} - \dot{z}_{1se2}) \cdot l_{1e2} + c_{1e2} \cdot (z_{1e2} - z_{1se2}) \cdot l_{1e2} = 0 \quad (5.206)$$

(5.180) ve (5.189) denklemleri (5.206) denklemine konursa,

$$J_{1e2Y} \cdot \ddot{\varphi}_{e2} + k_{1e2} \cdot (\dot{z}_{e2} + l_{1e2} \cdot \dot{\varphi}_{e2} - s_{1e2} \cdot \dot{X}_{e2} - \dot{z}_2 - (d_x + l_{1e2}) \cdot \dot{\varphi}_2 - s_6 \cdot \dot{X}_2) \cdot l_{1e2} + c_{1e2} \cdot (z_{e2} + l_{1e2} \cdot \varphi_{e2} + s_{1e2} \cdot X_{e2} - z_2 - (d_x + l_{1e2}) \cdot \varphi_2 - s_6 \cdot X_2) \cdot l_{1e2} = 0 \quad (5.207)$$

İkinci egzoz parçasının ikinci noktasının bulunduğu kısmının X_{e2} eksenine göre moment denklemi,

$$J_{2e2Y} \cdot \ddot{\varphi}_{e2} - k_{2e2} \cdot (\dot{Z}_{2e2} - \dot{Z}_{2se2}) \cdot l_{2e2} - c_{2e2} \cdot (Z_{2e2} - Z_{2se2}) \cdot l_{2e2} = 0 \quad (5.208)$$

(5.181) ve (5.190) denklemleri (5.208) denklemine konursa,

$$\begin{aligned} J_{2e2Y} \cdot \ddot{\varphi}_{e2} - k_{2e2} \cdot (\dot{Z}_{e2} - l_{2e2} \cdot \dot{\varphi}_{e2} + s_{2e2} \cdot \dot{X}_{e2} - \dot{Z}_2 - (d_x \cdot l_{2e2}) \cdot \dot{\varphi}_2 - s_7 \cdot \dot{X}_2) \cdot l_{2e2} \\ - c_{2e2} \cdot (Z_{e2} - l_{2e2} \cdot \varphi_{e2} + s_{2e2} \cdot X_{e2} - Z_2 - (d_x \cdot l_{2e2}) \cdot \varphi_2 - s_7 \cdot X_2) \cdot l_{2e2} = 0 \end{aligned} \quad (5.209)$$

(5.207) ve (5.209) denklemleri taraf tarafa toplanırlarsa ikinci egzoz parçasının X_{e2} eksenine göre moment denklemi elde edilir.

$$\begin{aligned} J_{e2Y} \cdot \ddot{\varphi}_{e2} + (k_{1e2} \cdot l_{1e2} - k_{2e2} \cdot l_{2e2}) \cdot \dot{Z}_{e2} + (k_{1e2} \cdot l_{1e2}^2 + k_{2e2} \cdot l_{2e2}^2) \cdot \dot{\varphi}_{e2} \\ - (k_{2e2} \cdot s_{2e2} \cdot l_{2e2} + k_{1e2} \cdot s_{1e2} \cdot l_{1e2}) \cdot \dot{X}_{e2} + (k_{2e2} \cdot l_{2e2} - k_{1e2} \cdot l_{1e2}) \cdot \dot{Z}_2 \\ + (k_{2e2} \cdot (d_x \cdot l_{2e2} - l_{2e2}^2) - k_{1e2} \cdot (d_x \cdot l_{1e2} + l_{1e2}^2)) \cdot \dot{\varphi}_2 + (k_{2e2} \cdot s_7 \cdot l_{2e2} - k_{1e2} \cdot s_6 \cdot l_{1e2}) \cdot \dot{X}_2 \\ + (c_{1e2} \cdot l_{1e2} - c_{2e2} \cdot l_{2e2}) \cdot Z_{e2} + (c_{1e2} \cdot l_{1e2}^2 + c_{2e2} \cdot l_{2e2}^2) \cdot \varphi_{e2} \\ + (c_{2e2} \cdot s_{2e2} \cdot l_{2e2} + c_{1e2} \cdot s_{1e2} \cdot l_{1e2}) \cdot X_{e2} + (c_{2e2} \cdot l_{2e2} - c_{1e2} \cdot l_{1e2}) \cdot Z_2 \\ + (c_{2e2} \cdot (d_x \cdot l_{2e2} - l_{2e2}^2) - c_{1e2} \cdot (d_x \cdot l_{1e2} + l_{1e2}^2)) \cdot \varphi_2 \\ + (c_{2e2} \cdot s_7 \cdot l_{2e2} + c_{1e2} \cdot s_6 \cdot l_{1e2}) \cdot X_2 = 0 \end{aligned} \quad (5.210)$$

(5.210) denklemi ikinci egzoz parçasının, birinci ve üçüncü egzoz parçasına bağlı olmadığı durumdaki X_{e2} eksenine göre moment denklemdir. Fakat , modelde ikinci egzoz parçası birinci ve üçüncü egzoz parçasına yay ve sönüm elemanlarıyla bağlıdır. Bu elemanların yarattığı kuvvetlerin ikinci egzoz parçasının X_{e2} eksenine göre momentleri (5.201) denklemine eklenirse ikinci egzoz parçasının, birinci ve üçüncü egzoz parçası ile bağlı olduğu durumdaki X_{e2} eksenine göre moment denklemi elde edilir.

(5.203) ve (5.205) denklemleri (5.210) denklemine eklenirse,

$$\begin{aligned}
& J_{e2Y} \cdot \ddot{\varphi}_{e2} + (k_{1e2} \cdot l_{1e2} - k_{2e2} \cdot l_{2e2}) \cdot \dot{z}_{e2} + (k_{1e2} \cdot l_{1e2}^2 + k_{2e2} \cdot l_{2e2}^2) \cdot \dot{\varphi}_{e2} \\
& - (k_{2e2} \cdot s_{2e2} \cdot l_{2e2} + k_{1e2} \cdot s_{1e2} \cdot l_{1e2}) \cdot \dot{X}_{e2} + (k_{2e2} \cdot l_{2e2} - k_{1e2} \cdot l_{1e2}) \cdot \dot{z}_2 \\
& + (k_{2e2} \cdot (d_x \cdot l_{2e2} - l_{2e2}^2) - k_{1e2} \cdot (d_x \cdot l_{1e2} + l_{1e2}^2)) \cdot \dot{\varphi}_2 + (k_{2e2} \cdot s_7 \cdot l_{2e2} - k_{1e2} \cdot s_6 \cdot l_{1e2}) \cdot \dot{X}_2 \\
& + (c_{1e2} \cdot l_{1e2} - c_{2e2} \cdot l_{2e2}) \cdot z_{e2} + (c_{1e2} \cdot l_{1e2}^2 + c_{2e2} \cdot l_{2e2}^2) \cdot \varphi_{e2} + \\
& + (c_{2e2} \cdot s_{2e2} \cdot l_{2e2} + c_{1e2} \cdot s_{1e2} \cdot l_{1e2}) \cdot X_{e2} + (c_{2e2} \cdot l_{2e2} - c_{1e2} \cdot l_{1e2}) \cdot z_2 \\
& + (c_{2e2} \cdot (d_x \cdot l_{2e2} - l_{2e2}^2) - c_{1e2} \cdot (d_x \cdot l_{1e2} + l_{1e2}^2)) \cdot \varphi_2 \\
& + (c_{2e2} \cdot s_7 \cdot l_{2e2} - c_{1e2} \cdot s_6 \cdot l_{1e2}) \cdot X_2 \\
& - k_{e1e2} \cdot (\dot{z}_{e2} - l_{4e2} \cdot \dot{\varphi}_{e2} + s_{4e2} \cdot \dot{X}_{e2} - \dot{z}_{e1} - l_{3e1} \cdot \dot{\varphi}_{e1} - s_{3e1} \cdot \dot{X}_{e1}) \cdot l_{4e2} \\
& - c_{e1e2} \cdot (z_{e2} - l_{4e2} \cdot \varphi_{e2} + s_{4e2} \cdot X_{e2} - z_{e1} - l_{3e1} \cdot \varphi_{e1} - s_{3e1} \cdot X_{e1}) \cdot l_{4e2} \\
& + k_{e2e3} \cdot (\dot{z}_{e2} + l_{3e2} \cdot \dot{\varphi}_{e2} + s_{3e2} \cdot \dot{X}_{e2} - \dot{z}_{e3} + l_{3e3} \cdot \dot{\varphi}_{e3} - s_{3e3} \cdot \dot{X}_{e3}) \cdot l_{3e2} \\
& + c_{e2e3} \cdot (z_{e2} + l_{3e2} \cdot \varphi_{e2} + s_{3e2} \cdot X_{e2} - z_{e3} + l_{3e3} \cdot \varphi_{e3} - s_{3e3} \cdot X_{e3}) \cdot l_{3e2} = 0
\end{aligned} \tag{5.211}$$

(5.211) denklemi düzenlenirse ikinci egzoz parçasının , birinci ve üçüncü egzoz parçasına bağlı olduğu durumdaki X_{e2} eksenine göre moment denklemi elde edilir.

$$\begin{aligned}
& J_{e2Y} \cdot \ddot{\phi}_{e2} + (k_{1e2} \cdot l_{1e2} - k_{2e2} \cdot l_{2e2} - k_{e1e2} \cdot l_{4e2} + k_{e2e3} \cdot l_{3e2}) \cdot \dot{Z}_{e2} \\
& + (k_{1e2} \cdot l_{1e2}^2 + k_{2e2} \cdot l_{2e2}^2 + k_{e1e2} \cdot l_{4e2}^2 + k_{e2e3} \cdot l_{3e2}^2) \cdot \dot{\phi}_{e2} \\
& - (k_{2e2} \cdot s_{2e2} \cdot l_{2e2} + k_{1e2} \cdot s_{1e2} \cdot l_{1e2} + k_{e1e2} \cdot s_{4e2} \cdot l_{4e2} - k_{e2e3} \cdot s_{3e2} \cdot l_{3e2}) \cdot \dot{X}_{e2} \\
& + (k_{2e2} \cdot l_{2e2} - k_{1e2} \cdot l_{1e2}) \cdot \dot{Z}_2 \\
& + (k_{2e2} \cdot (d_x \cdot l_{2e2} - l_{2e2}^2) - k_{1e2} \cdot (d_x \cdot l_{1e2} + l_{1e2}^2)) \cdot \dot{\phi}_2 + (k_{2e2} \cdot s_7 \cdot l_{2e2} - k_{1e2} \cdot s_6 \cdot l_{1e2}) \cdot \dot{X}_2 \\
& + k_{e1e2} \cdot l_{4e2} \cdot \dot{Z}_{e1} + k_{e1e2} \cdot l_{4e2} \cdot l_{3e1} \cdot \dot{\phi}_{e1} + k_{e1e2} \cdot l_{4e2} \cdot s_{3e1} \cdot \dot{X}_{e1} \\
& - k_{e2e3} \cdot l_{3e2} \cdot \dot{Z}_{e3} + k_{e2e3} \cdot l_{3e2} \cdot l_{4e3} \cdot \dot{\phi}_{e3} - k_{e2e3} \cdot l_{3e2} \cdot s_{3e3} \cdot \dot{X}_{e3} \\
& + (c_{1e2} \cdot l_{1e2} - c_{2e2} \cdot l_{2e2} - c_{1e2} \cdot l_{4e2} + c_{e2e3} \cdot l_{3e2}) \cdot Z_{e2} \\
& + (c_{1e2} \cdot l_{1e2}^2 + c_{2e1} \cdot l_{2e2}^2 + c_{e1e2} \cdot l_{4e2}^2 + c_{e2e3} \cdot l_{3e2}^2) \cdot \phi_{e2} \\
& - (c_{2e2} \cdot s_{2e2} \cdot l_{2e2} + c_{1e2} \cdot s_{1e2} \cdot l_{1e2} + c_{e1e2} \cdot s_{4e2} \cdot l_{4e2} - c_{e2e3} \cdot s_{3e2} \cdot l_{3e2}) \cdot X_{e2} \\
& + (c_{2e2} \cdot l_{2e2} - c_{1e2} \cdot l_{1e2}) \cdot Z_2 + (c_{2e2} \cdot (d_x \cdot l_{2e2} - l_{2e2}^2) - c_{1e2} \cdot (d_x \cdot l_{1e2} + l_{1e2}^2)) \cdot \phi_2 \\
& + (c_{2e2} \cdot s_7 \cdot l_{2e2} - c_{1e2} \cdot s_6 \cdot l_{1e2}) \cdot X_2 \\
& + c_{e1e2} \cdot l_{4e2} \cdot Z_{e1} + c_{e1e2} \cdot l_{4e2} \cdot l_{3e1} \cdot \phi_{e1} + c_{e1e2} \cdot l_{4e2} \cdot s_{3e1} \cdot X_{e1} \\
& - c_{e2e3} \cdot l_{3e2} \cdot Z_{e3} + c_{e2e3} \cdot l_{3e2} \cdot l_{4e3} \cdot \phi_{e3} - c_{e2e3} \cdot l_{3e2} \cdot s_{3e3} \cdot X_{e3} = 0
\end{aligned} \tag{5.212}$$

5.5.3 İkinci Egzoz Parçasının Yalpa Moment Denklemi

İkinci egzoz parçasına birinci egzoz parçasından etki eden toplam kuvvetin ikinci egzoz parçasının Y_{e2} eksenine göre moment denklemi;

$$k_{e1e2} \cdot (\dot{Z}_{4e2} - \dot{Z}_{3e1}) \cdot s_{4e2} + c_{e1e2} \cdot (Z_{4e2} - Z_{3e1}) \cdot s_{4e2} \quad (5.213)$$

(5.138) ve (5.183) denklemleri (5.213) denklemine konursa,

$$\begin{aligned} &+ k_{e1e2} \cdot (\dot{Z}_{e2} - l_{4e2} \cdot \dot{\varphi}_{e2} + s_{4e2} \cdot \dot{X}_{e2} - \dot{Z}_{e1} - l_{3e1} \cdot \dot{\varphi}_{e1} - s_{3e1} \cdot \dot{X}_{e1}) \cdot s_{4e2} \\ &+ c_{e1e2} \cdot (Z_{e2} - l_{4e2} \cdot \varphi_{e2} + s_{4e2} \cdot X_{e2} - Z_{e1} - l_{3e1} \cdot \varphi_{e1} - s_{3e1} \cdot X_{e1}) \cdot s_{4e2} \end{aligned} \quad (5.214)$$

İkinci egzoz parçasına üçüncü egzoz parçasından etki eden toplam kuvvetin ikinci egzoz parçasının Y_{e2} eksenine göre moment denklemi;

$$+k_{e2e3} \cdot (\dot{Z}_{3e2} - \dot{Z}_{3e3}) \cdot s_{3e2} + c_{e2e3} \cdot (Z_{3e2} - Z_{3e3}) \cdot s_{3e2} \quad (5.215)$$

(5.182) ve (5.184) denklemleri (5.215) denklemine konursa,

$$\begin{aligned} &+k_{e2e3} \cdot (\dot{Z}_{e2} + l_{3e2} \cdot \dot{\varphi}_{e2} + s_{3e2} \cdot \dot{X}_{e2} - \dot{Z}_{e3} + l_{3e3} \cdot \dot{\varphi}_{e3} - s_{3e3} \cdot \dot{X}_{e3}) \cdot s_{3e2} \\ &+c_{e2e3} \cdot (Z_{e2} + l_{3e2} \cdot \varphi_{e2} + s_{3e2} \cdot X_{e2} - Z_{e3} + l_{3e3} \cdot \varphi_{e3} - s_{3e3} \cdot X_{e3}) \cdot s_{3e2} \end{aligned} \quad (5.216)$$

İkinci egzoz parçasının J_{e2X} atalet momenti iki parçaya ayrılırsa,

$$J_{1e2X} + J_{2e2X} = J_{e2X}$$

J_{1e2X} : İkinci egzoz parçasının birinci noktasının bulunduğu kısmın Y_{e2} eksenine göre atalet momenti

J_{2e2X} : İkinci egzoz parçasının ikinci noktasının bulunduğu kısmın Y_{e2} eksenine göre atalet momenti

İkinci egzoz parçasının birinci noktasının bulunduğu kısmın Y_{e2} eksenine göre moment denklemi

$$J_{1e2X} \ddot{X}_{e2} - k_{1e2}(\dot{Z}_{1e2} - \dot{Z}_{1se2}) \cdot s_{1e2} - c_{1e2}(Z_{1e2} - Z_{1se2}) \cdot s_{1e2} = 0 \quad (5.217)$$

(5.180) ve (5.189) denklemleri , (5.217) denklemine konursa,

$$\begin{aligned} J_{1e2X} \ddot{X}_{e2} - k_{1e2}(\dot{Z}_{e2} + l_{1e2} \cdot \dot{\phi}_{e2} - s_{1e2} \cdot \dot{X}_{e2} - \dot{Z}_2 - (d_x + l_{1e2}) \cdot \dot{\phi}_2 - s_6 \cdot \dot{X}_2) \cdot s_{1e2} \\ - c_{1e2}(Z_{e2} - l_{2e2} \cdot \phi_{e2} + s_{2e2} \cdot X_{e2} - Z_2 - (d_x + l_{1e2}) \cdot \phi_2 - s_6 \cdot X_2) \cdot s_{1e2} = 0 \end{aligned} \quad (5.218)$$

İkinci egzoz parçasının ikinci noktasının bulunduğu kısmın Y_{e2} eksenine göre moment denklemi

$$J_{2e2X} \ddot{X}_{e2} + k_{2e2}(\dot{Z}_{2e2} - \dot{Z}_{2se2}) s_{2e2} + c_{2e2}(Z_{2e2} - Z_{2se2}) \cdot s_{2e2} = 0 \quad (5.219)$$

(5.181) ve (5.190) denklemleri, (5.219) denklemine konursa,

$$\begin{aligned} J_{2e2X} \ddot{X}_{e2} + k_{2e2}(\dot{Z}_{e2} - l_{2e2} \cdot \dot{\phi}_{e2} + s_{2e2} \cdot \dot{X}_{e2} - \dot{Z}_2 - (d_x - l_{2e2}) \cdot \dot{\phi}_2 - s_7 \cdot \dot{X}_2) \cdot s_{2e2} \\ + c_{2e2}(Z_{e2} - l_{2e2} \cdot \phi_{e2} + s_{2e2} \cdot X_{e2} - Z_2 - (d_x - l_{2e2}) \cdot \phi_2 - s_7 \cdot X_2) \cdot s_{2e2} = 0 \end{aligned} \quad (5.220)$$

(5.218) ve (5.220) denklemleri taraf tarafa toplanırsa ikinci egzoz parçasının Y_{e2} eksenine göre moment denklemi elde edilir.

$$\begin{aligned}
& J_{e2x} \ddot{X}_{e2} + (k_{2e2} \cdot s_{2e2} - k_{1e2} \cdot s_{1e2}) \cdot \dot{Z}_{e2} - (k_{1e2} \cdot s_{1e2} \cdot l_{1e2} + k_{2e2} \cdot s_{2e2} \cdot l_{2e2}) \cdot \dot{\phi}_{e2} \\
& + (k_{1e2} \cdot s_{1e2}^2 + k_{2e2} \cdot s_{2e2}^2) \cdot \dot{X}_{e2} + (k_{1e2} \cdot s_{1e2} - k_{2e2} \cdot s_{2e2}) \cdot \dot{Z}_2 \\
& + (k_{1e2} \cdot (d_x \cdot s_{1e2} + l_{1e2} \cdot s_{1e2}) - k_{2e2} \cdot (d_x \cdot s_{2e2} - l_{2e2} \cdot s_{2e2})) \cdot \dot{\phi}_2 \\
& + (k_{1e2} \cdot s_6 \cdot s_{1e2} - k_{2e2} \cdot s_7 \cdot s_{2e2}) \cdot \dot{X}_2 + (c_{2e2} \cdot s_{2e2} - c_{1e2} \cdot s_{1e2}) \cdot Z_{e2} \\
& - (c_{1e2} \cdot s_{1e2} \cdot l_{1e2} + c_{2e2} \cdot s_{2e2} \cdot l_{2e2}) \cdot \phi_{e2} + (c_{1e2} \cdot s_{1e2}^2 + c_{2e2} \cdot s_{2e2}^2) \cdot X_{e2} \\
& + (c_{1e2} \cdot s_{1e2} - c_{2e2} \cdot s_{2e2}) \cdot Z_2 \\
& + (c_{1e2} \cdot (d_x \cdot s_{1e2} + l_{1e2} \cdot s_{1e2}) - c_{2e2} \cdot (d_x \cdot s_{2e2} - l_{2e2} \cdot s_{2e2})) \cdot \phi_2 \\
& + (c_{1e2} \cdot s_6 \cdot s_{1e2} - c_{2e2} \cdot s_7 \cdot s_{2e2}) \cdot X_2 = 0 \tag{5.221}
\end{aligned}$$

(5.221) denklemi ikinci egzoz parçasının , birinci ve üçüncü egzoz parçasına bağlı olmadığı durumdaki Y_{e2} eksenine göre moment denklemdir.

(5.221) denklemine (5.214) ve (5.216) denklemleri eklenirse ikinci egzoz parçasının, birinci ve üçüncü egzoz parçası ile bağlı olduğu durumdaki Y_{e2} eksenine göre moment denklemi elde edilir.

$$\begin{aligned}
& J_{e2X} \ddot{X}_{e2} + (k_{2e2} \cdot s_{2e2} - k_{1e2} \cdot s_{1e2}) \cdot \dot{Z}_{e2} - (k_{1e2} \cdot s_{1e2} \cdot l_{1e2} + k_{2e2} \cdot s_{2e2} \cdot l_{2e2}) \cdot \dot{\varphi}_{e2} \\
& + (k_{1e2} \cdot s_{1e2}^2 + k_{2e2} \cdot s_{2e2}^2) \cdot \dot{X}_{e2} + (k_{1e2} \cdot s_{1e2} - k_{2e2} \cdot s_{2e2}) \cdot \dot{Z}_2 \\
& + (k_{1e2} \cdot (d_x \cdot s_{1e2} + l_{1e2} \cdot s_{1e2}) - k_{2e2} \cdot (d_x \cdot s_{2e2} - l_{2e2} \cdot s_{2e2})) \cdot \dot{\varphi}_2 \\
& + (k_{1e2} \cdot s_6 \cdot s_{1e2} - k_{2e2} \cdot s_7 \cdot s_{2e2}) \cdot \dot{X}_2 + (c_{2e2} \cdot s_{2e2} - c_{1e2} \cdot s_{1e2}) \cdot Z_{e2} \\
& - (c_{1e2} \cdot s_{1e2} \cdot l_{1e2} + c_{2e2} \cdot s_{2e2} \cdot l_{2e2}) \cdot \varphi_{e2} + (c_{1e2} \cdot s_{1e2}^2 + c_{2e2} \cdot s_{2e2}^2) \cdot X_{e2} \\
& + (c_{1e2} \cdot s_{1e2} - c_{2e2} \cdot s_{2e2}) \cdot Z_2 \\
& + (c_{1e2} \cdot (d_x \cdot s_{1e2} + l_{1e2} \cdot s_{1e2}) - c_{2e2} \cdot (d_x \cdot s_{2e2} - l_{2e2} \cdot s_{2e2})) \cdot \varphi_2 \\
& + (c_{1e2} \cdot s_6 \cdot s_{1e2} - c_{2e2} \cdot s_7 \cdot s_{2e2}) \cdot X_2 \\
& + k_{e1e2} \cdot (\dot{Z}_{e2} - l_{4e2} \cdot \dot{\varphi}_{e2} + s_{4e2} \cdot \dot{X}_{e2} - \dot{Z}_{e1} - l_{3e1} \cdot \dot{\varphi}_{e1} - s_{3e1} \cdot \dot{X}_{e1}) \cdot s_{4e2} \\
& + c_{e1e2} \cdot (Z_{e2} - l_{4e2} \cdot \varphi_{e2} + s_{4e2} \cdot X_{e2} - Z_{e1} - l_{3e1} \cdot \varphi_{e1} - s_{3e1} \cdot X_{e1}) \cdot s_{4e2} \\
& + k_{e2e3} \cdot (\dot{Z}_{e2} + l_{3e2} \cdot \dot{\varphi}_{e2} + s_{3e2} \cdot \dot{X}_{e2} - \dot{Z}_{e3} + l_{3e3} \cdot \dot{\varphi}_{e3} - s_{3e3} \cdot \dot{X}_{e3}) \cdot s_{3e2} \\
& + c_{e2e3} \cdot (Z_{e2} + l_{3e2} \cdot \varphi_{e2} + s_{3e2} \cdot X_{e2} - Z_{e3} + l_{3e3} \cdot \varphi_{e3} - s_{3e3} \cdot X_{e3}) \cdot s_{3e2} = 0 \quad (5.222)
\end{aligned}$$

(5.222) denklemi düzenlenirse ikinci egzoz parçasının, birinci egzoz parçasına ve üçüncü egzoz parçasına bağlı olduğu durumdaki Y_{e2} eksenine göre moment denklemi elde edilir.

$$\begin{aligned}
& J_{e2x} \ddot{X}_{e2} + (k_{2e2} \cdot s_{2e2} - k_{1e2} \cdot s_{1e2} + k_{e1e2} \cdot s_{4e2} + k_{e2e3} \cdot s_{3e2}) \cdot \dot{Z}_{e2} \\
& - (k_{1e2} \cdot s_{1e2} \cdot l_{1e2} + k_{2e2} \cdot s_{2e2} \cdot l_{2e2} + k_{e1e2} \cdot s_{4e2} \cdot l_{4e2} - k_{e2e3} \cdot s_{3e2} \cdot l_{3e2}) \cdot \dot{\phi}_{e2} \\
& + (k_{1e2} \cdot s_{1e2}^2 + k_{2e2} \cdot s_{2e2}^2 + k_{e1e2} \cdot s_{4e2}^2 + k_{e2e3} \cdot s_{3e2}^2) \cdot \ddot{X}_{e2} + (k_{1e2} \cdot s_{1e2} - k_{2e2} \cdot s_{2e2}) \cdot \dot{Z}_2 \\
& + (k_{1e2} \cdot (d_x \cdot s_{1e2} + l_{1e2} \cdot s_{1e2}) - k_{2e2} \cdot (d_x \cdot s_{2e2} - l_{2e2} \cdot s_{2e2})) \cdot \dot{\phi}_2 \\
& + (k_{1e2} \cdot s_6 \cdot s_{1e2} - k_{2e2} \cdot s_7 \cdot s_{2e2}) \cdot \dot{X}_2 \\
& - k_{e1e2} \cdot s_{4e2} \cdot \dot{Z}_{e1} - k_{e1e2} \cdot s_{4e2} \cdot l_{3e1} \dot{\phi}_{e1} \\
& - k_{e1e2} \cdot s_{4e2} \cdot s_{3e1} \cdot \ddot{X}_{e1} - k_{e2e3} \cdot s_{3e2} \cdot \dot{Z}_{e3} + k_{e2e3} \cdot s_{3e2} \cdot l_{3e3} \dot{\phi}_{e3} \\
& - k_{e2e3} \cdot s_{3e2} \cdot s_{3e3} \cdot \ddot{X}_{e3} + (C_{2e2} \cdot s_{2e2} - C_{1e2} \cdot s_{1e2} + C_{e1e2} \cdot s_{4e2} + C_{e2e3} \cdot s_{3e2}) \cdot Z_{e2} \\
& - (C_{1e2} \cdot s_{1e2} \cdot l_{1e2} + C_{2e2} \cdot s_{2e2} \cdot l_{2e2} + C_{e1e2} \cdot s_{4e2} \cdot l_{4e2} - C_{e2e3} \cdot s_{3e2} \cdot l_{3e2}) \cdot \phi_{e2} \\
& + (C_{1e2} \cdot s_{1e2}^2 + C_{2e2} \cdot s_{2e2}^2 + C_{e1e2} \cdot s_{4e2}^2 + C_{e2e3} \cdot s_{3e2}^2) \cdot X_{e2} \\
& + (C_{1e2} \cdot s_{1e2} - C_{2e2} \cdot s_{2e2}) \cdot Z_2 \\
& + (C_{1e2} \cdot (d_x \cdot s_{1e2} - l_{1e2} \cdot s_{1e2}) - C_{2e2} \cdot (d_x \cdot s_{2e2} - l_{2e2} \cdot s_{2e2})) \cdot \phi_2 \\
& + (C_{1e2} \cdot s_6 \cdot s_{1e2} - C_{2e2} \cdot s_7 \cdot s_{2e2}) \cdot X_2 - C_{e1e2} \cdot s_{4e2} \cdot Z_{e1} - C_{e1e2} \cdot s_{4e2} \cdot l_{3e1} \phi_{e1} \\
& - C_{e1e2} \cdot s_{4e2} \cdot s_{3e1} \cdot X_{e1} - C_{e2e3} \cdot s_{3e2} \cdot Z_{e3} + C_{e2e3} \cdot s_{3e2} \cdot l_{3e3} \phi_{e3} \\
& - C_{e2e3} \cdot s_{3e2} \cdot s_{3e3} \cdot X_{e3} = 0
\end{aligned} \tag{5.223}$$

5.6 ÜÇÜNCÜ EGZOZ PARÇASININ HAREKET VE MOMENT DENKLEMLERİ

5.6.1 Üçüncü Egzoz Parçasının Hareket Denklemi

Üçüncü egzoz parçası birbirlerine göre çapraz konumda bulunan iki tane yay ve sönüm elemanlarıyla taşıt gövdesine, bir tane yay ve sönüm elemanı ile ikinci egzoz parçasına bağlanmıştır.

z_{e3} : Üçüncü egzoz parçasının ağırlık merkezinin deplasmanı

z_{1e3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın deplasmanı

z_{2e3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki ikincinin noktanın deplasmanı

z_{3e3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktanın deplasmanı

z_{1se3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün deplasmanı

z_{2se3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün deplasmanı

l_{1e3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın üçüncü egzoz parçasının ağırlık merkezine X_{e3} eksen yönündeki uzaklığı

l_{2e3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın üçüncü egzoz parçasının ağırlık merkezine X_{e3} eksen yönündeki uzaklığı

l_{3e3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktanın üçüncü egzoz parçasının ağırlık merkezine X_{e3} eksen yönündeki uzaklığı

e_x : Üçüncü egzoz parçasının ağırlık merkezinin taşıt gövdesinin ağırlık merkezine X_2 eksen yönündeki uzaklığı

s_{1e3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın üçüncü egzoz parçasının ağırlık merkezine Y_{e3} eksen yönündeki uzaklığı

s_{2e3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın üçüncü egzoz parçasının ağırlık merkezine Y_{e3} eksen yönündeki uzaklığı

s_{3e3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktanın üçüncü egzoz parçasının ağırlık merkezine Y_{e3} eksenini yönündeki uzaklığı

s_8 : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün Y_2 eksenini yönündeki uzaklığı

s_9 : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün Y_2 eksenini yönündeki uzaklığı

c_{1e3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki birinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan yay elemanın yay katsayısı

c_{2e3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki ikinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan yay elemanın yay katsayısı

c_{e2e3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktayı ikinci egzoz parçasına bağlayan yay elemanın yay katsayısı

k_{1e3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki birinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan sönüm elemanın sönüm katsayısı

k_{2e3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki ikinci noktayı taşıt gövdesine bağlayan sönüm elemanın sönüm katsayısı

k_{e2e3} : Üçüncü egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktayı ikinci egzoz parçasına bağlayan sönüm elemanın sönüm katsayısı

m_{e3} : Üçüncü egzoz parçasının kütlesi

J_{e3Y} : Üçüncü egzoz parçasının X_{e3} eksenine göre atalet momenti

J_{e3X} : Üçüncü egzoz parçasının Y_{e3} eksenine göre atalet momenti

X_{e3} : Üçüncü egzoz parçasının yalpa açısı (X_2 ile aynı yönde)

φ_{e3} : Üçüncü egzoz parçasının kafa vurma açısı (φ_2 ile aynı yönde)

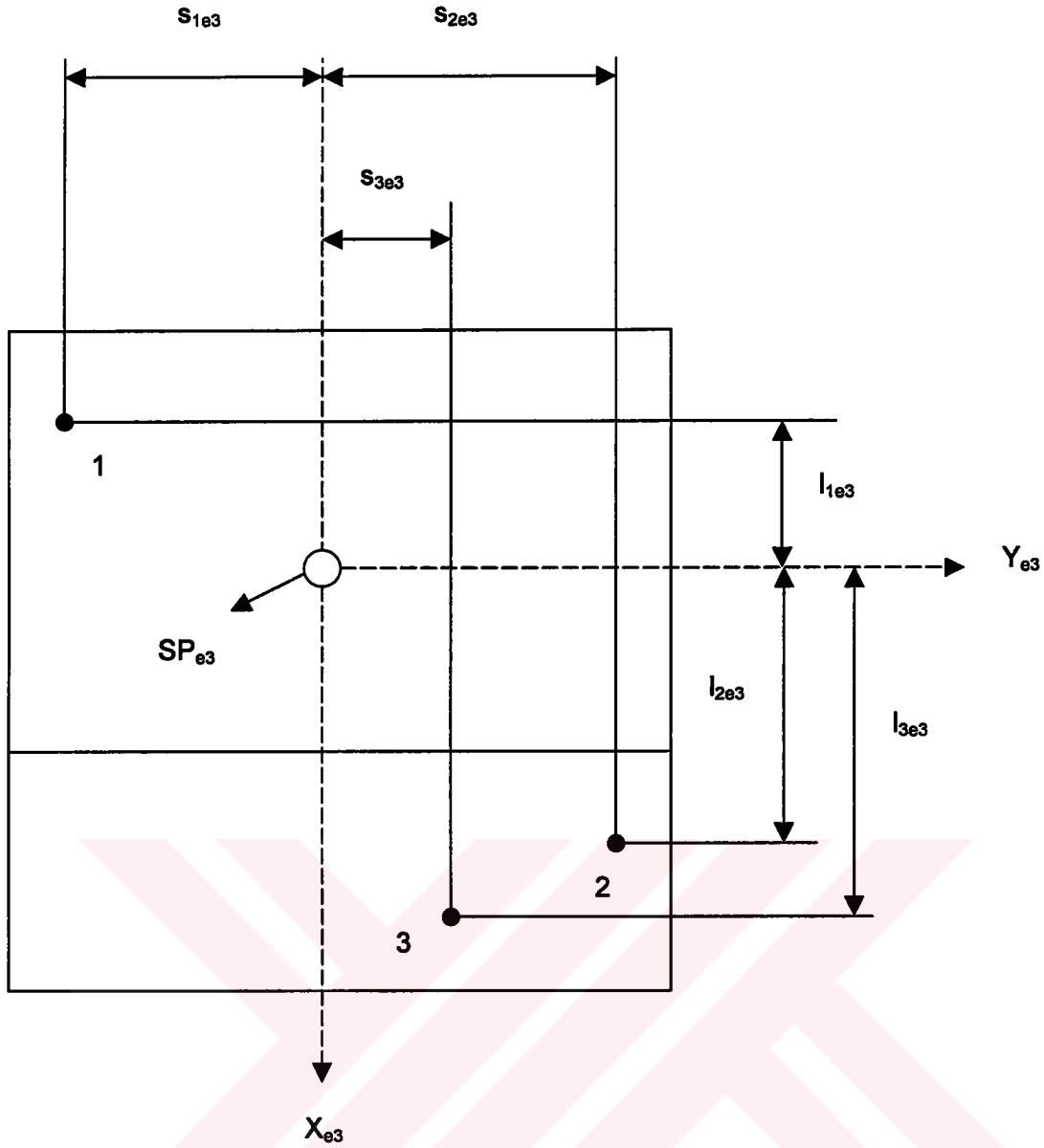
Üçüncü egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün taşıt gövdesinin ağırlık merkezine X_2 eksen yönündeki mesafesi,

$$e_x + l_{1e3}$$

Üçüncü egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümünün taşıt gövdesinin ağırlık merkezine X_2 eksen yönündeki mesafesi,

$$e_x - l_{2e3}$$





Şekil 5.8 Üçüncü egzoz parçasının üstten görünüşü

Üçüncü egzoz parçası üzerindeki bulunan noktalarının deplasmanları taşıt gövdesinin akslar üzerinde bulunan kısımlarının deplasmanlarının hesaplandığı yöntemle hesaplanır. Şekil 5.8'de üçüncü egzoz parçasının üstten görünüşü görülmektedir. Şekil 5.5'te ise üçüncü egzoz parçası üç boyutlu titreşim modelinin üstten görünüşünde görülmektedir.

Üçüncü egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın deplasmanı,

$$z_{1e3} = z_{e3} + l_{1e3} \cdot \varphi_{e3} - s_{1e3} \cdot X_{e3} \quad (5.224)$$

Üçüncü egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın deplasmanı,

$$z_{2e3} = z_{e3} - l_{2e3} \cdot \varphi_{e3} + s_{2e3} \cdot X_{e3} \quad (5.225)$$

Üçüncü egzoz parçası üzerindeki üçüncü noktanın deplasmanı

$$z_{3e3} = z_{e3} - l_{3e3} \cdot \varphi_{e3} + s_{3e3} \cdot X_{e3} \quad (5.226)$$

Üçüncü egzoz parçası ile ikinci egzoz parçası arasındaki yay ve sönüm elemanından kaynaklanan kuvvet,

$$k_{e2e3} \cdot (\dot{z}_{3e3} - \dot{z}_{3e2}) + c_{e2e3} \cdot (z_{3e3} - z_{3e2}) \quad (5.227)$$

(5.182) ve (5.226) denklemleri (5.227) denklemine konursa,

$$\begin{aligned} & k_{e2e3} \cdot (\dot{z}_{e3} - l_{3e3} \cdot \dot{\varphi}_{e3} + s_{3e3} \cdot \dot{X}_{e3} - z_{e2} - l_{3e2} \cdot \dot{\varphi}_{e2} - s_{3e2} \cdot \dot{X}_{e2}) \\ & + c_{e2e3} \cdot (z_{e3} - l_{3e3} \cdot \varphi_{e3} + s_{3e3} \cdot X_{e3} - z_{e2} - l_{3e2} \cdot \varphi_{e2} - s_{3e2} \cdot X_{e2}) \end{aligned} \quad (5.228)$$

Üçüncü egzoz parçası üzerindeki noktaların taşıt gövdesi üzerindeki izdüşümlerinin deplasmanları,

Üçüncü egzoz parçası üzerindeki birinci nokta için,

$$z_{1se3} = z_2 + (e_x + l_{1e3}) \cdot \varphi_3 + s_8 \cdot X_2 \quad (5.229)$$

Üçüncü egzoz parçası üzerindeki ikinci nokta için,

$$z_{2se3} = z_2 + (e_x - l_{2e3}) \cdot \varphi_3 + s_9 \cdot X_2 \quad (5.230)$$

Üçüncü egzoz parçasısının üzerindeki birinci noktanın olduğu kısmın kütlesi A , ikinci noktanın olduğu kısmın kütlesini B olsun.

X_{e3} eksenine göre moment alınır,

$$A \cdot l_{1e3} = B \cdot l_{2e3} \quad (5.231)$$

Y_{e3} eksenine göre moment alınırsa,

$$A.s_{1e3} = B.s_{2e3} \quad (5.232)$$

ve

$$A + B = m_{e3} \quad (5.233)$$

Üçüncü egzoz parçası üzerindeki birinci noktanın bulunduğu kısmın hareket denklemi

$$A.\ddot{Z}_{1e3} + k_{1e3}(\dot{Z}_{1e3} - \dot{Z}_{1se3}) + c_{1e2}(Z_{1e3} - Z_{1se3}) = 0 \quad (5.234)$$

(5.224) ve (5.229) denklemleri (5.234) denklemine konursa,

$$\begin{aligned} &A.(\ddot{Z}_{e3} + l_{1e3}.\ddot{\phi}_{e3} - s_{1e3}.\ddot{X}_{e3}) + \\ &k_{1e3}.(\dot{Z}_{e3} + l_{1e3}.\dot{\phi}_{e3} - s_{1e3}.\dot{X}_{e3} - \dot{Z}_2 - (e_x + l_{1e3}).\dot{\phi}_2 - s_8.\dot{X}_2) + \\ &c_{1e3}.(Z_{e3} + l_{1e3}.\phi_{e3} - s_{1e3}.X_{e3} - Z_2 - (e_x + l_{1e3}).\phi_2 - s_8.X_2) = 0 \end{aligned} \quad (5.235)$$

Üçüncü egzoz parçası üzerindeki ikinci noktanın bulunduğu kısmın hareket denklemi

$$B.\ddot{Z}_{2e3} + k_{2e3}(\dot{Z}_{2e3} - \dot{Z}_{2se3}) + c_{2e3}(Z_{2e3} - Z_{2se3}) = 0 \quad (5.236)$$

(5.225) ve (5.230) denklemleri (5.236) denklemine konursa,

$$\begin{aligned} &B.(\ddot{Z}_{e3} - l_{2e3}.\ddot{\phi}_{e3} + s_{2e3}.\ddot{X}_{e3}) + \\ &k_{2e3}.(\dot{Z}_{e3} - l_{2e3}.\dot{\phi}_{e3} + s_{2e3}.\dot{X}_{e3} - \dot{Z}_2 - (e_x - l_{2e3}).\dot{\phi}_2 - s_9.\dot{X}_2) + \\ &c_{2e3}.(Z_{e3} - l_{2e3}.\phi_{e3} + s_{2e3}.X_{e3} - Z_2 - (e_x - l_{2e3}).\phi_2 - s_9.X_2) = 0 \end{aligned} \quad (5.237)$$

(5.235) ve (5.237) denklemleri taraf tarafa toplanırsa üçüncü egzoz parçasının hareket denklemi elde edilir.

$$\begin{aligned}
& (A+B) \cdot \ddot{z}_{e3} + (A \cdot l_{1e3} - B \cdot l_{2e3}) \cdot \ddot{\phi}_{e3} + (-A \cdot s_{1e3} + B \cdot s_{2e3}) \cdot \ddot{X}_{e3} \\
& + (k_{1e3} + k_{2e3}) \cdot \dot{z}_{e3} + (k_{1e3} \cdot l_{1e3} - k_{2e3} \cdot l_{2e3}) \cdot \dot{\phi}_{e3} + (-k_{1e3} \cdot s_{1e3} + k_{2e3} \cdot s_{2e3}) \cdot \dot{X}_{e3} \\
& - (k_{1e3} + k_{2e3}) \cdot \dot{z}_2 - (k_{1e3} \cdot (e_x + l_{1e3}) + k_{2e3} \cdot (e_x - l_{2e3})) \cdot \dot{\phi}_2 - (k_{1e3} \cdot s_8 + k_{2e3} \cdot s_9) \cdot \dot{X}_2 \\
& + (c_{1e3} + c_{2e3}) \cdot z_{e3} + (c_{1e3} \cdot l_{1e3} - c_{2e3} \cdot l_{2e3}) \cdot \phi_{e3} + (-c_{1e3} \cdot s_{1e3} + c_{2e3} \cdot s_{2e3}) \cdot X_{e3} - \\
& - (c_{1e3} + c_{2e3}) \cdot z_2 \\
& - (c_{1e3} \cdot (e_x + l_{1e3}) + c_{2e3} \cdot (e_x - l_{2e3})) \cdot \phi_2 - (c_{1e3} \cdot s_8 + c_{2e3} \cdot s_9) \cdot X_2 = 0 \quad (5.238)
\end{aligned}$$

(5.231) ,(5.232) ve (5.233) denklemleri (5.238) denklemin ilk satırındaki yerlerine konursa,

(5.238) denkleminin ilk satırındaki $\ddot{\phi}_{e3}$ ve $\ddot{X}_{e3}$ 'li terimler yok olurlar.

Yapılan düzenlemelerden sonra (5.238) denklemi aşağıdaki denkleme dönüşür.

$$\begin{aligned}
& m_{e3} \cdot \ddot{z}_{e3} + (k_{1e3} + k_{2e3}) \cdot \dot{z}_{e3} + (k_{1e3} \cdot l_{1e3} - k_{2e3} \cdot l_{2e3}) \cdot \dot{\phi}_{e3} \\
& + (-k_{1e3} \cdot s_{1e3} + k_{2e3} \cdot s_{2e3}) \cdot \dot{X}_{e3} - (k_{1e3} + k_{2e3}) \cdot \dot{z}_2 - (k_{1e3} \cdot (e_x + l_{1e3}) + k_{2e3} \cdot (e_x - l_{2e3})) \cdot \dot{\phi}_2 \\
& - (k_{1e3} \cdot s_8 + k_{2e3} \cdot s_9) \cdot \dot{X}_2 \\
& + (c_{1e3} + c_{2e3}) \cdot z_{e3} + (c_{1e3} \cdot l_{1e3} - c_{2e3} \cdot l_{2e3}) \cdot \phi_{e3} + (-c_{1e3} \cdot s_{1e3} + c_{2e3} \cdot s_{2e3}) \cdot X_{e3} \\
& - (c_{1e3} + c_{2e3}) \cdot z_2 \\
& - (c_{1e3} \cdot (e_x + l_{1e3}) + c_{2e3} \cdot (e_x - l_{2e3})) \cdot \phi_2 - (c_{1e3} \cdot s_8 + c_{2e3} \cdot s_9) \cdot X_2 = 0 \quad (5.239)
\end{aligned}$$

(5.239) denklemi üçüncü egzoz parçasının , ikinci egzoz parçasına bağlı olmadığı durumdaki hareket denklemidir. Fakat modelde, üçüncü egzoz parçası yay ve sönüm elemanları ile ikinci egzoz parçasına bağlıdır. Bu nedenle bu bağlantılardan gelen kuvvetler (5.239) denkleminde eklenmelidir.

(5.228) denklemi (5.239) denkleminde eklenirse ikinci egzoz parçasının hareket denklemi elde edilir.

$$\begin{aligned}
& m_{e3} \cdot \ddot{z}_{e3} + (k_{1e3} + k_{2e3}) \cdot \dot{z}_{e3} + (k_{1e3} \cdot l_{1e3} - k_{2e3} \cdot l_{2e3}) \cdot \dot{\varphi}_{e3} \\
& + (-k_{1e3} \cdot s_{1e3} + k_{2e3} \cdot s_{2e3}) \cdot \dot{X}_{e3} \\
& - (k_{1e3} + k_{2e3}) \cdot \dot{z}_2 - (k_{1e3} \cdot (e_x + l_{1e3}) + k_{2e3} \cdot (e_x - l_{2e3})) \cdot \dot{\varphi}_2 - (k_{1e3} \cdot s_8 + k_{2e3} \cdot s_9) \cdot \dot{X}_2 \\
& + (c_{1e3} + c_{2e3}) \cdot z_{e3} + (c_{1e3} \cdot l_{1e3} - c_{2e3} \cdot l_{2e3}) \cdot \varphi_{e3} + (-c_{1e3} \cdot s_{1e3} + c_{2e3} \cdot s_{2e3}) \cdot X_{e3} \\
& - (c_{1e3} + c_{2e3}) \cdot z_2 - (c_{1e3} \cdot (e_x + l_{1e3}) + c_{2e3} \cdot (e_x - l_{2e3})) \cdot \varphi_2 - (c_{1e3} \cdot s_8 + c_{2e3} \cdot s_9) \cdot X_2 \\
& + k_{e2e3} \cdot (\dot{z}_{e3} - l_{3e3} \cdot \dot{\varphi}_{e3} + s_{3e3} \cdot \dot{X}_{e3} - \dot{z}_{e2} - l_{3e2} \cdot \dot{\varphi}_{e2} - s_{3e2} \cdot \dot{X}_{e2}) \\
& + c_{e2e3} \cdot (z_{e3} - l_{3e3} \cdot \varphi_{e3} + s_{3e3} \cdot X_{e3} - z_{e2} - l_{3e2} \cdot \varphi_{e2} - s_{3e2} \cdot X_{e2}) = 0
\end{aligned} \tag{5.240}$$

(5.240) denklemi düzenlenirse,

$$\begin{aligned}
& m_{e3} \cdot \ddot{z}_{e3} + (k_{1e3} + k_{2e3} + k_{e2e3}) \cdot \dot{z}_{e3} + (k_{1e3} \cdot l_{1e3} - k_{2e3} \cdot l_{2e3} - k_{e2e3} \cdot l_{3e3}) \cdot \dot{\varphi}_{e3} \\
& + (-k_{1e3} \cdot s_{1e3} + k_{2e3} \cdot s_{2e3} + k_{e2e3} \cdot s_{3e3}) \cdot \dot{X}_{e3} \\
& - (k_{1e3} + k_{2e3}) \cdot \dot{z}_2 - (k_{1e3} \cdot (e_x + l_{1e3}) + k_{2e3} \cdot (e_x - l_{2e3})) \cdot \dot{\varphi}_2 - (k_{1e3} \cdot s_8 + k_{2e3} \cdot s_9) \cdot \dot{X}_2 \\
& - k_{e2e3} \cdot \dot{z}_{e2} - k_{e2e3} \cdot l_{3e2} \cdot \dot{\varphi}_{e2} - k_{e2e3} \cdot s_{3e2} \cdot \dot{X}_{e2} \\
& + (c_{1e3} + c_{2e3} + c_{e2e3}) \cdot z_{e3} + \\
& (c_{1e3} \cdot l_{1e3} - c_{2e3} \cdot l_{2e3} - c_{e2e3} \cdot l_{3e3}) \cdot \varphi_{e3} \\
& + (-c_{1e3} \cdot s_{1e3} + c_{2e3} \cdot s_{2e3} + c_{e2e3} \cdot s_{3e3}) \cdot X_{e3} \\
& - (c_{1e3} + c_{2e3}) \cdot z_2 - (c_{1e3} \cdot (e_x + l_{1e3}) + c_{2e3} \cdot (e_x - l_{2e3})) \cdot \varphi_2 - (c_{1e3} \cdot s_8 + c_{2e3} \cdot s_9) \cdot X_2 \\
& - c_{e2e3} \cdot z_{e2} - c_{e2e3} \cdot l_{3e2} \cdot \varphi_{e2} - c_{e2e3} \cdot s_{3e2} \cdot X_{e2} = 0
\end{aligned} \tag{5.241}$$

5.6.3 Üçüncü Egzoz Parçasının Kafa Vurma Moment Denklemi

Üçüncü egzoz parçasına ikinci egzoz parçasından etki eden toplam kuvvetinin üçüncü egzoz parçasının X_{e3} eksenine göre moment denklemi,

$$-k_{e2e3} \cdot (\dot{z}_{3e3} - \dot{z}_{3e2}) \cdot l_{3e3} - c_{e2e3} \cdot (z_{3e3} - z_{3e2}) \cdot l_{3e3} \tag{5.242}$$

(5.182) ve (5.226) denklemleri (5.242) denklemine konursa,

$$\begin{aligned}
& -k_{e2e3} \cdot (\dot{z}_{e3} - l_{3e3} \cdot \dot{\varphi}_{e3} + s_{3e3} \cdot \dot{X}_{e3} - \dot{z}_{e2} - l_{3e2} \cdot \dot{\varphi}_{e2} - s_{3e2} \cdot \dot{X}_{e2}) \cdot l_{3e3} \\
& - c_{e2e3} \cdot (z_{e3} - l_{3e3} \cdot \varphi_{e3} + s_{3e3} \cdot X_{e3} - z_{e2} - l_{3e2} \cdot \varphi_{e2} - s_{3e2} \cdot X_{e2}) \cdot l_{3e3}
\end{aligned} \tag{5.243}$$

İkinci egzoz parçasının J_{e3Y} atalet momenti iki parçaya ayrılırsa,

$$J_{e3Y} = J_{1e3Y} + J_{2e3Y}$$

J_{1e3Y} : Üçüncü egzoz parçasının birinci noktasının bulunduğu kısmın X_{e3} eksenine göre atalet momenti

J_{2e3Y} : Üçüncü egzoz parçasının ikinci noktasının bulunduğu kısmın X_{e3} eksenine göre atalet momenti

Üçüncü egzoz parçasının birinci noktasının bulunduğu kısmının X_{e3} eksenine göre moment denklemi,

$$J_{1e3Y} \cdot \ddot{\varphi}_{e3} + k_{1e3} \cdot (\dot{z}_{1e3} - \dot{z}_{1se3}) \cdot l_{1e3} + c_{1e3} \cdot (z_{1e3} - z_{1se3}) \cdot l_{1e3} = 0 \quad (5.244)$$

(5.224) ve (5.229) denklemleri (5.244) denklemine konursa,

$$J_{1e3Y} \cdot \ddot{\varphi}_{e3} + k_{1e3} \cdot (\dot{z}_{e3} + l_{1e3} \cdot \dot{\varphi}_{e3} - s_{1e3} \cdot \dot{X}_{e3} - \dot{z}_2 - (e_x + l_{1e3}) \cdot \dot{\varphi}_2 - s_8 \cdot \dot{X}_2) \cdot l_{1e3} + c_{1e3} \cdot (z_{e3} + l_{1e3} \cdot \varphi_{e3} - s_{1e3} \cdot X_{e3} - z_2 - (e_x + l_{1e3}) \cdot \varphi_2 - s_8 \cdot X_2) \cdot l_{1e3} = 0 \quad (5.245)$$

Üçüncü egzoz parçasının ikinci noktasının bulunduğu kısmının X_{e3} eksenine göre moment denklemi,

$$J_{2e3Y} \cdot \ddot{\varphi}_{e3} - k_{2e3} \cdot (\dot{z}_{2e3} - \dot{z}_{2se3}) \cdot l_{2e3} - c_{2e3} \cdot (z_{2e3} - z_{2se3}) \cdot l_{2e3} = 0 \quad (5.246)$$

(5.225) ve (5.230) denklemleri (5.246) denklemine konursa,

$$J_{2e3Y} \cdot \ddot{\varphi}_{e3} - k_{2e3} \cdot (\dot{z}_{e3} - l_{2e3} \cdot \dot{\varphi}_{e3} + s_{2e3} \cdot \dot{X}_{e3} - \dot{z}_2 - (e_x - l_{2e3}) \cdot \dot{\varphi}_2 - s_9 \cdot \dot{X}_2) \cdot l_{2e3} - c_{2e3} \cdot (z_{e3} - l_{2e3} \cdot \varphi_{e3} + s_{2e3} \cdot X_{e3} - z_2 - (e_x - l_{2e3}) \cdot \varphi_2 - s_9 \cdot X_2) \cdot l_{2e3} = 0 \quad (5.247)$$

(5.245) ve (5.247) denklemleri taraf tarafa toplanılırsa üçüncü egzoz parçasının X_{e3} eksenine göre moment denklemi elde edilir.

$$\begin{aligned}
& J_{e3Y} \cdot \ddot{\varphi}_{e3} + (k_{1e3} \cdot l_{1e3} - k_{2e3} \cdot l_{2e3}) \cdot \dot{Z}_{e3} + (k_{1e3} \cdot l_{1e3}^2 + k_{2e3} \cdot l_{2e3}^2) \cdot \dot{\varphi}_{e3} \\
& - (k_{2e3} \cdot s_{2e3} \cdot l_{2e3} + k_{1e3} \cdot s_{1e3} \cdot l_{1e3}) \cdot \dot{X}_{e3} + (k_{2e3} \cdot l_{2e3} - k_{1e3} \cdot l_{1e3}) \cdot \dot{Z}_2 \\
& + (k_{2e3} \cdot (e_x \cdot l_{2e3} - l_{2e3}^2) - k_{1e3} \cdot (e_x \cdot l_{1e3} + l_{1e3}^2)) \cdot \dot{\varphi}_2 + (k_{2e3} \cdot s_{\theta} \cdot l_{2e3} - k_{1e3} \cdot s_{\theta} \cdot l_{1e3}) \cdot \dot{X}_2 \\
& + (c_{1e3} \cdot l_{1e3} - c_{2e3} \cdot l_{2e3}) \cdot Z_{e3} + (c_{1e3} \cdot l_{1e3}^2 + c_{2e3} \cdot l_{2e3}^2) \cdot \varphi_{e3} \\
& - (c_{2e3} \cdot s_{2e3} \cdot l_{2e3} + c_{1e3} \cdot s_{1e3} \cdot l_{1e3}) \cdot X_{e3} + (c_{2e3} \cdot l_{2e3} - c_{1e3} \cdot l_{1e3}) \cdot Z_2 \\
& + (c_{2e3} \cdot (e_x \cdot l_{2e3} - l_{2e3}^2) - c_{1e3} \cdot (e_x \cdot l_{1e3} + l_{1e3}^2)) \cdot \varphi_2 \\
& + (c_{2e3} \cdot s_{\theta} \cdot l_{2e3} - c_{1e3} \cdot s_{\theta} \cdot l_{1e3}) \cdot X_2 = 0 \tag{5.248}
\end{aligned}$$

(5.248) denklemi üçüncü egzoz parçasının, ikinci egzoz parçasına bağlı olmadığı durumdaki X_{e3} eksenine göre moment denklemdir. Fakat , modelde üçüncü egzoz parçası ikinci egzoz parçasına yay ve sönüm elemanlarıyla bağlıdır. Bu elemanların yarattığı kuvvetlerin üçüncü egzoz parçasının X_{e3} eksenine göre momentleri (5.248) denklemine eklenirse ikinci egzoz parçasının, birinci ve üçüncü egzoz parçası ile bağlı olduğu durumdaki X_{e3} eksenine göre moment denklemi elde edilir.

$$\begin{aligned}
& J_{e3Y} \ddot{\varphi}_{e3} + (k_{1e3} \cdot l_{1e3} - k_{2e3} \cdot l_{2e3}) \cdot \dot{z}_{e3} + (k_{1e3} \cdot l_{1e3}^2 + k_{2e3} \cdot l_{2e3}^2) \cdot \dot{\varphi}_{e3} \\
& - (k_{2e3} \cdot s_{2e3} \cdot l_{2e3} + k_{1e3} \cdot s_{1e3} \cdot l_{1e3}) \cdot \dot{X}_{e3} + (k_{2e3} \cdot l_{2e3} - k_{1e3} \cdot l_{1e3}) \cdot \dot{z}_2 \\
& + (k_{2e3} \cdot (e_x \cdot l_{2e3} - l_{2e3}^2) - k_{1e3} \cdot (e_x \cdot l_{1e3} + l_{1e3}^2)) \cdot \dot{\varphi}_2 + (k_{2e3} \cdot s_{9e} \cdot l_{2e3} - k_{1e3} \cdot s_{8e} \cdot l_{1e3}) \cdot \dot{X}_2 \\
& + (c_{1e3} \cdot l_{1e3} - c_{2e3} \cdot l_{2e3}) \cdot z_{e3} + (c_{1e3} \cdot l_{1e3}^2 + c_{2e3} \cdot l_{2e3}^2) \cdot \varphi_{e3} \\
& - (c_{2e3} \cdot s_{2e3} \cdot l_{2e3} + c_{1e3} \cdot s_{1e3} \cdot l_{1e3}) \cdot X_{e3} + (c_{2e3} \cdot l_{2e3} - c_{1e3} \cdot l_{1e3}) \cdot z_2 \\
& + (c_{2e3} \cdot (e_x \cdot l_{2e3} - l_{2e3}^2) - c_{1e3} \cdot (e_x \cdot l_{1e3} + l_{1e3}^2)) \cdot \varphi_2 + (c_{2e3} \cdot s_{9e} \cdot l_{2e3} - c_{1e3} \cdot s_{8e} \cdot l_{1e3}) \cdot X_2 \\
& - k_{e2e3} \cdot (\dot{z}_{e3} - l_{3e3} \cdot \dot{\varphi}_{e3} + s_{3e3} \cdot \dot{X}_{e3} - \dot{z}_{e2} - l_{3e2} \cdot \dot{\varphi}_{e2} - s_{3e2} \cdot \dot{X}_{e2}) \cdot l_{3e3} \\
& - c_{e2e3} \cdot (z_{e3} - l_{3e3} \cdot \varphi_{e3} + s_{3e3} \cdot X_{e3} - z_{e2} - l_{3e2} \cdot \varphi_{e2} - s_{3e2} \cdot X_{e2}) \cdot l_{3e3} = 0
\end{aligned} \tag{5.249}$$

(5.249) denklemi düzenlenirse üçüncü egzoz parçasının , ikinci egzoz parçasına bağlı olduğu durumdaki X_{e3} eksenine göre moment denklemi elde edilir.

$$\begin{aligned}
& J_{e3Y} \cdot \ddot{\varphi}_{e3} + (k_{1e3} \cdot l_{1e3} - k_{2e3} \cdot l_{2e3} - k_{e2e3} \cdot l_{3e3}) \cdot \dot{z}_{e3} \\
& + (k_{1e3} \cdot l_{1e3}^2 + k_{2e3} \cdot l_{2e3}^2 + k_{e2e3} \cdot l_{3e3}^2) \cdot \dot{\varphi}_{e3} \\
& - (k_{2e3} \cdot s_{2e3} \cdot l_{2e3} + k_{1e3} \cdot s_{1e3} \cdot l_{1e3} + k_{e2e3} \cdot s_{3e3} \cdot l_{3e3}) \cdot \dot{X}_{e3} + (k_{2e3} \cdot l_{2e3} - k_{1e3} \cdot l_{1e3}) \cdot \dot{z}_2 \\
& + (k_{2e3} \cdot (e_x \cdot l_{2e3} - l_{2e3}^2) - k_{1e3} \cdot (e_x \cdot l_{1e3} + l_{1e3}^2)) \cdot \dot{\varphi}_2 + (k_{2e3} \cdot s_{9e3} \cdot l_{2e3} - k_{1e3} \cdot s_{8e3} \cdot l_{1e3}) \cdot \dot{X}_2 \\
& + k_{e2e3} \cdot l_{3e3} \cdot \dot{z}_{e2} + k_{e2e3} \cdot l_{3e2} \cdot l_{3e3} \cdot \dot{\varphi}_{e2} \\
& + k_{e2e3} \cdot s_{3e2} \cdot l_{3e3} \cdot \dot{X}_{e2} + (c_{1e3} \cdot l_{1e3} - c_{2e3} \cdot l_{2e3} - c_{e2e3} \cdot l_{3e3}) \cdot z_{e3} \\
& + (c_{1e3} \cdot l_{1e3}^2 + c_{2e3} \cdot l_{2e3}^2 + c_{e2e3} \cdot l_{3e3}^2) \cdot \varphi_{e3} \\
& - (c_{2e3} \cdot s_{2e3} \cdot l_{2e3} + c_{1e3} \cdot s_{1e3} \cdot l_{1e3} + c_{e2e3} \cdot s_{3e3} \cdot l_{3e3}) \cdot X_{e3} \\
& + (c_{2e3} \cdot l_{2e3} - c_{1e3} \cdot l_{1e3}) \cdot z_2 + (c_{2e3} \cdot (e_x \cdot l_{2e3} - l_{2e3}^2) - c_{1e3} \cdot (e_x \cdot l_{1e3} + l_{1e3}^2)) \cdot \varphi_2 \\
& + (c_{2e3} \cdot s_{9e3} \cdot l_{2e3} - c_{1e3} \cdot s_{8e3} \cdot l_{1e3}) \cdot X_2 + c_{e2e3} \cdot l_{3e3} \cdot z_{e2} + c_{e2e3} \cdot l_{3e2} \cdot l_{3e3} \cdot \varphi_{e2} \\
& + c_{e2e3} \cdot s_{3e2} \cdot l_{3e3} \cdot X_{e2} = 0 \tag{5.250}
\end{aligned}$$

5.6.3 Üçüncü Egzoz Parçasının Yalpa Moment Denklemi

Üçüncü egzoz parçasına ikinci egzoz parçasından etki eden toplam kuvvetin üçüncü egzoz parçasının Y_{e3} eksenine göre moment denklemi

$$k_{e2e3} \cdot (\dot{z}_{3e3} - \dot{z}_{3e2}) \cdot s_{3e3} + c_{e2e3} \cdot (z_{3e3} - z_{3e2}) \cdot s_{3e3} = 0 \tag{5.251}$$

(5.182) ve (5.226) denklemleri (5.251) denklemine konursa,

$$\begin{aligned}
& + k_{e2e3} \cdot (\dot{z}_{e3} - l_{3e3} \cdot \dot{\varphi}_{e3} + s_{3e3} \cdot \dot{X}_{e3} - \dot{z}_{e2} - l_{3e2} \cdot \dot{\varphi}_{e2} - s_{3e2} \cdot \dot{X}_{e2}) \cdot s_{3e3} \\
& + c_{e2e3} \cdot (z_{e3} - l_{4e3} \cdot \varphi_{e3} + s_{3e3} \cdot X_{e3} - z_{e2} - l_{3e2} \cdot \varphi_{e2} - s_{3e2} \cdot X_{e2}) \cdot s_{3e3} \tag{5.252}
\end{aligned}$$

Üçüncü egzoz parçasının Y_{e3} eksenine göre moment denklemi,

İkinci egzoz parçasının J_{e3X} atalet momenti iki parçaya ayrılırsa,

$$J_{1e3X} + J_{2e3X} = J_{e2X}$$

J_{1e3X} : Üçüncü egzoz parçasının birinci noktasının bulunduğu kısmın Y_{e3} eksenine göre atalet momenti

J_{2e3X} : Üçüncü egzoz parçasının ikinci noktasının bulunduğu kısmın Y_{e3} eksenine göre atalet momenti

Üçüncü egzoz parçasının birinci noktasının bulunduğu kısmın Y_{e3} eksenine göre moment denklemi

$$J_{1e3X} \cdot \ddot{X}_{e3} - k_{1e3}(\dot{Z}_{1e3} - \dot{Z}_{1se3}) \cdot s_{1e3} - c_{1e3}(Z_{1e3} - Z_{1se3}) \cdot s_{1e3} = 0 \quad (5.253)$$

(5.224) ve (5.229) denklemleri (5.253) denklemine konursa,

$$J_{1e3X} \ddot{X}_{e3} - k_{1e3}(\dot{Z}_{e3} + l_{1e3} \cdot \dot{\phi}_{e3} - s_{1e3} \cdot \dot{X}_{e3} - \dot{Z}_2 - (e_x + l_{1e3}) \cdot \dot{\phi}_2 - s_8 \cdot \dot{X}_2) \cdot s_{1e3} - c_{1e3}(Z_{e3} + l_{1e3} \cdot \phi_{e3} - s_{1e3} \cdot X_{e3} - Z_2 - (e_x + l_{1e3}) \cdot \phi_2 - s_8 \cdot X_2) \cdot s_{1e3} = 0 \quad (5.254)$$

Üçüncü egzoz parçasının ikinci noktasının bulunduğu kısmın Y_{e3} eksenine göre moment denklemi

$$J_{2e3X} \cdot \ddot{X}_{e3} + k_{2e3}(\dot{Z}_{2e3} - \dot{Z}_{2se3}) \cdot s_{2e3} + c_{2e3}(Z_{2e3} - Z_{2se3}) \cdot s_{2e3} = 0 \quad (5.255)$$

(5.225) ve (5.230) denklemleri (5.255) denklemine konursa,

$$J_{2e3X} \cdot \ddot{X}_{e3} + k_{2e3}(\dot{Z}_{e3} - l_{2e3} \cdot \dot{\phi}_{e3} + s_{2e3} \cdot \dot{X}_{e3} - \dot{Z}_2 - (e_x - l_{2e3}) \cdot \dot{\phi}_2 - s_9 \cdot \dot{X}_2) \cdot s_{2e3} + c_{2e3}(Z_{e3} - l_{2e3} \cdot \phi_{e3} + s_{2e3} \cdot X_{e3} - Z_2 - (e_x - l_{2e3}) \cdot \phi_2 - s_9 \cdot X_2) \cdot s_{2e3} = 0 \quad (5.256)$$

(5.254) ve (5.256) denklemleri taraf tarafa toplanırsa üçüncü egzoz parçasının Y_{e3} eksenine göre moment denklemi elde edilir.

$$\begin{aligned}
& J_{e3X} \ddot{X}_{e3} + (k_{2e3} \cdot s_{2e3} - k_{1e3} \cdot s_{1e3}) \cdot \dot{Z}_{e3} - (k_{1e3} \cdot s_{1e3} \cdot l_{1e3} + k_{2e3} \cdot s_{2e3} \cdot l_{2e3}) \cdot \dot{\phi}_{e3} \\
& + (k_{1e3} \cdot s_{1e3}^2 + k_{2e3} \cdot s_{2e3}^2) \cdot \dot{X}_{e3} + (k_{1e3} \cdot s_{1e3} - k_{2e3} \cdot s_{2e3}) \cdot \dot{Z}_2 \\
& + (k_{1e3} \cdot (e_x \cdot s_{1e3} + l_{1e3} \cdot s_{1e3}) - k_{2e3} \cdot (e_x \cdot s_{2e3} - l_{2e3} \cdot s_{2e3})) \cdot \dot{\phi}_2 \\
& + (k_{1e3} \cdot s_8 \cdot s_{1e3} - k_{2e3} \cdot s_9 \cdot s_{2e3}) + (c_{2e3} \cdot s_{2e3} - c_{1e3} \cdot s_{1e3}) \cdot Z_{e3} \\
& - (c_{1e3} \cdot s_{1e3} \cdot l_{1e3} + c_{2e3} \cdot s_{2e3} \cdot l_{2e3}) \cdot \phi_{e3} + (c_{1e3} \cdot s_{1e3}^2 + c_{2e3} \cdot s_{2e3}^2) \cdot X_{e3} \\
& + (c_{1e3} \cdot s_{1e3} - c_{2e3} \cdot s_{2e3}) \cdot Z_2 + (c_{1e3} \cdot (e_x \cdot s_{1e3} + l_{1e3} \cdot s_{1e3}) - c_{2e3} \cdot (e_x \cdot s_{2e3} - l_{2e3} \cdot s_{2e3})) \cdot \phi_2 \\
& + (c_{1e3} \cdot s_8 \cdot s_{1e3} - c_{2e3} \cdot s_9 \cdot s_{2e3}) \cdot X_2 = 0 \tag{5.257}
\end{aligned}$$

(5.257) denklemi üçüncü egzoz parçasının , ikinci egzoz parçasına bağlı olmadığı durumdaki Y_{e3} eksenine göre moment denklemdir.

(5.257) denklemine (5.252) denklemi eklenirse üçüncü egzoz parçasının, ikinci egzoz parçasına bağlı olduğu durumdaki Y_{e3} eksenine göre moment denklemi elde edilir.

$$\begin{aligned}
& J_{e3x} \ddot{X}_{e3} + (k_{2e3} \cdot s_{2e3} - k_{1e3} \cdot s_{1e3}) \cdot \dot{Z}_{e3} - (k_{1e3} \cdot s_{1e3} \cdot l_{1e3} + k_{2e3} \cdot s_{2e3} \cdot l_{2e3}) \cdot \dot{\varphi}_{e3} \\
& + (k_{1e3} \cdot s_{1e3}^2 + k_{2e3} \cdot s_{2e3}^2) \cdot \dot{X}_{e3} + (k_{1e3} \cdot s_{1e3} - k_{2e3} \cdot s_{2e3}) \cdot \dot{Z}_2 \\
& + (k_{1e3} \cdot (e_x \cdot s_{1e3} + l_{1e3} \cdot s_{1e3}) - k_{2e3} \cdot (e_x \cdot s_{2e3} - l_{2e3} \cdot s_{2e3})) \cdot \dot{\varphi}_2 \\
& + (k_{1e3} \cdot s_8 \cdot s_{1e3} - k_{2e3} \cdot s_9 \cdot s_{2e3}) \cdot (C_{2e3} \cdot s_{2e3} - C_{1e3} \cdot s_{1e3}) \cdot Z_{e3} \\
& - (C_{1e3} \cdot s_{1e3} \cdot l_{1e3} + C_{2e3} \cdot s_{2e3} \cdot l_{2e3}) \cdot \varphi_{e3} \\
& + (C_{1e3} \cdot s_{1e3}^2 + C_{2e3} \cdot s_{2e3}^2) \cdot X_{e3} + (C_{1e3} \cdot s_{1e3} - C_{2e3} \cdot s_{2e3}) \cdot Z_2 \\
& + (C_{1e3} \cdot (e_x \cdot s_{1e3} + l_{1e3} \cdot s_{1e3}) - C_{2e3} \cdot (e_x \cdot s_{2e3} - l_{2e3} \cdot s_{2e3})) \cdot \varphi_2 \\
& + (C_{1e3} \cdot s_8 \cdot s_{1e3} - C_{2e3} \cdot s_9 \cdot s_{2e3}) \cdot X_2 \\
& + k_{e2e3} \cdot (\dot{Z}_{e3} - l_{3e3} \cdot \dot{\varphi}_{e3} + s_{3e3} \cdot \dot{X}_{e3} - \dot{Z}_{e2} - l_{3e2} \cdot \dot{\varphi}_{e2} - s_{3e2} \cdot \dot{X}_{e2}) \cdot s_{3e3} \\
& + C_{e2e3} \cdot (Z_{e3} - l_{3e3} \cdot \varphi_{e3} + s_{3e3} \cdot X_{e3} - Z_{e2} - l_{3e2} \cdot \varphi_{e2} - s_{3e2} \cdot X_{e2}) \cdot s_{3e3} = 0 \quad (5.258)
\end{aligned}$$

(5.258) denklemi düzenlenirse üçüncü egzoz parçasının, ikinci egzoz parçasına bağlı olduğu durumdaki Y_{e3} eksenine göre moment denklemi elde edilir.

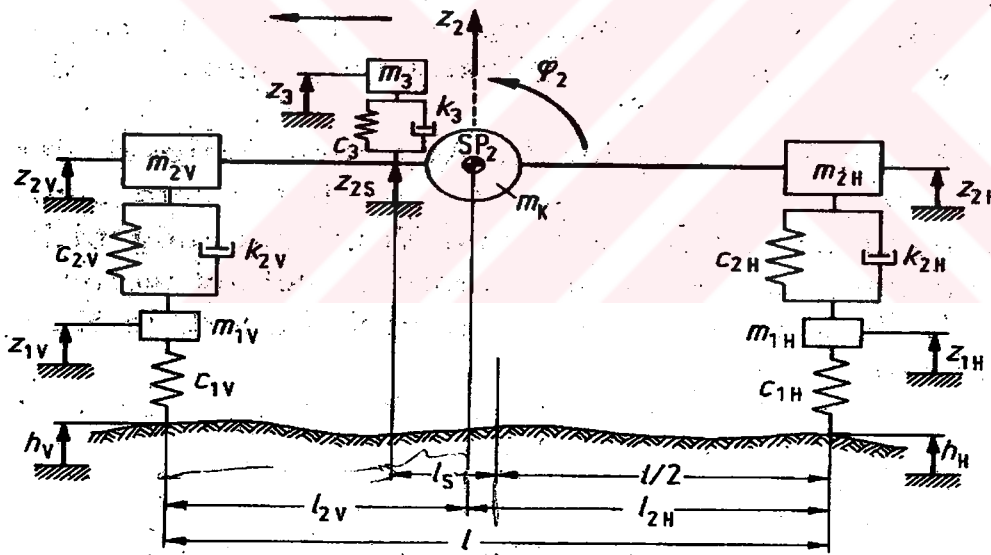
$$\begin{aligned}
& J_{e3x} \ddot{X}_{e3} + (k_{2e3} \cdot s_{2e3} - k_{1e3} \cdot s_{1e3} + k_{e2e3} \cdot s_{3e3}) \cdot \dot{Z}_{e3} - (k_{1e3} \cdot s_{1e3} \cdot l_{1e3} + k_{2e3} \cdot s_{2e3} \cdot l_{2e3}) \cdot \dot{\phi}_{e3} \\
& + (k_{1e3} \cdot s_{1e3}^2 + k_{2e3} \cdot s_{2e3}^2 + k_{e2e3} \cdot s_{3e3}^2) \cdot \dot{X}_{e3} + (k_{1e3} \cdot s_{1e3} - k_{2e3} \cdot s_{2e3}) \cdot \dot{Z}_2 \\
& + (k_{1e3} \cdot (e_x \cdot s_{1e3} + l_{1e3} \cdot s_{1e3}) - k_{2e3} \cdot (e_x \cdot s_{2e3} - l_{2e3} \cdot s_{2e3})) \cdot \dot{\phi}_2 \\
& + (k_{1e3} \cdot s_8 \cdot s_{1e3} - k_{2e3} \cdot s_9 \cdot s_{2e3}) \cdot \dot{X}_2 - k_{e2e3} \cdot s_{3e3} \cdot \dot{Z}_{e2} - k_{e2e3} \cdot l_{3e2} \cdot s_{3e3} \cdot \dot{\phi}_{e2} \\
& - k_{e2e3} \cdot s_{3e2} \cdot s_{3e3} \cdot \dot{X}_{e2} \\
& + (c_{2e3} \cdot s_{2e3} - c_{3e3} \cdot s_{1e3} + c_{e2e3} \cdot s_{3e3}) \cdot Z_{e3} \\
& - (c_{1e3} \cdot s_{1e3} \cdot l_{1e3} + c_{2e3} \cdot s_{2e3} \cdot l_{2e3} + c_{e2e3} \cdot s_{3e3} \cdot l_{3e3}) \cdot \phi_{e3} \\
& + (c_{1e3} \cdot s_{1e3}^2 + c_{2e3} \cdot s_{2e3}^2 + c_{e2e3} \cdot s_{3e3}^2) \cdot X_{e3} + (c_{1e3} \cdot s_{1e3} - c_{2e3} \cdot s_{2e3}) \cdot Z_2 \\
& + (c_{1e3} \cdot (e_x \cdot s_{1e3} + l_{1e3} \cdot s_{1e3}) - c_{2e3} \cdot (e_x \cdot s_{2e3} - l_{2e3} \cdot s_{2e3})) \cdot \phi_2 \\
& + (c_{1e3} \cdot s_8 \cdot s_{1e3} - c_{2e3} \cdot s_9 \cdot s_{2e3}) \cdot X_2 - c_{e2e3} \cdot s_{3e3} \cdot Z_{e2} - c_{e2e3} \cdot l_{3e2} \cdot s_{3e3} \cdot \phi_{e2} \\
& - c_{e2e3} \cdot s_{3e2} \cdot s_{3e3} \cdot X_{e2} = 0
\end{aligned} \tag{5.259}$$

6 SONUÇLAR VE TAŞTIRMA

Üç boyutlu egzoz titreşim modeline ait hareket ve moment denklemleri çıkarıldıktan sonra modele ait denklemlerin terimlerinden kütle, yay ve sönüm matrisleri oluşturularak denklemler MatLab ortamında çözdürülmüştür. Üç boyutlu egzoz titreşim modelinin doğruluğunu kontrol etmek için model ilk önce literatürdeki modelle daha sonra tek izli iki boyutlu taşıt titreşim modeli ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalardan sonra model ile ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır.

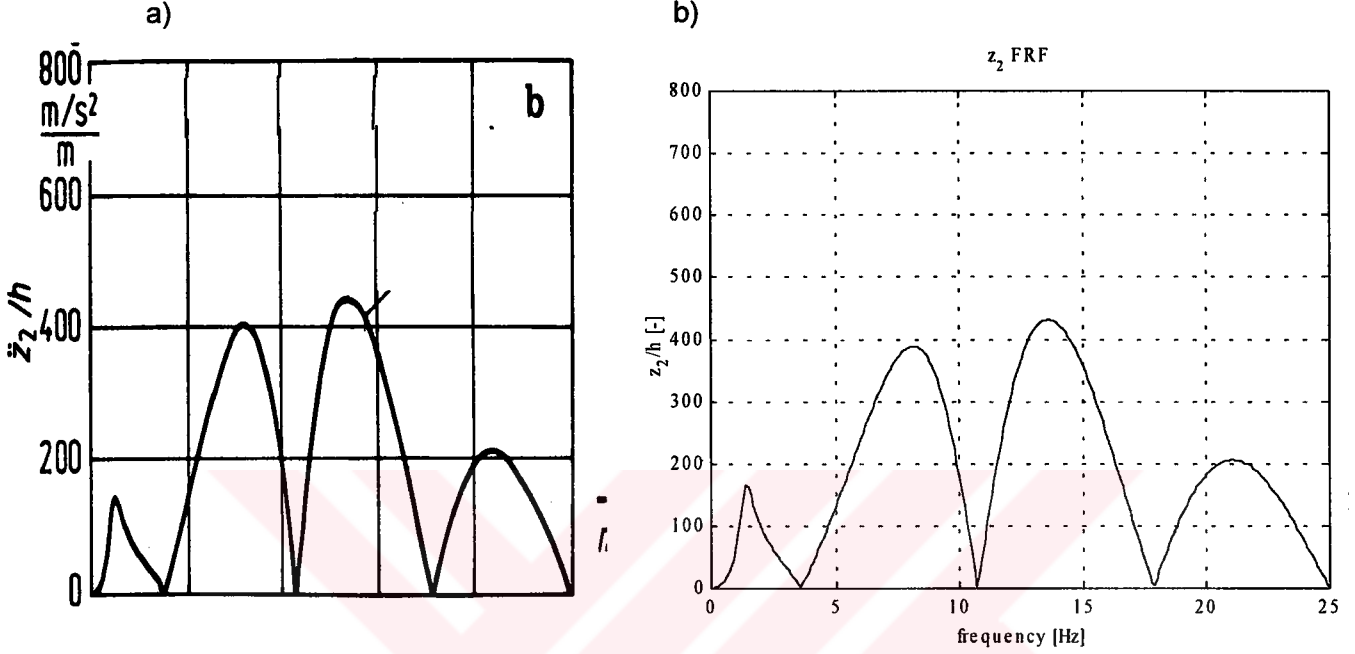
6.1 LİTERATÜRDEKİ MODELLE İLE YAPILAN KARŞILAŞTIRMA

Literatürdeki modele ait taşıt ağırlık merkezinin ivme transfer fonksiyonun frekansa karşı olan grafiği ile üç boyutlu egzoz titreşim modeline ait taşıt ağırlık merkezinin ivme transfer fonksiyonun frekansa karşı olan grafiği karşılaştırılmıştır. Şekil 6.1'de



Şekil 6.1 Literatürdeki model

Şekil 6.2'de literatürdeki ve üç boyutlu egzoz titreşim modeline ait taşıt ağırlık merkezinin ivme transfer fonksiyonun frekansa karşı olan grafikleri görülmektedir.

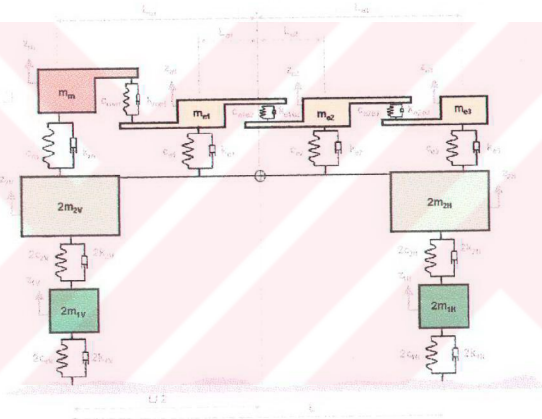


Şekil 6.2 Literatürdeki modelle yapılan karşılaştırma

- a) Literatürdeki modele ait taşıt ağırlık merkezinin ivme transfer fonksiyonun frekansa karşı grafiği
- b) Üç boyutlu egzoz titreşim modeline ait taşıt ağırlık merkezinin ivme transfer fonksiyonun frekansa karşı grafiği

6.2 TEK İZLİ İKİ BOYUTLU TAŞIT TİTREŞİM MODELİ İLE YAPILAN KARŞILAŞTIRMA

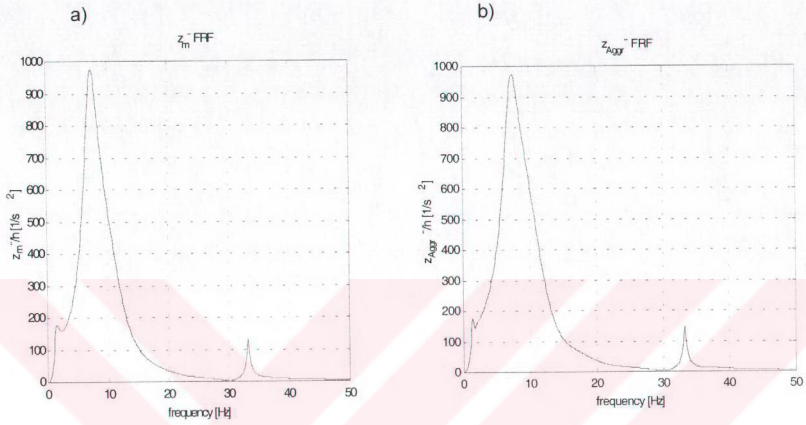
Literatürdeki model ile yapılan karşılaştırmadan sonra üç boyutlu titreşim modeli tek izli iki boyutlu titreşim modeli ile karşılaştırılmıştır. Şekil 6.2'de tek izli iki boyutlu titreşim modeli görülmektedir.



Şekil 6.3 Tek izli iki boyutlu taşıt titreşim modeli

Şekil 6.3'de görülen tek izli iki boyutlu titreşim modeli üç boyutlu egzoz titreşim modeli arasında boyut farkından başka tek fark tek izli iki boyutlu taşıt titreşim modelinde bulunan kuplaj kütlesidir. Kuplaj kütlesinin görevi taşıtın ön tarafı ile arka tarafının aynı etkiye maruz kalmasını sağlamaktır.

Şekil 6.4'de tek izli iki boyutlu taşıt titreşim modeline ve üç boyutlu taşıt titreşim modeline ait motorun ağırlık merkezinin ivme transfer fonksiyonunun frekansa karşı olan grafikleri görülmektedir.



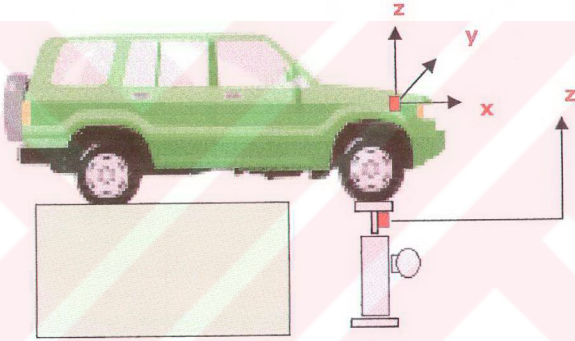
Şekil 6.4 Tek izli iki boyutlu taşıt titreşim modeli ile yapılan karşılaştırma

- Tek izli iki boyutlu taşıt titreşim modeline ait motorun ağırlık merkezinin ivme transfer fonksiyonunun frekansa karşı grafiği
- Üç boyutlu taşıt titreşim modeline ait motorun ağırlık merkezinin ivme transfer fonksiyonunun frekansa karşı grafiği

6.3 ÖLÇÜM SONUÇLARI İLE YAPILAN KARŞILAŞTIRMA

Ölçümlerde taşıta sağ tekerinden uyarı verilmiştir. Üç boyutlu modelinin ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması için modelin hareket ve moment denklemlerini çözen ve modele ait grafikleri veren MatLab ortamında yazılmış programda sadece sağ teker uyarısına değer verilmiş diğer teker uyarıları sıfır değerinde alınmıştır.

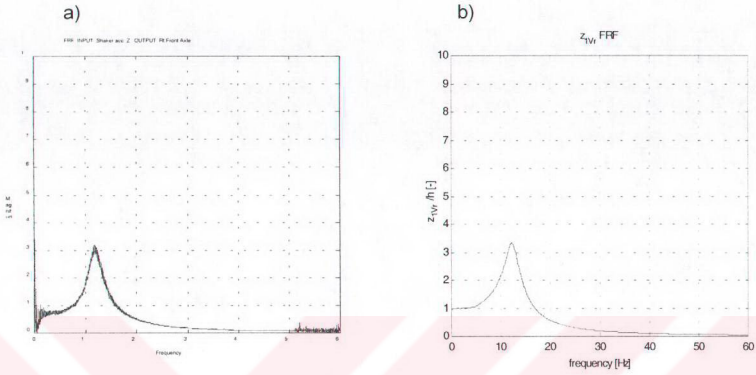
Motor ve egzoz sistemi taşıt gövdesine sadece düşey yönde bağlı olmadıkları için taşıta sağ tekerinden verilen uyarıya motor ve egzoz sistemi sadece düşey yönde cevap vermemektedirler. Bu durum Şekil 6.5'de görülmektedir. Burada uyarı z yönünde verilmekte cevap z,x ve y yönlerinde elde edilmektedir.



Şekil 6.5 Taşıta uyarı verilmesi

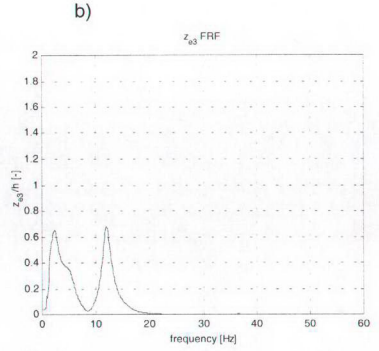
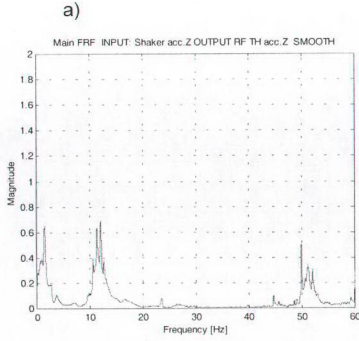
Üç boyutlu titreşim modelinde motor ve egzoz parçaları gövdeye sadece düşey yönde bağlı oldukları için uyarılara da sadece düşey yönde cevap vermektedirler. Bu yüzden ölçüm sonuçları ile yapılan karşılaştırmada düşey yönde (z) yönünde elde edilen grafikler dikkate alınmıştır.

Şekil 6.6 , 6.7, 6.8 ve 6.9'da üç boyutlu egzoz titreşim modeli ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması görülmektedir.



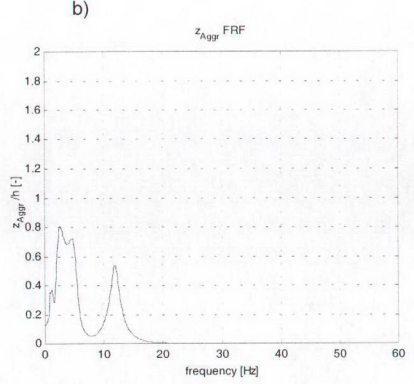
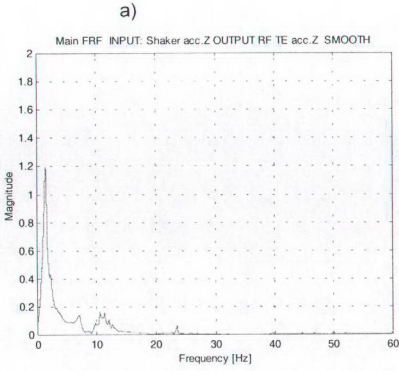
Şekil 6.6 Ölçüm sonuçları ile üç boyutlu modelin karşılaştırılması
(Ön sağ aks)

- Ölçümlerden elde edilen ön sağ aks yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansa karşı grafiği
- Üç boyutlu egzoz titreşim modeline ait ön sağ aks yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansa karşı grafiği



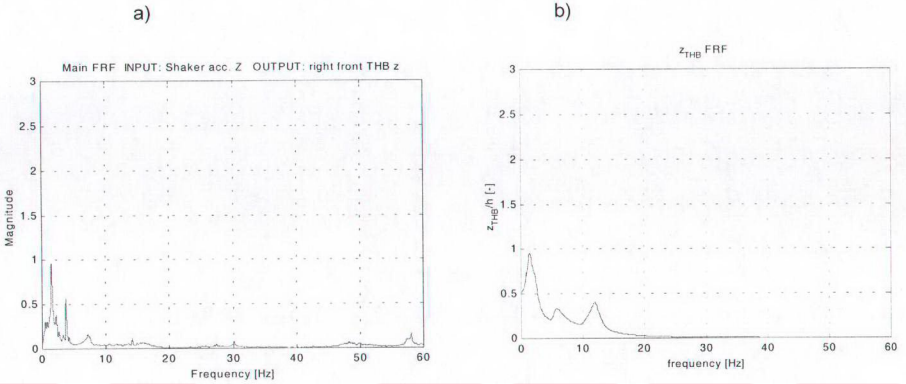
Şekil 6.7 Ölçüm sonuçları ile üç boyutlu modelin karşılaştırılması
(Üçüncü egzoz parçası)

- a) Ölçümlerde elde edilen üçüncü egzoz parçasının yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansa karşı grafiği
- b) Üç boyutlu egzoz titreşim modeline ait üçüncü egzoz parçasının yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansa karşı grafiği



Şekil 6.8 Ölçüm sonuçları ile üç boyutlu modelin karşılaştırılması
(Motor)

- Ölçümlerden elde edilen motorun yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansa karşı grafiği
- Üç boyutlu egzoz titreşim modeline ait motorun yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansa karşı grafiği



Şekil 6.9 Ölçüm sonuçları ile üç boyutlu modelin karşılaştırılması
(Üçüncü egzoz parçasının gövdeye bağlantı noktası)

- Ölçümlerden elde edilen üçüncü egzoz parçasını gövdeye bağlayan noktanın yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansa karşı grafiği
- Üç boyutlu egzoz titreşim modeline ait üçüncü egzoz parçasını gövdeye bağlayan noktanın yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansa karşı grafiği

Şekil 6.5'den görüldüğü gibi laboratuvarıda yapılan ölçümlerde taşıta verilen z yönündeki uyarılara taşıt sadece z yönünde değil, x ve y yönünde de cevap vermektedir. Bunun sebebi taşıt üzerinde bulunan motorun ve egzoz parçalarının taşıt gövdesine ve birbirlerine sadece z yönündeki yay ve sönüm elemanları ile değil x ve y yönündeki yay ve sönüm elemanları ile bağlanmasıdır. Fakat üç boyutlu egzoz titreşim modeline motor ve egzoz parçaları birbirlerine ve taşıt gövdesine sadece z yönünde bağlıdır. Motorun ve egzoz parçalarının birbirlerine ve taşıt gövdesine z , x ve y yönünde yaylar ile bağlanacağı üç boyutlu bir egzoz titreşim modeli ile ölçüm sonuçlarına daha fazla yaklaşılabılır.

KAYNAKLAR

- [1] **Ashmore, S.C and Hodges, H. C. Jr.,** 1992. Dynamic Force Measurement Vehicle (DFMV) and Its Application to Measuring and Monitoring Road Road Roughness, pp. 14-31, Vehicle, Tire, Pavement Interface, ASTM STP 1164, J.J. Henry and J.C. Wambold, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- [2] **Garofalo, M , Rogers, P.,** October 1999. Vibration Time History Testing Sound and Vibration Dynamic Testing Reference Issue.
- [3] **Grubisic Vatroslav, Rupp Andreas.,** Development of a Multi-Component Wheel Force Transducer – A tool to Support Vehicle Design and Validation SAE Technical Paper Series 930258.
- [4] **Güney, Ahmet.,** Taşıt Titreşim Notları.
- [5] **Meldrum, J.,** February 23-26, 1998. Convergence of Laboratory Simulation Test Systems International Congress and Exposition, Detroit, Michigan. SAE Technical Paper Series 981018.
- [6] **Mitschke, M.,** 1997. Dynamic der Kraftfahrzeuge: Band B Schwingungen 3. Auflage, Springer Verlag.
- [7] **Rudolph R. Hegman.,** 1992. Some Results from Ongoing Research on Road Roughness Vehicle, Tire, Pavement Interface, pp. 14-31, ASTM STP 1164, J.J. Henry and J.C. Wambold, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- [8] **Weiblen Walter, Oelmann Bernd, Kirstatter Klaus.,** How to Generate Load Profiles Out of Road Profiles?, SAE Technical Paper Series 981018.
- [9] **Weiblen Walter.,** Integrated Vehicle Weight Optimization and Endurance Validation Process Based on Wheel Force, SAE Technical Paper Series 981017.

EK A

ÜÇ BOYUTLU EGZOZ TİTREŞİM MODELİNE AİT MATRİSLER

$$M.\ddot{Z} + K.\dot{Z} + C.Z = R.h$$

$$[M]_{21 \times 21} \cdot [\ddot{Z}]_{21 \times 1} + [K]_{21 \times 21} \cdot [\dot{Z}]_{21 \times 1} + [C]_{21 \times 21} [Z]_{21 \times 1} = [R]_{21 \times 6} [h]_{6 \times 1}$$

Kütle, yay ve sönüm matrislerinde gösterilmeyen elemanların değerleri sıfıra eşittir.

Kütle Matrisi

$$[M]_{21 \times 21}$$

$$M(1,1) = m_{22}$$

$$M(1,2) = m_M$$

$$M(1,3) = m_{e1}$$

$$M(1,4) = m_{e2}$$

$$M(1,5) = m_{e3}$$

$$M(2,2) = m_M$$

$$M(3,3) = m_{e1}$$

$$M(4,4) = m_{e2}$$

$$M(5,5) = m_{e3}$$

$$M(6,6) = m_{1Vr}$$

$$M(7,7) = m_{1Vl}$$

$$M(8,8) = m_{1Hr}$$

$$M(9,9) = m_{1Hl}$$

$$M(10,2) = m_M \cdot b_x$$

$$M(10,3) = -m_{e1} \cdot c_x$$

$$M(10,4) = m_{e2} \cdot d_x$$

$$M(10,5) = m_{e3} \cdot e_x$$

$$M(10,8) = J_{2Y}$$

$$M(11,11) = J_{MY}$$

$$M(12,12) = J_{e1Y}$$

$$M(13,13) = J_{e2Y}$$

$$M(14,14) = J_{e3Y}$$

$$M(15,2) = m_M * s_M$$

$$M(15,3) = m_{e1} * s_{e1}$$

$$M(15,4) = m_{e2} * s_{e2}$$

$$M(15,5) = m_{e3} * s_{e3}$$

$$M(15,15) = J_{2X}$$

$$M(16,16) = J_{MX}$$

$$M(17,17) = J_{e1X}$$

$$M(18,18) = J_{e2X}$$

$$M(19,19) = J_{e3X}$$

$$M(20,20) = m_{1V} * (s/2)^2$$

$$M(21,21) = m_{1H} * (s/2)^2$$

Sönüm Matrisi

$$[K]_{21 \times 21}$$

$$K(1,1) = 2 * k_{2V} + 2 * k_{2H}$$

$$K(1,6) = -k_{2V}$$

$$K(1,7) = -k_{2V}$$

$$K(1,8) = -k_{2H}$$

$$K(1,9) = -k_{2H}$$

$$K(1,10) = - (2 * k_{2V} * L_{2V} - 2 * k_{2H} * L_{2H})$$

$$K(2,1) = - (k_{M1} + k_{M2} + k_{M3} + k_{me1})$$

$$K(2,2) = (k_{M1} + k_{M2} + k_{M3} + k_{me1})$$

$$K(2,3) = -k_{me1}$$

$$K(2,10) = (k_{M1} * (b_x - l_1) + k_{M2} * (b_x + l_2) + k_{M3} * (b_x - l_3))$$

$$K(2,11) = (k_{M1} * l_1 - k_{M2} * l_2 + k_{M3} * l_3 + k_{me1} * l_4)$$

$$K(2,12) = k_{me1} * l_{4e1}$$

$$K(2,15) = (k_{M1} * s_1 - k_{M2} * s_2 - k_{M3} * s_3)$$

$$K(2,16) = (k_{M3} * s_{M3} - k_{M2} * s_{M2} - k_{M1} * s_{M1} + k_{me1} * s_{M4})$$

$$K(2,17) = k_{me1} * s_{4e1}$$

$$K(3,1) = - (k_{1e1} + k_{2e1})$$

$$K(3,2) = -k_{me1}$$

$$K(3,3) = (k_{1e1} + k_{2e1} + k_{e1e2} + k_{me1})$$

$$K(3,4) = -k_{e1e2}$$

$$K(3,10) = (k_{1e1} * (c_x - l_{1e1}) + k_{2e1} * (c_x + l_{2e1}))$$

$$K(3,11) = -k_{me1} * l_4$$

$$\begin{aligned}
K(3,12) &= (k_{1e1} * l_{1e1} - k_{2e1} * l_{2e1} + k_{e1e2} * l_{3e1} - k_{me1} * l_{4e1}) \\
K(3,13) &= k_{e1e2} * l_{4e2} \\
K(3,15) &= - (k_{1e1} * s_4 + k_{2e1} * s_5) \\
K(3,16) &= - k_{me1} * s_{M4} \\
K(3,17) &= (k_{2e1} * s_{2e1} - k_{1e1} * s_{1e1} + k_{e1e2} * s_{3e1} - k_{me1} * s_{4e1}) \\
K(3,18) &= - k_{e1e2} * s_{4e2} \\
K(4,1) &= - (k_{1e2} + k_{2e2}) \\
K(4,3) &= - k_{e1e2} \\
K(4,4) &= (k_{1e2} + k_{2e2} + k_{e1e2} + k_{e2e3}) \\
K(4,5) &= - k_{e2e3} \\
K(4,10) &= -(k_{1e2} * (d_x + l_{1e2}) + k_{2e2} * (d_x - l_{2e2})) \\
K(4,12) &= - k_{e1e2} * l_{3e1} \\
K(4,13) &= (k_{1e2} * l_{1e2} - k_{2e2} * l_{2e2} - k_{e1e2} * l_{4e2} + k_{e2e3} * l_{3e2}) \\
K(4,14) &= k_{e2e3} * l_{4e3} \\
K(4,15) &= - (k_{1e2} * s_6 + k_{2e2} * s_7) \\
K(4,17) &= - k_{e1e2} * s_{3e1} \\
K(4,18) &= (k_{2e2} * s_{2e2} - k_{1e2} * s_{1e2} + k_{e1e2} * s_{4e2} + k_{e2e3} * s_{3e2}) \\
K(4,19) &= - k_{e2e3} * s_{3e3} \\
K(5,1) &= - (k_{1e3} + k_{2e3}) \\
K(5,4) &= - k_{e2e3} \\
K(5,5) &= (k_{1e3} + k_{2e3} + k_{e2e3}) \\
K(5,10) &= - (k_{1e3} * (e_x + l_{1e3}) + k_{2e3} * (e_x - l_{2e3})) \\
K(5,13) &= - k_{e2e3} * l_{3e2} \\
K(5,14) &= (k_{1e3} * l_{1e3} - k_{2e3} * l_{2e3} - k_{e2e3} * l_{3e3}) \\
K(5,15) &= - (k_{1e3} * s_8 + k_{2e3} * s_9) \\
K(5,18) &= - k_{e2e3} * s_{3e2} \\
K(5,19) &= (k_{2e3} * s_{2e3} - k_{1e3} * s_{1e3} + k_{e2e3} * s_{3e3}) \\
K(6,1) &= - k_{2V} \\
K(6,6) &= k_{2V} \\
K(6,10) &= k_{2V} * L_{2V} \\
K(6,15) &= k_{2V} * (s/2); \\
K(7,1) &= - k_{2V} \\
K(7,7) &= k_{2V} \\
K(7,10) &= k_{2V} * L_{2V} \\
K(7,15) &= - k_{2V} * (s/2) \\
K(8,1) &= - k_{2H} \\
K(8,8) &= k_{2H}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K(8,10) &= -k_{2H} * L_{2H} \\
K(8,15) &= k_{2H} * (s/2) \\
K(9,1) &= -k_{2H} \\
K(9,9) &= k_{2H} \\
K(9,10) &= -k_{2H} * L_{2H} \\
K(9,15) &= -k_{2H} * (s/2) \\
K(10,1) &= -(2 * k_{2V} * L_{2V} - 2 * k_{2H} * L_{2H}) \\
K(10,6) &= k_{2V} * L_{2V} \\
K(10,7) &= k_{2V} * L_{2V} \\
K(10,8) &= -k_{2H} * L_{2H} \\
K(10,9) &= -k_{2H} * L_{2H} \\
K(10,10) &= (2 * k_{2V} * L_{2V}^2 + 2 * k_{2H} * L_{2H}^2) \\
K(11,1) &= -(k_{M1} * l_1 - k_{M2} * l_2 + k_{M3} * l_3) \\
K(11,2) &= (k_{M1} * l_1 - k_{M2} * l_2 + k_{M3} * l_3 + k_{me1} * l_4) \\
K(11,3) &= -k_{me1} * l_4 \\
K(11,10) &= (k_{M1} * (b_x * l_1 - l_1^2) - k_{M2} * (b_x * l_2 + l_2^2) + k_{M3} * (b_x * l_3 - l_3^2)) \\
K(11,11) &= (k_{M1} * l_1^2 + k_{M2} * l_2^2 + k_{M3} * l_3^2 + k_{me1} * l_4^2) \\
K(11,12) &= k_{me1} * l_{4e1} * l_4 \\
K(11,15) &= (k_{M1} * s_1 * l_1 + k_{M2} * s_2 * l_2 - k_{M3} * s_3 * l_3) \\
K(11,16) &= (k_{M2} * s_{M2} * l_2 - k_{M1} * s_{M1} * l_1 + k_{M3} * s_{M3} * l_3 + k_{me1} * s_{M4} * l_4) \\
K(11,17) &= k_{me1} * s_{4e1} * l_4 \\
K(12,1) &= (k_{2e1} * l_{2e1} - k_{1e1} * l_{1e1}) \\
K(12,2) &= k_{me1} * l_{4e1} \\
K(12,3) &= (k_{1e1} * l_{1e1} - k_{2e1} * l_{2e1} + k_{e1e2} * l_{3e1} - k_{me1} * l_{4e1}) \\
K(12,4) &= -k_{e1e2} * l_{3e1} \\
K(12,10) &= (k_{1e1} * (c_x * l_{1e1} - l_{1e1}^2) - k_{2e1} * (c_x * l_{2e1} + l_{2e1}^2)) \\
K(12,11) &= k_{me1} * l_4 * l_{4e1} \\
K(12,12) &= (k_{1e1} * l_{1e1}^2 + k_{2e1} * l_{2e1}^2 + k_{e1e2} * l_{3e1}^2 + k_{me1} * l_{4e1}^2) \\
K(12,13) &= k_{e1e2} * l_{4e2} * l_{3e1} \\
K(12,15) &= (k_{2e1} * s_5 * l_{2e1} - k_{1e1} * s_4 * l_{1e1}) \\
K(12,16) &= k_{me1} * s_{M4} * l_{4e1} \\
K(12,17) &= -(k_{2e1} * s_{2e1} * l_{2e1} + k_{1e1} * s_{1e1} * l_{1e1} - k_{e1e2} * s_{3e1} * l_{3e1} - k_{me1} * s_{4e1} * l_{4e1}) \\
K(12,18) &= -k_{e1e2} * s_{4e2} * l_{3e1} \\
K(13,1) &= (k_{2e2} * l_{2e2} - k_{1e2} * l_{1e2}) \\
K(13,3) &= k_{e1e2} * l_{4e2} \\
K(13,4) &= (k_{1e2} * l_{1e2} - k_{2e2} * l_{2e2} - k_{e1e2} * l_{4e2} + k_{e2e3} * l_{3e2}) \\
K(13,5) &= -k_{e2e3} * l_{3e2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K(13,10) &= (k_{2e2}*(d_x*l_{2e2}-l_{2e2}^2)-k_{1e2}*(d_x*l_{1e2}+l_{1e2}^2)) \\
K(13,12) &= k_{e1e2}*l_{4e2}*l_{3e1} \\
K(13,13) &= (k_{1e2}*l_{1e2}^2+k_{2e2}*l_{2e2}^2+k_{e1e2}*l_{4e2}^2+k_{e2e3}*l_{3e2}^2) \\
K(13,14) &= k_{e2e3}*l_{3e2}*l_{4e3} \\
K(13,15) &= (k_{2e2}*s_7*l_{2e2}-k_{1e2}*s_6*l_{1e2}) \\
K(13,17) &= k_{e1e2}*l_{4e2}*s_{3e1} \\
K(13,18) &= -(k_{2e2}*s_{2e2}*l_{2e2}+k_{1e2}*s_{1e2}*l_{1e2}+k_{e1e2}*s_{4e2}*l_{4e2}-k_{e2e3}*s_{3e2}*l_{3e2}) \\
K(13,19) &= -k_{e2e3}*l_{3e2}*s_{3e3} \\
K(14,1) &= (k_{2e3}*l_{2e3}-k_{1e3}*l_{1e3}) \\
K(14,4) &= k_{e2e3}*l_{4e3} \\
K(14,5) &= (k_{1e3}*l_{1e3}-k_{2e3}*l_{2e3}-k_{e2e3}*l_{3e3}) \\
K(14,10) &= (k_{2e3}*(e_x*l_{2e3}-l_{2e3}^2)-k_{1e3}*(e_x*l_{1e3}+l_{1e3}^2)) \\
K(14,13) &= k_{e2e3}*l_{3e2}*l_{3e3} \\
K(14,14) &= (k_{1e3}*l_{1e3}^2+k_{2e3}*l_{2e3}^2+k_{e2e3}*l_{3e3}^2) \\
K(14,15) &= (k_{2e3}*s_9*l_{2e3}-k_{1e3}*s_8*l_{1e3}) \\
K(14,18) &= k_{e2e3}*l_{3e3}*s_{3e2} \\
K(14,19) &= (k_{2e3}*s_{2e3}*l_{2e3}+k_{1e3}*s_{1e3}*l_{1e3}+k_{e2e3}*s_{3e3}*l_{3e3}) \\
K(15,15) &= 2*(s/2)^2*(k_{2V}+k_{2H}) \\
K(15,20) &= -2*(s/2)^2*k_{2V} \\
K(15,21) &= -2*(s/2)^2*k_{2H} \\
K(16,1) &= (k_{M1}*s_{M1}+k_{M2}*s_{M2}-k_{M3}*s_{M3}) \\
K(16,2) &= (k_{M3}*s_{M3}-k_{M2}*s_{M2}-k_{M1}*s_{M1}+k_{me1}*s_{M4}) \\
K(16,3) &= -k_{me1}*s_{M4} \\
K(16,10) &= (k_{M3}*(b_x-l_3)*s_{M3}-k_{M2}*(b_x+l_2)*s_{M2}-k_{M1}*(b_x-l_1)*s_{M1}) \\
K(16,11) &= (k_{M3}*l_3*s_{M3}+k_{M2}*l_2*s_{M2}-k_{M1}*l_1*s_{M1}+k_{me1}*l_4*s_{M4}) \\
K(16,12) &= k_{me1}*l_{4e1}*s_{M4} \\
K(16,15) &= (k_{M2}*s_2*s_{M2}-k_{M1}*s_1*s_{M1}-k_{M3}*s_3*s_{M3}) \\
K(16,16) &= (k_{M1}*s_{M1}^2+k_{M2}*s_{M2}^2+k_{M3}*s_{M3}^2+k_{me1}*s_{M4}^2) \\
K(16,17) &= k_{me1}*s_{4e1}*s_{M4} \\
K(17,1) &= (k_{1e1}*s_{1e1}-k_{2e1}*s_{2e1}) \\
K(17,2) &= k_{me1}*s_{4e1} \\
K(17,3) &= (k_{2e1}*s_{2e1}-k_{1e1}*s_{1e1}+k_{e1e2}*s_{3e1}-k_{me1}*s_{4e1}) \\
K(17,4) &= -k_{e1e2}*s_{3e1} \\
K(17,10) &= (k_{2e1}*(c_x*s_{2e1}+l_{2e1}*s_{2e1})-k_{1e1}*(c_x*s_{1e1}-l_{1e1}*s_{1e1})) \\
K(17,11) &= k_{me1}*l_4*s_{4e1} \\
K(17,12) &= -(k_{1e1}*s_{1e1}*l_{1e1}+k_{2e1}*s_{2e1}*l_{2e1}-k_{e1e2}*s_{3e1}*l_{3e1}-k_{me1}*s_{4e1}*l_{4e1}) \\
K(17,13) &= k_{e1e2}*l_{4e2}*s_{3e1}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K(17,15) &= (k_{1e1} * s_4 * s_{1e1} - k_{2e1} * s_5 * s_{2e1}) \\
K(17,16) &= k_{me1} * s_{M4} * s_{4e1} \\
K(17,17) &= (k_{1e1} * s_{1e1}^2 + k_{2e1} * s_{2e1}^2 + k_{e1e2} * s_{3e1}^2 + k_{me1} * s_{4e1}^2) \\
K(17,18) &= - k_{e1e2} * s_{4e2} * s_{3e1} \\
K(18,1) &= (k_{1e2} * s_{1e2} - k_{2e2} * s_{2e2}) \\
K(18,3) &= - k_{e1e2} * s_{4e2} \\
K(18,4) &= (k_{2e2} * s_{2e2} - k_{1e2} * s_{1e2} + k_{e1e2} * s_{4e2} + k_{e2e3} * s_{3e2}) \\
K(18,5) &= - k_{e2e3} * s_{4e2} \\
K(18,10) &= (k_{1e2} * (d_x * s_{1e2} + l_{1e2} * s_{1e2}) - k_{2e2} * (d_x * s_{2e2} - l_{2e2} * s_{2e2})) \\
K(18,12) &= - k_{e1e2} * s_{4e2} * l_{3e1} \\
K(18,13) &= - (k_{1e2} * s_{2e2} * l_{1e2} + k_{2e2} * s_{2e2} * l_{2e2} + k_{e1e2} * s_{4e2} * l_{4e2} - k_{e2e3} * s_{3e2} * l_{3e2}) \\
K(18,14) &= k_{e2e3} * s_{3e2} * l_{4e3} \\
K(18,15) &= (k_{1e2} * s_6 * s_{1e2} - k_{2e2} * s_7 * s_{2e2}) \\
K(18,17) &= - k_{e1e2} * s_{4e2} * s_{3e1} \\
K(18,18) &= (k_{1e2} * s_{1e2}^2 + k_{2e2} * s_{2e2}^2 + k_{e1e2} * s_{4e2}^2 + k_{e2e3} * s_{3e2}^2) \\
K(18,19) &= - k_{e2e3} * s_{3e2} * s_{3e3} \\
K(19,1) &= (k_{1e3} * s_{1e3} - k_{2e3} * s_{2e3}) \\
K(19,4) &= - k_{e2e3} * s_{3e3} \\
K(19,5) &= (k_{2e3} * s_{2e3} - k_{1e3} * s_{1e3} + k_{e2e3} * s_{3e3}) \\
K(19,10) &= (k_{1e3} * (e_x * s_{1e3} + l_{1e3} * s_{1e3}) - k_{2e3} * (e_x * s_{2e3} - l_{2e3} * s_{2e3})) \\
K(19,13) &= - k_{e2e3} * l_{3e2} * s_{3e3} \\
K(19,14) &= - (k_{1e3} * s_{1e3} * l_{1e3} + k_{2e3} * s_{2e3} * l_{2e3} + k_{e2e3} * s_{3e3} * l_{3e3}) \\
K(19,15) &= (k_{1e3} * s_8 * s_{1e3} - k_{2e3} * s_9 * s_{2e3}) \\
K(19,18) &= - k_{e2e3} * s_{3e2} * s_{3e3} \\
K(19,19) &= (k_{1e3} * s_{1e3}^2 + k_{2e3} * s_{2e3}^2 + k_{e2e3} * s_{3e3}^2) \\
K(20,15) &= - 2 * k_{2V} * (s/2)^2 \\
K(20,20) &= 2 * k_{2V} * (s/2)^2 \\
K(21,15) &= - 2 * k_{2H} * (s/2)^2 \\
K(21,21) &= 2 * k_{2H} * (s/2)^2
\end{aligned}$$

Yay Matrisi

$$[C]_{21 \times 21}$$

$$C(1,1) = 2 \cdot C_{2V} + 2 \cdot C_{2H}$$

$$C(1,6) = -C_{2V}$$

$$C(1,7) = -C_{2V}$$

$$C(1,8) = -C_{2H}$$

$$C(1,9) = -C_{2H}$$

$$C(1,10) = -(2 \cdot C_{2V} \cdot L_{2V} - 2 \cdot C_{2H} \cdot L_{2H})$$

$$C(2,1) = -(C_{M1} + C_{M2} + C_{M3} + C_{me1})$$

$$C(2,2) = (C_{M1} + C_{M2} + C_{M3} + C_{me1})$$

$$C(2,3) = -C_{me1}$$

$$C(2,10) = (C_{M1} \cdot (b_x - l_1) + C_{M2} \cdot (b_x + l_2) + C_{M3} \cdot (b_x - l_3))$$

$$C(2,11) = (C_{M1} \cdot l_1 - C_{M2} \cdot l_2 + C_{M3} \cdot l_3 + C_{me1} \cdot l_4)$$

$$C(2,12) = -C_{me1} \cdot l_{4e1}$$

$$C(2,15) = (C_{M1} \cdot S_1 - C_{M2} \cdot S_2 - C_{M3} \cdot S_3)$$

$$C(2,16) = (C_{M3} \cdot S_{M3} - C_{M2} \cdot S_{M2} - C_{M1} \cdot S_{M1} + C_{me1} \cdot S_{M4})$$

$$C(2,17) = C_{me1} \cdot S_{4e1}$$

$$C(3,1) = -(C_{1e1} + C_{2e1})$$

$$C(3,2) = -C_{me1}$$

$$C(3,3) = (C_{1e1} + C_{2e1} + C_{e1e2} + C_{me1})$$

$$C(3,4) = -C_{e1e2}$$

$$C(3,10) = (C_{1e1} \cdot (c_x - l_{1e1}) + C_{2e1} \cdot (c_x + l_{2e1}))$$

$$C(3,11) = -C_{me1} \cdot l_4$$

$$C(3,12) = (C_{1e1} \cdot l_{1e1} - C_{2e1} \cdot l_{2e1} + C_{e1e2} \cdot l_{3e1} - C_{me1} \cdot l_{4e1})$$

$$C(3,13) = C_{e1e2} \cdot l_{4e2}$$

$$C(3,15) = -(C_{1e1} \cdot S_4 + C_{2e1} \cdot S_5)$$

$$C(3,16) = -C_{me1} \cdot S_{M4}$$

$$C(3,17) = (C_{2e1} \cdot S_{2e1} - C_{1e1} \cdot S_{1e1} + C_{e1e2} \cdot S_{3e1} - C_{me1} \cdot S_{4e1})$$

$$C(3,18) = -C_{e1e2} \cdot S_{4e2}$$

$$C(4,1) = -(C_{1e2} + C_{2e2})$$

$$C(4,3) = -C_{e1e2}$$

$$C(4,4) = (C_{1e2} + C_{2e2} + C_{e1e2} + C_{e2e3})$$

$$C(4,5) = -C_{e2e3}$$

$$C(4,10) = -(C_{1e2} \cdot (d_x + l_{1e2}) + C_{2e2} \cdot (d_x - l_{2e2}))$$

$$C(4,12) = -C_{e1e2} \cdot l_{3e1}$$

$$C(4,13) = (C_{1e2} \cdot l_{1e2} - C_{2e2} \cdot l_{2e2} - C_{e1e2} \cdot l_{4e2} + C_{e2e3} \cdot l_{3e2})$$

$$\begin{aligned}
C(4,14) &= C_{e2e3} * l_{4e3} \\
C(4,15) &= - (C_{1e2} * s_6 + C_{2e2} * s_7) \\
C(4,17) &= - C_{e1e2} * s_{3e1} \\
C(4,18) &= (C_{2e2} * s_{2e2} - C_{1e2} * s_{1e2} + C_{e1e2} * s_{4e2} + C_{e2e3} * s_{3e2}) \\
C(4,19) &= - C_{e2e3} * s_{3e3} \\
C(5,1) &= - (C_{1e3} + C_{2e3}) \\
C(5,4) &= - C_{e2e3} \\
C(5,5) &= (C_{1e3} + C_{2e3} + C_{e2e3}) \\
C(5,10) &= - (C_{1e3} * (e_x + l_{1e3}) + C_{2e3} * (e_x - l_{2e3})) \\
C(5,13) &= - C_{e2e3} * l_{3e2} \\
C(5,14) &= (C_{1e3} * l_{1e3} - C_{2e3} * l_{2e3} - C_{e2e3} * l_{3e3}) \\
C(5,15) &= - (C_{1e3} * s_8 + C_{2e3} * s_9) \\
C(5,18) &= - C_{e2e3} * s_{3e2} \\
C(5,19) &= (C_{2e3} * s_{2e3} - C_{1e3} * s_{1e3} + C_{e2e3} * s_{3e3}) \\
C(6,1) &= - C_{2V} \\
C(6,6) &= C_{1V} + C_{2V} \\
C(6,10) &= C_{2V} * L_{2V} \\
C(6,15) &= C_{2V} * (s/2) \\
C(7,1) &= - C_{2V} \\
C(7,7) &= C_{1V} + C_{2V} \\
C(7,10) &= C_{2V} * L_{2V} \\
C(7,15) &= - C_{2V} * (s/2) \\
C(8,1) &= - C_{2H} \\
C(8,8) &= C_{1H} + C_{2H} \\
C(8,10) &= - C_{2H} * L_{2H} \\
C(8,15) &= C_{2H} * (s/2) \\
C(9,1) &= - C_{2H} \\
C(9,9) &= C_{1H} + C_{2H} \\
C(9,10) &= - C_{2H} * L_{2H} \\
C(9,15) &= - C_{2H} * (s/2) \\
C(10,1) &= - (2 * C_{2V} * L_{2V} - 2 * C_{2H} * L_{2H}) \\
C(10,6) &= C_{2V} * L_{2V} \\
C(10,7) &= C_{2V} * L_{2V} \\
C(10,8) &= - C_{2H} * L_{2H} \\
C(10,9) &= - C_{2H} * L_{2H} \\
C(10,10) &= (2 * C_{2V} * L_{2V}^2 + 2 * C_{2H} * L_{2H}^2) \\
C(11,1) &= - (C_{M1} * l_1 - C_{M2} * l_2 + C_{M3} * l_3)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C(11,2) &= (c_{M1} * l_1 - c_{M2} * l_2 + c_{M3} * l_3 + c_{me1} * l_4) \\
C(11,3) &= - c_{me1} * l_4 \\
C(11,10) &= (c_{M1} * (b_x * l_1 - l_1^2) - c_{M2} * (b_x * l_2 + l_2^2) + c_{M3} * (b_x * l_3 - l_3^2)) \\
C(11,11) &= (c_{M1} * l_1^2 + c_{M2} * l_2^2 + c_{M3} * l_3^2 + c_{me1} * l_4^2) \\
C(11,12) &= c_{me1} * l_{4e1} * l_4 \\
C(11,15) &= (c_{M1} * s_1 * l_1 + c_{M2} * s_2 * l_2 - c_{M3} * s_3 * l_3) \\
C(11,16) &= (c_{M2} * s_{M2} * l_2 - c_{M1} * s_{M1} * l_1 + c_{M3} * s_{M3} * l_3 + c_{me1} * s_{M4} * l_4) \\
C(11,17) &= c_{me1} * s_{4e1} * l_4 \\
C(12,1) &= (c_{2e1} * l_{2e1} - c_{1e1} * l_{1e1}) \\
C(12,2) &= c_{me1} * l_{4e1} \\
C(12,3) &= (c_{1e1} * l_{1e1} - c_{2e1} * l_{2e1} + c_{e1e2} * l_{3e1} - c_{me1} * l_{4e1}) \\
C(12,4) &= - c_{e1e2} * l_{3e1} \\
C(12,10) &= (c_{1e1} * (c_x * l_{1e1} - l_{1e1}^2) - c_{2e1} * (c_x * l_{2e1} + l_{2e1}^2)) \\
C(12,11) &= c_{me1} * l_4 * l_{4e} \\
C(12,12) &= (c_{1e1} * l_{1e1}^2 + c_{2e1} * l_{2e1}^2 + c_{e1e2} * l_{3e1}^2 + c_{me1} * l_{4e1}^2) \\
C(12,13) &= c_{e1e2} * l_{4e2} * l_{3e1} \\
C(12,15) &= (c_{2e1} * s_5 * l_{2e1} - c_{1e1} * s_4 * l_{1e1}) \\
C(12,16) &= c_{me1} * s_{M4} * l_{4e1} \\
C(12,17) &= - (c_{2e1} * s_{2e1} * l_{2e1} + c_{1e1} * s_{1e1} * l_{1e1} - c_{e1e2} * s_{3e1} * l_{3e1} - c_{me1} * s_{4e1} * l_{4e1}) \\
C(12,18) &= - c_{e1e2} * s_{4e2} * l_{3e1} \\
C(13,1) &= (c_{2e2} * l_{2e2} - c_{1e2} * l_{1e2}) \\
C(13,3) &= c_{e1e2} * l_{4e2} \\
C(13,4) &= (c_{1e2} * l_{1e2} - c_{2e2} * l_{2e2} - c_{e1e2} * l_{4e2} + c_{e2e3} * l_{3e2}) \\
C(13,5) &= - c_{e2e3} * l_{3e2} \\
C(13,10) &= (c_{2e2} * (d_x * l_{2e2} - l_{2e2}^2) - c_{1e2} * (d_x * l_{1e2} + l_{1e2}^2)) \\
C(13,12) &= c_{e1e2} * l_{4e2} * l_{3e1} \\
C(13,13) &= (c_{1e2} * l_{1e2}^2 + c_{2e2} * l_{2e2}^2 + c_{e1e2} * l_{4e2}^2 + c_{e2e3} * l_{3e2}^2) \\
C(13,14) &= c_{e2e3} * l_{3e2} * l_{4e3} \\
C(13,15) &= (c_{2e2} * s_7 * l_{2e2} - c_{1e2} * s_6 * l_{1e2}) \\
C(13,17) &= c_{e1e2} * l_{4e2} * s_{3e1} \\
C(13,18) &= - (c_{2e2} * s_{2e2} * l_{2e2} + c_{1e2} * s_{1e2} * l_{1e2} + c_{e1e2} * s_{4e2} * l_{4e2} - c_{e2e3} * s_{3e2} * l_{3e2}) \\
C(13,19) &= - c_{e2e3} * l_{3e2} * s_{3e3} \\
C(14,1) &= (c_{2e3} * l_{2e3} - c_{1e3} * l_{1e3}); \\
C(14,4) &= c_{e2e3} * l_{3e3} \\
C(14,5) &= (c_{1e3} * l_{1e3} - c_{2e3} * l_{2e3} - c_{e2e3} * l_{3e3}) \\
C(14,10) &= (c_{2e3} * (e_x * l_{2e3} - l_{2e3}^2) - c_{1e3} * (e_x * l_{1e3} + l_{1e3}^2)) \\
C(14,13) &= c_{e2e3} * l_{3e2} * l_{3e3}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C(14,14) &= (C_{1e3} * l_{1e3}^2 + C_{2e3} * l_{2e3}^2 + C_{e2e3} * l_{4e3}^2) \\
C(14,15) &= (C_{2e3} * s_9 * l_{2e3} - C_{1e3} * s_8 * l_{1e3}) \\
C(14,18) &= C_{e2e3} * l_{4e3} * s_{3e2} \\
C(14,19) &= (C_{2e3} * s_{2e3} * l_{2e3} + C_{1e3} * s_{1e3} * l_{1e3} + C_{e2e3} * s_{3e3} * l_{3e3}) \\
C(15,15) &= 2 * (s/2)^2 * (C_{2V} + C_{2H}) \\
C(15,20) &= -2 * (s/2)^2 * C_{2V} \\
C(15,21) &= -2 * (s/2)^2 * C_{2H} \\
C(16,1) &= (C_{M1} * s_{M1} + C_{M2} * s_{M2} - C_{M3} * s_{M3}); \\
C(16,2) &= (C_{M3} * s_{M3} - C_{M2} * s_{M2} - C_{M1} * s_{M1} + C_{me1} * s_{M4}) \\
C(16,3) &= -C_{me1} * s_{M4} \\
C(16,10) &= (C_{M3} * (b_x - l_3) * s_{M3} - C_{M2} * (b_x + l_2) * s_{M2} - C_{M1} * (b_x - l_1) * s_{M1}) \\
C(16,11) &= (C_{M3} * l_3 * s_{M3} + C_{M2} * l_2 * s_{M2} - C_{M1} * l_1 * s_{M1} + C_{me1} * l_4 * s_{M4}) \\
C(16,12) &= C_{me1} * l_{4e1} * s_{M4} \\
C(16,15) &= (C_{M2} * s_2 * s_{M2} - C_{M1} * s_1 * s_{M1} - C_{M3} * s_3 * s_{M3}) \\
C(16,16) &= (C_{M1} * s_{M1}^2 + C_{M2} * s_{M2}^2 + C_{M3} * s_{M3}^2 + C_{me1} * s_{M4}^2) \\
C(16,17) &= C_{me1} * s_{4e1} * s_{M4} \\
C(17,1) &= (C_{1e1} * s_{1e1} - C_{2e1} * s_{2e1}) \\
C(17,2) &= C_{me1} * s_{4e1} \\
C(17,3) &= (C_{2e1} * s_{2e1} - C_{1e1} * s_{1e1} + C_{e1e2} * s_{3e1} - C_{me1} * s_{4e1}) \\
C(17,4) &= -C_{e1e2} * s_{3e1} \\
C(17,10) &= (C_{2e1} * (C_x * s_{2e1} + l_{2e1} * s_{2e1}) - C_{1e1} * (C_x * s_{1e1} - l_{1e1} * s_{1e1})) \\
C(17,11) &= C_{me1} * l_4 * s_{4e1} \\
C(17,12) &= -(C_{1e1} * s_{1e1} * l_{1e1} + C_{2e1} * s_{2e1} * l_{2e1} - C_{e1e2} * s_{3e1} * l_{3e1} - C_{me1} * s_{4e1} * l_{4e1}) \\
C(17,13) &= C_{e1e2} * l_{4e2} * s_{3e1} \\
C(17,15) &= (C_{1e1} * s_4 * s_{1e1} - C_{2e1} * s_5 * s_{2e1}) \\
C(17,16) &= C_{me1} * s_{M4} * s_{4e1} \\
C(17,17) &= (C_{1e1} * s_{1e1}^2 + C_{2e1} * s_{2e1}^2 + C_{e1e2} * s_{3e1}^2 + C_{me1} * s_{4e1}^2) \\
C(17,18) &= -C_{e1e2} * s_{4e2} * s_{3e1} \\
C(18,1) &= (C_{1e2} * s_{1e2} - C_{2e2} * s_{2e2}) \\
C(18,3) &= -C_{e1e2} * s_{4e2} \\
C(18,4) &= (C_{2e2} * s_{2e2} - C_{1e2} * s_{1e2} + C_{e1e2} * s_{4e2} + C_{e2e3} * s_{3e2}) \\
C(18,5) &= -C_{e2e3} * s_{4e2} \\
C(18,10) &= (C_{1e2} * (d_x * s_{1e2} + l_{1e2} * s_{1e2}) - C_{2e2} * (d_x * s_{2e2} - l_{2e2} * s_{2e2})) \\
C(18,12) &= -C_{e1e2} * s_{4e2} * l_{3e1} \\
C(18,13) &= -(C_{1e2} * s_{2e2} * l_{1e2} + C_{2e2} * s_{2e2} * l_{2e2} + C_{e1e2} * s_{4e2} * l_{4e2} - C_{e2e3} * s_{3e2} * l_{3e2}) \\
C(18,14) &= C_{e2e3} * s_{3e2} * l_{4e3} \\
C(18,15) &= (C_{1e2} * s_6 * s_{1e2} - C_{2e2} * s_7 * s_{2e2})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C(18,17) &= -C_{e1e2} * S_{4e2} * S_{3e1} \\
C(18,18) &= (C_{1e2} * S_{1e2}^2 + C_{2e2} * S_{2e2}^2 + C_{e1e2} * S_{4e2}^2 + C_{e2e3} * S_{3e2}^2) \\
C(18,19) &= -C_{e2e3} * S_{3e2} * S_{3e3} \\
C(19,1) &= (C_{1e3} * S_{1e3} - C_{2e3} * S_{2e3}) \\
C(19,4) &= -C_{e2e3} * S_{3e3} \\
C(19,5) &= (C_{2e3} * S_{2e3} - C_{1e3} * S_{1e3} + C_{e2e3} * S_{3e3}) \\
C(19,10) &= (C_{1e3} * (e_x * S_{1e3} + l_{1e3} * S_{1e3}) - C_{2e3} * (e_x * S_{2e3} - l_{2e3} * S_{2e3})) \\
C(19,13) &= -C_{e2e3} * l_{3e2} * S_{3e3} \\
C(19,14) &= -(C_{1e3} * S_{1e3} * l_{1e3} + C_{2e3} * S_{2e3} * l_{2e3} + C_{e2e3} * S_{3e3} * l_{3e3}) \\
C(19,15) &= (C_{1e3} * S_8 * S_{1e3} - C_{2e3} * S_9 * S_{2e3}); \\
C(19,18) &= -C_{e2e3} * S_{3e2} * S_{3e3} \\
C(19,19) &= (C_{1e3} * S_{1e3}^2 + C_{2e3} * S_{2e3}^2 + C_{e2e3} * S_{3e3}^2) \\
C(20,15) &= -2 * C_{2V} * (s/2)^2 \\
C(20,20) &= 2 * (C_{1V} + C_{2V}) * (s/2)^2 \\
C(21,15) &= -2 * C_{2H} * (s/2)^2 \\
C(21,21) &= 2 * (C_{1H} + C_{2H}) * (s/2)^2
\end{aligned}$$

İvme Vektörü

$$[\ddot{Z}]_{21 \times 1}$$

$$Z(1,1) = \ddot{Z}_{22}$$

$$Z(2,1) = \ddot{Z}_M$$

$$Z(3,1) = \ddot{Z}_{e1}$$

$$Z(4,1) = \ddot{Z}_{e2}$$

$$Z(5,1) = \ddot{Z}_{e3}$$

$$Z(6,1) = \ddot{Z}_{1Vr}$$

$$Z(7,1) = \ddot{Z}_{1Vl}$$

$$Z(8,1) = \ddot{Z}_{1Hr}$$

$$Z(9,1) = \ddot{Z}_{1Hl}$$

$$Z(10,1) = \ddot{\phi}_2$$

$$Z(11,1) = \ddot{\phi}_M$$

$$Z(12,1) = \ddot{\phi}_{e1}$$

$$Z(13,1) = \ddot{\phi}_{e2}$$

$$Z(14,1) = \ddot{\phi}_{e3}$$

$$Z(15,1) = \ddot{X}_2$$

$$Z(16,1) = \ddot{X}_M$$

$$Z(17,1) = \ddot{X}_{e1}$$

$$Z(18,1) = \ddot{X}_{e2}$$

$$Z(19,1) = \ddot{X}_{e3}$$

$$Z(20,1) = \ddot{X}_{1V}$$

$$Z(21,1) = \ddot{X}_{1H}$$

Hız Vektörü

$$[\dot{Z}]_{21 \times 1}$$

$$Z(1,1) = \dot{z}_{22}$$

$$Z(2,1) = \dot{z}_M$$

$$Z(3,1) = \dot{z}_{e1}$$

$$Z(4,1) = \dot{z}_{e2}$$

$$Z(5,1) = \dot{z}_{e3}$$

$$Z(6,1) = \dot{z}_{1Vr}$$

$$Z(7,1) = \dot{z}_{1Vl}$$

$$Z(8,1) = \dot{z}_{1Hr}$$

$$Z(9,1) = \dot{z}_{1Hl}$$

$$Z(10,1) = \dot{\phi}_2$$

$$Z(11,1) = \dot{\phi}_M$$

$$Z(12,1) = \dot{\phi}_{e1}$$

$$Z(13,1) = \dot{\phi}_{e2}$$

$$Z(14,1) = \dot{\phi}_{e3}$$

$$Z(15,1) = \dot{X}_2$$

$$Z(16,1) = \dot{X}_M$$

$$Z(17,1) = \dot{X}_{e1}$$

$$Z(18,1) = \dot{X}_{e2}$$

$$Z(19,1) = \dot{X}_{e3}$$

$$Z(20,1) = \dot{X}_{1V}$$

$$Z(21,1) = \dot{X}_{1H}$$

Yerdeğiştirme Vektörü

$$[Z]_{21 \times 1}$$

$$Z(1,1) = z_{22}$$

$$Z(2,1) = z_M$$

$$Z(3,1) = z_{e1}$$

$$Z(4,1) = z_{e2}$$

$$Z(5,1) = z_{e3}$$

$$Z(6,1) = z_{1Vr}$$

$$Z(7,1) = z_{1Vl}$$

$$Z(8,1) = z_{1Hr}$$

$$Z(9,1) = z_{1Hl}$$

$$Z(10,1) = \varphi_2$$

$$Z(11,1) = \varphi_M$$

$$Z(12,1) = \varphi_{e1}$$

$$Z(13,1) = \varphi_{e2}$$

$$Z(14,1) = \varphi_{e3}$$

$$Z(15,1) = X_2$$

$$Z(16,1) = X_M$$

$$Z(17,1) = X_{e1}$$

$$Z(18,1) = X_{e2}$$

$$Z(19,1) = X_{e3}$$

$$Z(20,1) = X_{1V}$$

$$Z(21,1) = X_{1H}$$

Uyarı Matrisi

$$[R]_{21 \times 6}$$

$$R(6,1) = c_{1V}$$

$$R(7,2) = c_{1V}$$

$$R(8,3) = c_{1H}$$

$$R(9,4) = c_{1H}$$

$$R(20,5) = 2 \cdot c_{1V} \cdot (s/2)^2$$

$$R(21,6) = 2 \cdot c_{1H} \cdot (s/2)^2$$



EK B

Tablo B.1 Ölçüm sonuçları ile karşılaştırılan üç boyutlu egzoz titreşim modeline ait veriler.

Parametre	Değeri	Parametre	Değeri	Parametre	Değeri
m_{1Vr} [kg]	98	J_{e1X} [kgm ²]	4	C_{e1e2} [N/m]	100000000
m_{1VI} [kg]	98	J_{e2X} [kgm ²]	6	C_{e2e3} [N/m]	50000000
m_{1Hr} [kg]	98	J_{e3X} [kgm ²]	2	k_{2V} [N/ms]	2280
m_{1HI} [kg]	98	c_{1V} [N/m]	564000	k_{2H} [N/ms]	2280
m_{2V} [kg]	388.205	C_{1H} [N/m]	564000	k_{M1} [N/ms]	318
m_{2H} [kg]	503.059	c_{2V} [N/m]	40400	k_{M2} [N/ms]	318
m_M [kg]	150	C_{2H} [N/m]	40400	k_{M3} [N/ms]	318
m_{e1} [kg]	8	C_{M1} [N/m]	62520	k_{1e1} [N/ms]	0
m_{e2} [kg]	12	C_{M2} [N/m]	62520	k_{2e1} [N/ms]	0
m_{e3} [kg]	4	C_{M3} [N/m]	62520	k_{1e2} [N/ms]	0
J_{2Y} [kgm ²]	4000	C_{1e1} [N/m]	3500	k_{2e2} [N/ms]	0
J_{MY} [kgm ²]	12	C_{2e1} [N/m]	3500	k_{1e3} [N/ms]	0
J_{e1Y} [kgm ²]	2	C_{1e2} [N/m]	3500	k_{2e3} [N/ms]	0
J_{e2Y} [kgm ²]	3	C_{2e2} [N/m]	3500	k_{me1} [N/ms]	0
J_{e3Y} [kgm ²]	1	C_{1e3} [N/m]	3500	k_{e1e2} [N/ms]	0
J_{2X} [kgm ²]	150	C_{2e3} [N/m]	3500	k_{e2e3} [N/ms]	0
J_{MX} [kgm ²]	2	C_{me1} [N/m]	2000000	L [m]	3.52284

Tablo B.1 Devam

Parametre	Değeri	Parametre	Değeri	Parametre	Değeri
L_M [m]	1.4	l_{2e3} [m]	0.09	s_{4e2} [m]	0.05
L_{e1} [m]	0	l_{3e3} [m]	0.1	s_{1e3} [m]	0.1
L_{e2} [m]	-1.3	s_M [m]	0	s_{2e3} [m]	0.1
L_{e3} [m]	-1.9	s_{e1} [m]	0	s_{3e3} [m]	0.05
l_1 [m]	0.4	s_{e2} [m]	0	s_1 [m]	0.4
l_2 [m]	0.45	s_{e3} [m]	0	s_2 [m]	0.1
l_3 [m]	0.45	s_{M1} [m]	0.6	s_3 [m]	0.3
l_4 [m]	0.4	s_{M2} [m]	0.2	s_4 [m]	0.7
l_{1e1} [m]	0.18	s_{M3} [m]	0.2	s_5 [m]	0.9
l_{2e1} [m]	0.18	s_{M4} [m]	0.1	s_6 [m]	0.7
l_{3e1} [m]	0.2	s_{1e1} [m]	0.1	s_7 [m]	0.9
l_{4e1} [m]	0.2	s_{2e1} [m]	0.1	s_8 [m]	0.7
l_{1e2} [m]	0.28	s_{3e1} [m]	0.05	s_9 [m]	0.9
l_{2e2} [m]	0.28	s_{4e1} [m]	0.05	V [m/s]	20
l_{3e2} [m]	0.3	s_{1e2} [m]	0.1	Drub [-]	0.1
l_{4e2} [m]	0.3	s_{2e2} [m]	0.1		
l_{1e3} [m]	0.08	s_{3e2} [m]	0.05		

ÖZGEÇMİŞ

Celalettin Cem Koyuncu 9.02.1977 tarihinde Adana'da doğdu. 1994 yılında Bursa Erkek Lisesinden, 1998 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliğinden mezun oldu. Aynı yıl İngilizcesini geliştirmek amacıyla İngiltere'ye gitti. 1999 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı – Otomotiv Programında Yüksek Lisans Programına başladı. Yabancı dil olarak İngilizce bilmektedir.



ÖZGEÇMİŞ

Şener BAYYURT 1972 yılında Manisa’da doğdu. İlk öğrenimini Ankara Koleji’nde, orta öğrenimini Kadıköy Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 1996 yılında İ.T.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu.

İş yaşamına 1995 yılında Buyurgan Madencilik A.Ş. Pazarlama Departmanında başladı. 1996 yılında Net Holding’e bağlı Turistik Tesisler A.Ş.ve Yurtbank’ta İnsan Kaynakları Departmanlarında iş yaşamına devam etti. Hali hazırda Tekstilbank A.Ş.’de İnsan Kaynakları Departmanı’nda Müdür Yardımcısı olarak görevine devam etmektedir.