

139779

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALTI TAHRİKLİ (6X6) ASKERİ BİR ARACIN SİLAH
ATIŞ POZİSYONLARINDA VE ARAZİDE SEYİR
HALİNDE DİNAMİK DURUMUNUN İNCELENMESİ**

139779

Makine Yük. Müh. Cihan DEMİR

F.B.E Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Konstrüksiyon Programında
Hazırlanan

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 24 Aralık 2003

Tez Danışmanı

: Prof. Necati TAHRALI (YTÜ)

: Prof. Dr. Faris KAYA (YTÜ)

: Prof. Dr. Tuncer TOPRAK (İTÜ)

: Prof. Dr. Nurkan YAĞIZ (İÜ)

: Prof. Dr. Ertuğrul TAÇGIN (MÜ)

[Handwritten signature]

İSTANBUL, 2003

**TEZ YÖNETİM KURULU
BİLGİLENDİRME**

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Değerlendirmesi ve Modelleme Yaklaşımları	3
1.2 Tezin Kapsam ve Amaçları	10
2 TAŞITIN MATEMATİK MODELLENMESİ.....	13
2.1 Titreşimi Etkileyen Faktörler.....	15
2.2 Altı Tekerlekli Taşıt İçin Tek Serbestlik Dereceli Model	16
2.3 Altı Tekerlekli Taşıt İçin İki Serbestlik Dereceli Model	17
2.4 Altı Tekerlekli Taşıt İçin Üç Serbestlik Dereceli Model.....	19
2.5 Altı Tekerlekli Süspansiyonlu Taşıt İçin İki Serbestlik Dereceli Model.....	21
2.6 Altı Tekerlekli Süspansiyonlu Taşıt İçin Beş Serbestlik Dereceli Model	23
2.7 Altı Tekerlekli Süspansiyonlu Taşıt İçin Dokuz Serbestlik Dereceli Model	25
2.8 Denklemlerin Çözümü.....	27
2.8.1 Bode Diyagramları.....	45
2.9 Taşıt Titreşim Cevaplarının Çeşitli Yol Fonksiyonları İçin Elde Edilmesi.....	56
2.9.1 Diferansiyel Denklemlerin Durum Uzayında İfade Edilmesi	56
2.9.2 Bir Serbestlik Dereceli Model	56
2.9.3 İki Serbestlik Dereceli Model.....	57
2.9.4 Üç Serbestlik Dereceli Model.....	58
2.9.5 Tek Engelli Yolda Taşıt Darbe Cevaplarının Simülasyonla Bulunması	60
2.9.6 Dört Engelli Yolda Taşıt Titreşim Cevaplarının Simülasyonla Bulunması	81
3 HAVAN SİLAHI ATIŞI DURUMUNDA ALTI TEKERLEKLİ TAŞITIN TİTREŞİM SİMÜLASYONLARI	110
3.1 Havan Silahı Atışı Durumunda Altı Tekerlekli Süspansiyonlu Taşıtın Titreşim Simülasyonları	115
4 ALTI TEKERLEKLİ ASKERİ TAŞITIN SONLU ELEMANLAR MODELİNİN OLUŞTURULMASI	119
4.1 Çerçeve Kiriş İçin Rijitlik Ve Kütle Matrislerinin Elde Edilmesi.....	120
4.2 Rijitlik Matrislerinin Elde Edilmesi.....	122
4.2.1 Boyuna Yer Değiştirme Etkisi.....	122
4.2.1.1 Koordinatlar Ve Şekil Fonksiyonları.....	123
4.2.2 Potansiyel Enerji Yaklaşımı	127
4.2.3 Eğilme Rijitliği	129
4.2.4 Burulma Yer Değiştirmesinin Etkisi	136
4.3 Kütle Matrislerinin Elde Edilmesi	137
4.3.1 Boyuna Titreşimden Oluşan Kütle Matrisi.....	138
4.3.2 Eğilmeden Dolayı Meydana Gelen Kütle Matrisi	139
4.3.3 Burulmadan Dolayı Gelen Kütle Matrisi.....	140
4.4 Eleman İçin Toplam Kütle Matrisi	140
4.5 Eleman İçin Toplam Rijitlik Matrisi.....	141
4.6 Eksen Takımlarının Transformasyonu	142
5 ALTI TEKERLEKLİ ASKERİ TAŞITIN SONLU ELEMANLAR MODELİNİN	

PAKET PROGRAM (ANSYS) İLE OLUŞTURULMASI.....	147
5.1 Altı Tekerlekli Askeri Anfibik Taşıtın Sonlu Elemanlar Modeli	147
5.2 Altı Tekerlekli Askeri Anfibik Olmayan Taşıtın Sonlu Elemanlar Modeli	149
5.3 Eleman Özellikleri.....	150
5.3.1 Beam 188.....	150
5.3.2 Shell 63	151
6 FREKANS ANALİZİ.....	152
7 ALTI TEKERLEKLİ ASKERİ TAŞITIN HAVAN SİLAHI ATIŞI DURUMUNDA KARKAS YAPIDA GERİLME ANALİZİ	153
7.1 Havan silahı Atışı İçin Model Oluşturma.....	153
8 DENEYLER	156
8.1 Sinüs Süpürmesi (Sine – sweep)	156
8.1.1 Altı Tekerlekli Askeri Taşıt Yüklü Durumda.....	157
8.1.2 Altı Tekerlekli Askeri Anfibik Taşıt Yüksüz Durumda	160
8.2 Darbe Yöntemi ile Frekans Analizi	162
8.3 Tek Engelli Yolda Giden Altı Tekerlekli Taşıtın Darbe Cevaplarının Deneysel Olarak Elde Edilmesi.....	164
8.3.1 Wavelet Filtrasyonu.....	164
8.3.2 Dört Engelli Yolda Giden Altı Tekerlekli Taşıtın Darbe Cevaplarının Deneysel Olarak Elde Edilmesi.....	173
8.4 Deneysel Gerilme Analizi.....	180
8.4.1 Deney Düzenegi.....	181
8.4.1.1 Strain Gage Teknik Özellikleri Ve Yapıştırıcının Teknik Özellikleri.....	182
8.4.1.2 Kablo özellikleri ve Katsayılar	183
9 SONUÇLAR.....	184
9.1 Zorlanmış Titreşimler	185
9.1.1 Çeşitli Yol Profilleri İçin Simülasyonlar	185
9.1.1.1 Sinüs Yol Profili İçin Simülasyonlar	185
9.1.1.2 Tek ve Dört Engelli Yol İçin Simülasyonlar	187
9.1.2 Havan Silahı ile Atış Durumu	188
9.2 Gerilme Analizi	190
9.2.1 Statik Yükleme	190
9.2.2 Havan Silahı ile Atış Durumu	191
9.3 Altı Tekerlekli Taşıtın Frekans Değerlerinin Karşılaştırılması	192
9.3.1 Yüklü Anfibik Taşıt.....	192
9.3.2 Yüksüz Anfibik Taşıt.....	193
9.3.3 Yüksüz Anfibik Olmayan Taşıt.....	194
9.3.4 Yüklü Anfibik Olmayan Taşıt	195
9.4 Genel Değerlendirme ve Öneriler.....	196
KAYNAKLAR.....	198
EKLER	201
ÖZGEÇMİŞ.....	264

SİMGE LİSTESİ

ω_n	: Doğal frekans
ω_d	: Serbest sönümlü titreşimin açısal hızı
ξ	: Sönüm faktörü
$[C]$	: $n \times n$ boyutunda sönüm matrisi
$[K]$	: $n \times n$ boyutunda rijitlik matrisi
$[M]$	: $n \times n$ boyutunda kütle matrisi
$c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6$	: Ön ve arka tekerleklere ait sönüm katsayıları
d	: Ön aksla orta aks arası mesafe
E_D	: Toplam sönüm enerjisi
E_k	: Toplam kinetik enerjisi
E_p	: Toplam potansiyel enerjisi
F	: Kuvvet
J_{yy}	: Kütleli atalet momenti (y ekseninde)
J_{zz}	: Kütleli atalet momenti (z ekseninde)
$k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6$	: Ön ve arka tekerleklere ait yay katsayıları
L	: Ön aksla arka aks arası mesafe
L_1	: Ön aks ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe
L_2	: Orta aks ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe
L_3	: Arka aks ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe
m_1	: Taşıt gövdesinin kütlesi
n	: Sistemin serbestlik derecesi
T_e	: İz genişliği
V	: Taşıtın hızı
x_1, θ_2, θ_3	: Sisteme ait titreşim hareketleri
$x_{y1}, x_{y2}, x_{y3}, x_{y4}, x_{y5}$	: yol düzgünlükleri

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Taşıt resmi	13
Şekil 2.2 Koordinat eksenleri ve hareket yönleri.....	14
Şekil 2.3 Altıda bir taşıt modeli (Altı tekerlekli taşıt için)	16
Şekil 2.4 Yarım taşıt modeli (Altı tekerlekli taşıt için)	17
Şekil 2.5 Taşıt tam modeli (Altı tekerlekli taşıt için)	19
Şekil 2.6 Altıda bir taşıt modeli (Altı tekerlekli taşıt için)	21
Şekil 2.7 Altı tekerlekten tahrikli taşıtın yarım taşıt modeli.....	23
Şekil 2.8 Altı tekerlekten tahrikli askeri taşıtın tam taşıt modeli.....	25
Şekil 2.11 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin maksimum düşey yer değiştirmeleri.....	30
Şekil 2.12 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki maksimum açısal sapmaları (Kafa vurma)	30
Şekil 2.13 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin(m_1 kütlesi) maksimum düşey yer değiştirmeleri.....	31
Şekil 2.14 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_2 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri	31
Şekil 2.15 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin (m_1 kütlesi) z eksenini etrafındaki maksimum açısal sapmaları (Kafa vurma).....	32
Şekil 2.16 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_3 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri	32
Şekil 2.17 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_4 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri	33
Şekil 2.18 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_5 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri	33
Şekil 2.19 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin(m_1 kütlesi) maksimum düşey yer değiştirmeleri.....	34
Şekil 2.20 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_2 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri	34
Şekil 2.21 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin (m_1 kütlesi) z eksenini etrafındaki maksimum açısal sapmaları (Kafa vurma).....	35
Şekil 2.22 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_2 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri	35
Şekil 2.23 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_4 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri	36
Şekil 2.24 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_5 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri	36
Şekil 2.25 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin maksimum düşey yer değiştirmeleri.....	37
Şekil 2.26 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki maksimum açısal sapmaları (Kafa vurma)	37
Şekil 2.27 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin maksimum düşey yer değiştirmeleri.....	38
Şekil 2.28 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki maksimum açısal sapmaları (Kafa vurma)	38
Şekil 2.29 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin(m_1 kütlesi) maksimum düşey yer değiştirmeleri.....	39
Şekil 2.30 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_2 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri	39
Şekil 2.31 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin (m_1 kütlesi) z eksenini etrafındaki maksimum açısal sapmaları (Kafa vurma).....	40
Şekil 2.32 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_3 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri	40
Şekil 2.34 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_5 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri	41
Şekil 2.35 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin(m_1 kütlesi) maksimum düşey yer değiştirmeleri.....	42
Şekil 2.36 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_2 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri	42
Şekil 2.37 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin (m_1 kütlesi) z eksenini etrafındaki maksimum açısal sapmaları (Kafa vurma).....	43
Şekil 2.38 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_3 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri	43

Şekil 2.39 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_4 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri.....	44
Şekil 2.40 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_5 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri.....	44
Şekil 2.41 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı sönüm katsayıları için).....	45
Şekil 2.42 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı yay katsayıları için).....	45
Şekil 2.43 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı sönüm katsayıları için).....	45
Şekil 2.44 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı yay katsayıları için).....	45
Şekil 2.45 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi z eksenini etrafındaki açısal sapmaları (Kafa vurma) (farklı sönüm katsayıları için)	46
Şekil 2.46 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi z eksenini etrafındaki açısal sapmaları (Kafa vurma) (farklı yay katsayıları için)	46
Şekil 2.47 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı sönüm katsayıları için).....	46
Şekil 2.48 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı yay katsayıları için).....	46
Şekil 2.49 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi z eksenini etrafındaki açısal sapmaları (Kafa vurma) (farklı sönüm katsayıları için)	47
Şekil 2.50 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi z eksenini etrafındaki açısal sapmaları (Kafa vurma) (farklı yay katsayıları için)	47
Şekil 2.51 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi x eksenini etrafındaki açısal sapmaları (Yalpa) (farklı sönüm katsayıları için).....	47
Şekil 2.52 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi x eksenini etrafındaki açısal sapmaları (Yalpa) (farklı yay katsayıları için).....	47
Şekil 2.53 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı sönüm katsayıları için).....	48
Şekil 2.54 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı yay katsayıları için).....	48
Şekil 2.55 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_2 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı sönüm katsayıları için).....	48
Şekil 2.56 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_2 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı yay katsayıları için).....	48
Şekil 2.57 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı sönüm katsayıları için).....	49
Şekil 2.58 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı yay katsayıları için).....	49
Şekil 2.59 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi z eksenini etrafındaki açısal sapmaları (Kafa vurma) (farklı sönüm katsayıları için)	49
Şekil 2.60 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi z eksenini etrafındaki açısal sapmaları (Kafa vurma) (farklı yay katsayıları için)	49
Şekil 2.61 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_2 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı sönüm katsayıları için).....	50
Şekil 2.62 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_2 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı yay katsayıları için).....	50
Şekil 2.63 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_3 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı sönüm katsayıları için).....	50
Şekil 2.64 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_3 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı yay katsayıları için).....	50
Şekil 2.65 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı sönüm katsayıları için).....	51

Şekil 2.66 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı yay katsayıları için).....	51
Şekil 2.67 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi z eksenini etrafındaki açısall sapmaları (Kafa vurma) (farklı sönüm katsayıları için)	51
Şekil 2.68 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi z eksenini etrafındaki açısall sapmaları (Kafa vurma) (farklı yay katsayıları için)	51
Şekil 2.69 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi x eksenini etrafındaki açısall sapmaları (Yalpa) (farklı sönüm katsayıları için).....	52
Şekil 2.70 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi x eksenini etrafındaki açısall sapmaları (Yalpa) (farklı yay katsayıları için).....	52
Şekil 2.71 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_2 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı sönüm katsayıları için).....	52
Şekil 2.72 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_2 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı yay katsayıları için).....	52
Şekil 2.73 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_3 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı sönüm katsayıları için).....	53
Şekil 2.74 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_3 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı yay katsayıları için).....	53
Şekil 2.75 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_4 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı sönüm katsayıları için).....	53
Şekil 2.76 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_4 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı yay katsayıları için).....	53
Şekil 2.77 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_5 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı sönüm katsayıları için).....	54
Şekil 2.78 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_5 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı yay katsayıları için).....	54
Şekil 2.79 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_6 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı sönüm katsayıları için).....	54
Şekil 2.80 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_6 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı yay katsayıları için).....	54
Şekil 2.81 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_7 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı sönüm katsayıları için).....	55
Şekil 2.82 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_7 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı yay katsayıları için).....	55
Şekil 2.83 Yol profili	60
Şekil 2.84 Sisteme giriş yol fonksiyonu genlik ve hız grafiğı	60
Şekil 2.85 Taşıtl ağırlıkl merkezini düşey deplasmanları	61
Şekil 2.86 Taşıtl ağırlıkl merkezini düşey titreşimlerin ivmeleri	61
Şekil 2.87 Yarım taşıtl modeli için giriş fonksiyonları genlik grafiğı	62
Şekil 2.88 Yarım taşıtl modeli için giriş fonksiyonları hız grafiğı	62
Şekil 2.89 Taşıtl ağırlıkl merkezini düşey deplasmanları	63
Şekil 2.90 Taşıtl ağırlıkl merkezini düşey titreşimlerin ivmeleri	63
Şekil 2.91 Taşıtl ağırlıkl merkezini z eksenini etrafındaki açısall titreşimleri (Kafa vurma)	64
Şekil 2.92 Taşıtl ağırlıkl merkezini z eksenini etrafındaki açısall titreşim ivmeleri (Kafa vurma).....	64
Şekil 2.93 Şöför mahallindeki düşey titreşimlerin ivme grafiğı	65
Şekil 2.94 Tam taşıtl modeli için giriş fonksiyonları genlik grafiğı	66
Şekil 2.96 Taşıtl ağırlıkl merkezini düşey deplasmanları	67
Şekil 2.97 Taşıtl ağırlıkl merkezini düşey titreşimlerin ivmeleri	67
Şekil 2.98 Taşıtl ağırlıkl merkezini z eksenini etrafındaki açısall titreşimleri (Kafa vurma)	68
Şekil 2.99 Taşıtl ağırlıkl merkezini z eksenini etrafındaki açısall titreşim ivmeleri (Kafa vurma).....	68
Şekil 2.100 Taşıtl ağırlıkl merkezini x eksenini etrafındaki açısall titreşimleri (Yalpa)	69
Şekil 2.101 Taşıtl ağırlıkl merkezini x eksenini etrafındaki açısall titreşim ivmeleri (Yalpa)	69

Şekil 2.102	Şöför mahallindeki düşey titreşimlerin ivme grafiği.....	70
Şekil 2.103	Sisteme giriş yol fonksiyonu genlik ve hız grafiği.....	71
Şekil 2.104	Taşıt ağırlık merkezinin düşey deplasmanları.....	71
Şekil 2.105	Taşıt ağırlık merkezinin düşey titreşimlerin ivmeleri	72
Şekil 2.106	Yarım taşıt modeli için giriş fonksiyonları genlik grafiği.....	72
Şekil 2.107	Yarım taşıt modeli için giriş fonksiyonları hız grafiği	73
Şekil 2.108	Taşıt ağırlık merkezinin düşey deplasmanları.....	73
Şekil 2.109	Taşıt ağırlık merkezinin düşey titreşimlerin ivmeleri	74
Şekil 2.110	Taşıt ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşimleri (Kafa vurma)	74
Şekil 2.111	Taşıt ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşim ivmeleri (Kafa vurma)	75
Şekil 2.112	Şöför mahallindeki düşey titreşimlerin ivme grafiği.....	75
Şekil 2.113	Tam taşıt modeli için giriş fonksiyonları genlik grafiği.....	76
Şekil 2.114	Tam taşıt modeli için sisteme giriş fonksiyonları hız grafiği.....	76
Şekil 2.115	Taşıt ağırlık merkezinin düşey deplasmanları.....	77
Şekil 2.116	Taşıt ağırlık merkezinin düşey titreşimlerin ivmeleri	77
Şekil 2.117	Taşıt ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşimleri (Kafa vurma)	78
Şekil 2.118	Taşıt ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşim ivmeleri (Kafa vurma)	78
Şekil 2.119	Taşıt ağırlık merkezinin x eksenini etrafındaki açısal titreşimleri (Yalpa)	79
Şekil 2.120	Taşıt ağırlık merkezinin x eksenini etrafındaki açısal titreşim ivmeleri (Yalpa)	79
Şekil 2.121	Şöför mahallindeki düşey titreşimlerin ivme grafiği.....	80
Şekil 2.122	Dört engelli yol profili.....	81
Şekil 2.123	Bir serbestlik dereceli sistem için giriş fonksiyonu.....	81
Şekil 2.124	Taşıt ağırlık merkezinin düşey deplasmanları.....	82
Şekil 2.125	Taşıt ağırlık merkezinin düşey titreşimlerin ivmeleri	82
Şekil 2.126	Yarım taşıt modeli için giriş fonksiyonu.....	83
Şekil 2.127	Yarım taşıt modeli için hız fonksiyonu	83
Şekil 2.128	Taşıt ağırlık merkezinin düşey deplasmanları.....	84
Şekil 2.129	Taşıt ağırlık merkezinin düşey titreşimlerin ivmeleri	84
Şekil 2.130	Taşıt ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşimleri (Kafa vurma)	85
Şekil 2.131	Taşıt ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşim ivmeleri (Kafa vurma)	85
Şekil 2.132	Şöför mahallindeki düşey titreşimlerin ivmeleri	86
Şekil 2.133	Tam taşıt modeli için giriş fonksiyonu.....	86
Şekil 2.134	Tam taşıt modeli için hız fonksiyonu	87
Şekil 2.135	Taşıt ağırlık merkezinin düşey deplasmanları.....	87
Şekil 2.136	Taşıt ağırlık merkezinin düşey titreşimlerin ivmeleri	88
Şekil 2.137	Taşıt ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşimleri (Kafa vurma)	88
Şekil 2.138	Taşıt ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşim ivmeleri (Kafa vurma)	89
Şekil 2.139	Taşıt ağırlık merkezinin x eksenini etrafındaki açısal titreşimleri (Yalpa)	89
Şekil 2.140	Taşıt ağırlık merkezinin x eksenini etrafındaki açısal titreşim ivmeleri (Yalpa)	90
Şekil 2.141	Şöför mahallindeki düşey titreşimlerin ivmeleri	90
Şekil 2.142	Bir serbestlik dereceli sistem için giriş fonksiyonu.....	91
Şekil 2.143	Taşıt ağırlık merkezinin düşey deplasmanları.....	91
Şekil 2.144	Taşıt ağırlık merkezinin düşey titreşimlerin ivmeleri	92
Şekil 2.145	Yarım taşıt modeli için giriş fonksiyonu.....	92
Şekil 2.146	Yarım taşıt modeli için hız fonksiyonu	93
Şekil 2.147	Taşıt ağırlık merkezinin düşey deplasmanları.....	93
Şekil 2.148	Taşıt ağırlık merkezinin düşey titreşimlerin ivmeleri	94
Şekil 2.149	Taşıt ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşimleri (Kafa vurma)	94

Şekil 2.150 Taşıtlar ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşim ivmeleri (Kafa vurma)	95
Şekil 2.151 Şöför mahalli düşey titreşimleri ivmeleri	95
Şekil 2.152 Tam taşıtlar modeli için giriş fonksiyonu	96
Şekil 2.153 Tam taşıtlar modeli için hız fonksiyonu	96
Şekil 2.154 Taşıtlar ağırlık merkezinin düşey deplasmanları	97
Şekil 2.155 Taşıtlar ağırlık merkezinin düşey titreşimlerin ivmeleri	97
Şekil 2.156 Taşıtlar ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşimleri (Kafa vurma)	98
Şekil 2.157 Taşıtlar ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşim ivmeleri (Kafa vurma)	98
Şekil 2.159 Taşıtlar ağırlık merkezinin x eksenini etrafındaki açısal titreşim ivmeleri (Yalpa)	99
Şekil 2.160 Şöför mahalli düşey titreşim ivmeleri	100
Şekil 2.161 Bir serbestlik dereceli sistem için giriş fonksiyonu	100
Şekil 2.162 Taşıtlar ağırlık merkezinin düşey deplasmanları	101
Şekil 2.163 Taşıtlar ağırlık merkezinin düşey titreşimlerin ivmeleri	101
Şekil 2.164 Yarım taşıtlar modeli için giriş fonksiyonu	102
Şekil 2.165 Yarım taşıtlar modeli için hız fonksiyonu	102
Şekil 2.166 Taşıtlar ağırlık merkezinin düşey deplasmanları	103
Şekil 2.167 Taşıtlar ağırlık merkezinin düşey titreşimlerin ivmeleri	103
Şekil 2.168 Taşıtlar ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşimleri (Kafa vurma) ..	104
Şekil 2.169 Taşıtlar ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşim ivmeleri (Kafa vurma)	104
Şekil 2.170 Şöför mahalli düşey titreşim ivmeleri	105
Şekil 2.171 Tam taşıtlar modeli için giriş fonksiyonu	105
Şekil 2.172 Tam taşıtlar modeli için hız fonksiyonu	106
Şekil 2.173 Taşıtlar ağırlık merkezinin düşey deplasmanları	106
Şekil 2.174 Taşıtlar ağırlık merkezinin düşey titreşimlerin ivmeleri	107
Şekil 2.175 Taşıtlar ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşimleri (Kafa vurma) ..	107
Şekil 2.176 Taşıtlar ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşim ivmeleri (Kafa vurma)	108
Şekil 2.177 Taşıtlar ağırlık merkezinin x eksenini etrafındaki açısal titreşimleri (Yalpa)	108
Şekil 2.178 Taşıtlar ağırlık merkezinin x eksenini etrafındaki açısal titreşim ivmeleri (Yalpa) ..	109
Şekil 2.179 Şöför mahalli düşey titreşim ivmeleri	109
Şekil 3.1 Havan silahı atış durumu için taşıtlar modeli	110
Şekil 3.2 Havan silahı atış durumu için giriş fonksiyonu	112
Şekil 3.3 Havan silahı atış durumunda taşıtlar ağırlık merkezinin düşey yer değiştirmeleri ..	113
Şekil 3.4 Havan silahı atış durumunda taşıtlar ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal yer değiştirmeleri (Kafa vurma)	113
Şekil 3.5 Havan silahı atış durumunda taşıtlar ağırlık merkezinin x eksenini etrafındaki açısal yer değiştirmeleri (Yalpa)	114
Şekil 3.6 Havan silahı atış durumu için taşıtlar modeli	115
Şekil 3.7 Altı tekerlekli askeri taşıtların ağırlık merkezinin(m_1 kütlesi) düşey yer değiştirmeleri	116
Şekil 3.8 Altı tekerlekli askeri taşıtların ağırlık merkezinin (m_1 kütlesi) z eksenini etrafındaki açısal yer değiştirmeleri (Kafa vurma)	116
Şekil 3.9 Altı tekerlekli askeri taşıtların ağırlık merkezinin (m_1 kütlesi) x eksenini etrafındaki açısal yer değiştirmeleri (Yalpa)	117
Şekil 3.10 Altı tekerlekli askeri taşıtların m_2 kütlesi düşey yer değiştirmeleri	117
Şekil 3.11 Altı tekerlekli askeri taşıtların m_3 kütlesi düşey yer değiştirmeleri	118
Şekil 3.12 Altı tekerlekli askeri taşıtların m_4 kütlesi düşey yer değiştirmeleri	118
Şekil 4.1 Taşıtların sonlu elemanlar modeli	119
Şekil 4.2 Eksen takımları	120
Şekil 4.3 Eleman serbestlik dereceleri	121

Şekil 4.4 Eleman üzerindeki yer değiştirmeler ve koordinat dönüşümü	123
Şekil 4.5 Bir elemandaki deplasman alanının lineer enterpolasyonu	123
Şekil 4.6 N_1 şekil fonksiyonu	124
Şekil 4.7 N_2 şekil fonksiyonu	124
Şekil 4.8 Lineer enterpolasyon	124
Şekil 4.9 Eğilme elemanı	129
Şekil 4.10 Sonlu eleman numaralandırılması	130
Şekil 4.11 Hermetik şekil fonksiyonları	131
Şekil 4.13 Eksen takımları	142
Şekil 5.1 Altı tekerlekli askeri anfibik taşıt sonlu eleman modeli	147
Şekil 5.2 Altı tekerlekli askeri anfibik taşıtın iç yapısının görünüşü	148
Şekil 5.3 Altı tekerlekli askeri anfibik taşıtın eleman kesit görünüşleri	148
Şekil 5.4 Altı tekerlekli askeri anfibik taşıtın üst plakasız eleman kesit görünüşü	149
Şekil 5.5 Altı tekerlekli askeri anfibik olmayan taşıtın sonlu elemanlar modeli	149
Şekil 5.6 Altı tekerlekli askeri anfibik olmayan taşıtın elemanların profil şekli	150
Şekil 7.1 Havan silahı atışı için yükleme durumu	153
Şekil 7.2 Atış sonucu yapıda oluşan gerilme dağılımı	154
Şekil 7.3 Arka sağ tekerlek bölgesinde oluşan gerilme dağılımı	154
Şekil 7.4 Gerilme dağılımı	155
Şekil 7.5 Üst plakada oluşan eş değer gerilme dağılımı	155
Şekil 8.1 Deney tesisatı	156
Şekil 8.2 Altı tekerlekli askeri taşıt yüklü durumda deney tesisatı	157
Şekil 8.3 Altı tekerlekli yüklü askeri anfibik taşıtın frekans cevabı(ölçüm yeri, karkas yapı arka kısmından, düşey yönde)	158
Şekil 8.4 Zaman düzleminde 1-20 Hz frekans aralığında değişen harmonik kuvvet için askeri taşıtın titreşim cevapları(ölçüm yeri, karkas yapı arka kısmından, düşey yönde)	158
Şekil 8.5 2.8-3.6 Hz aralığında değişen harmonik kuvvet için askeri taşıtın titreşim cevapları(ölçüm yeri, karkas yapı arka kısmından, düşey yönde)	159
Şekil 8.6 5-6.2 Hz aralığında değişen harmonik kuvvet için askeri taşıtın titreşim cevapları(ölçüm yeri, karkas yapı arka kısmından, düşey yönde)	159
Şekil 8.7 Altı tekerlekli yüksüz askeri anfibik taşıt deney tesisatı	160
Şekil 8.8 Altı tekerlekli yüksüz askeri anfibik taşıtın frekans cevabı(ölçüm yeri, karkas yapı arka kısmından, düşey yönde)	160
Şekil 8.9 1-4. Hz aralığında aralığında değişen harmonik kuvvet için askeri taşıtın titreşim cevapları(ölçüm yeri, karkas yapı arka kısmından, düşey yönde)	161
Şekil 8.10 4-6 Hz aralığında değişen harmonik kuvvet için askeri taşıtın titreşim cevapları(ölçüm yeri, karkas yapı arka kısmından, düşey yönde)	161
Şekil 8.11 Darbe yöntemi deney düzeneği	162
Şekil 8.12 Darbe sonucu taşıtın zaman düzleminde titreşim cevapları	162
Şekil 8.13 Yüksüz Anfibik Taşıtın frekans cevabı (ölçüm yeri, karkas yapı ön kısmından, düşey yönde)	163
Şekil 8.14 Yüklü Anfibik Taşıtın frekans cevabı(ölçüm yeri, karkas yapı arka kısmından, düşey yönde)	163
Şekil 8.15 10 km/h sabit hızla harekette engelsiz yolda ivme değişimi	165
Şekil 8.16 10 km/h sabit hızla harekette engelsiz yolda ivme değişimi fft cevabı	165
Şekil 8.17 10 km/h sabit hızla harekette engelsiz yolda ivme değişimi (wavelet filtrasyonu uygulanmış hali)	166
Şekil 8.18 10 km/h sabit hızla harekette engelsiz yolda ivme değişimi fft cevabı (wavelet filtrasyonu uygulanmış hali)	166
Şekil 8.19 10 km/h sabit hızla harekette tek engelli yolda ivme değişimi	167
Şekil 8.20 10 km/h sabit hızla harekette tek engelli yolda ivme değişimi fft cevabı	167
Şekil 8.21 10 km/h sabit hızla harekette tek engelli yolda ivme değişimi (wavelet	

	filtrasyonu uygulanmış hali)	168
Şekil 8.22	10 km/h sabit hızla harekette tek engelli yolda ivme değişimi fft cevabı(wavelet filtrasyonu uygulanmış hali)	168
Şekil 8.23	20 km/h sabit hızla harekette engelsiz yolda ivme değişimi	169
Şekil 8.24	20 km/h sabit hızla harekette engelsiz yolda ivme değişimi	169
Şekil 8.25	20 km/h sabit hızla harekette engelsiz yolda ivme değişimi (wavelet filtrasyonu uygulanmış hali)	170
Şekil 8.26	20 km/h sabit hızla harekette engelsiz yolda ivme değişimi fft cevabı (wavelet filtrasyonu uygulanmış hali)	170
Şekil 8.27	20 km/h sabit hızla harekette tek engelli yolda ivme değişimi.....	171
Şekil 8.28	20 km/h sabit hızla harekette tek engelli yolda ivme değişimi fft cevabı	171
Şekil 8.29	20 km/h sabit hızla harekette tek engelli yolda ivme değişimi (wavelet filtrasyonu uygulanmış hali)	172
Şekil 8.30	20 km/h sabit hızla harekette tek engelli yolda ivme değişimi fft cevabı (wavelet filtrasyonu uygulanmış hali)	172
Şekil 8.31	10 km/h sabit hızla harekette dört engelli yolda ivme değişimi	173
Şekil 8.32	10 km/h sabit hızla harekette dört engelli yolda ivme değişimi fft cevabı.....	173
Şekil 8.33	10 km/h sabit hızla harekette dört engelli yolda ivme değişimi (wavelet filtrasyonu uygulanmış hali)	174
Şekil 8.34	10 km/h sabit hızla harekette dört engelli yolda ivme değişimi fft cevabı (wavelet filtrasyonu uygulanmış hali).....	174
Şekil 8.35	20 km/h sabit hızla harekette dört engelli yolda ivme değişimi	175
Şekil 8.36	20 km/h sabit hızla harekette dört engelli yolda ivme değişimi fft cevabı.....	175
Şekil 8.37	20 km/h sabit hızla harekette dört engelli yolda ivme değişimi (wavelet filtrasyonu uygulanmış hali)	176
Şekil 8.38	20 km/h sabit hızla harekette dört engelli yolda ivme değişimi fft cevabı (wavelet filtrasyonu uygulanmış hali).....	176
Şekil 8.39	30 km/h sabit hızla harekette engelsiz yolda ivme değişimi	177
Şekil 8.40	30 km/h sabit hızla harekette engelsiz yolda ivme değişimi fft cevabı	177
Şekil 8.41	30 km/h sabit hızla harekette dört engelli yolda ivme değişimi	178
Şekil 8.42	30 km/h sabit hızla harekette dört engelli yolda ivme değişimi fft cevabı.....	178
Şekil 8.43	30 km/h sabit hızla harekette dört engelli yolda ivme değişimi (wavelet filtrasyonu uygulanmış hali)	179
Şekil 8.44	30 km/h sabit hızla harekette dört engelli yolda ivme değişimi (wavelet filtrasyonu uygulanmış hali)	179
Şekil 8.45	Strain –gage lerin taşıta yapııştırıldığı noktalar.....	180
Şekil 8.46	Statik yükleme	181
Şekil 8.47	Üç kablolu kendinden kompensasyonlu strain-gage ile çeyrek köprü oluşturulması.....	181
Şekil 9.1	Rijit gövdeli model simülasyon sonuçları ve deneysel sonuçların karşılaştırılması.....	186
Şekil 9.2	Statik yükleme altında taşıttaki gerilme dağılımı	190
Şekil 10.1	Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin maksimum düşey yer değiştirmeleri.....	220
Şekil 10.2	Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin maksimum düşey yer değiştirmeleri.....	220
Şekil 10.3	Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki maksimum açılma sapmaları (Kafa vurma)	221
Şekil 10.4	Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin maksimum düşey yer değiştirmeleri.....	221
Şekil 10.5	Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki maksimum açılma sapmaları (Kafa vurma)	222
Şekil 10.6	Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin maksimum düşey yer	

değiştirmeleri.....	222
Şekil 10.7 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin maksimum düşey yer değiştirmeleri.....	223
Şekil 10.8 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki maksimum açısal sapmaları (Kafa vurma)	223
Şekil 10.9 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin maksimum düşey yer değiştirmeleri.....	224
Şekil 10.10 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki maksimum açısal sapmaları (Kafa vurma)	224
Şekil 10.11 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin(m_1 kütlesi) maksimum düşey yer değiştirmeleri.....	225
Şekil 10.12 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_2 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri ...	225
Şekil 10.13 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin(m_1 kütlesi) maksimum düşey yer değiştirmeleri.....	226
Şekil 10.14 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin (m_1 kütlesi) z eksenini etrafındaki maksimum açısal sapmaları (Kafa vurma).....	226
Şekil 10.15 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_2 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri ...	227
Şekil 10.16 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_3 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri	227
Şekil 10.17 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_4 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri ...	228
Şekil 10.18 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin(m_1 kütlesi) maksimum düşey yer değiştirmeleri.....	228
Şekil 10.19 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin (m_1 kütlesi) z eksenini etrafındaki maksimum açısal sapmaları (Kafa vurma).....	229
Şekil 10.20 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_2 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri ...	229
Şekil 10.21 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_3 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri ...	230
Şekil 10.22 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_4 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri ...	230
Şekil 10.23 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_5 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri ...	231
Şekil 10.24 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_6 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri ...	231
Şekil 10.25 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_7 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri	232
Şekil 11.1 1. Mod şekli (kafa vurma).....	233
Şekil 11.2 2. Mod şekli (Aşağı - Yukarı)	233
Şekil 11.3 3. Mod şekli (Yalpa)	234
Şekil 11.4 4. Mod şekli.....	234
Şekil 11.5 5. Mod şekli.....	235
Şekil 11.6 6. Mod şekli.....	235
Şekil 11.7 7. Mod şekli.....	236
Şekil 11.8 8. Mod şekli.....	236
Şekil 11.9 9. Mod şekli.....	237
Şekil 11.10 10. Mod şekli.....	237
Şekil 12.1 1. Mod şekli.....	238
Şekil 12.2 2. Mod şekli.....	238
Şekil 12.3 3. Mod şekli.....	239
Şekil 12.4 4. Mod şekli.....	239
Şekil 12.5 5. Mod şekli.....	240
Şekil 12.6 6. Mod şekli.....	240
Şekil 12.7 7. Mod şekli.....	241
Şekil 12.8 8. Mod şekli.....	241
Şekil 12.9 9. Mod şekli.....	242
Şekil 12.10 10. Mod şekli.....	242
Şekil 13.1 1. Mod şekli.....	243
Şekil 13.2 2. Mod şekli.....	243
Şekil 13.3 3. Mod şekli.....	244

Şekil 13.4	4. Mod şekli.....	244
Şekil 13.5	5. Mod şekli.....	245
Şekil 13.6	6. Mod şekli.....	245
Şekil 13.7	7. Mod şekli.....	246
Şekil 13.8	8. Mod şekli.....	246
Şekil 13.9	9. Mod şekli.....	247
Şekli 13.10	10.mod şekli	247
Şekil 14.1	1. Mod şekli.....	248
Şekil 14.2	2. Mod şekli.....	248
Şekil 14.3	3. Mod şekli.....	249
Şekil 14.4	4. Mod şekli.....	249
Şekil 14.5	5. Mod şekli.....	250
Şekil 14.6	6. Mod şekli.....	250
Şekil 14.7	7. Mod şekli.....	251
Şekil 14.8	8. Mod şekli.....	251
Şekil 14.9	9. Mod şekli.....	252
Şekil 14.10	10. Mod şekli.....	252



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 4.1 Sınır koşulları	131
Çizelge 9.1 Rijit gövdeli ve elastik gövdeli model frekans analiz sonuçlarının karşılaştırılması	186
Çizelge 9.2 Teorik ve deneysel birim şekil değiştirmelerin karşılaştırılması.....	190
Çizelge 9.3 Yüklü anfibik taşıt deneysel ve teorik frekans sonuçlarının karşılaştırılması.....	192
Çizelge 9.4 Yüklü anfibik taşıt deneysel ve teorik frekans sonuçlarının karşılaştırılması.....	193
Çizelge 9.5 Yüksüz anfibik olmayan taşıtın teorik frekans sonuçlarının karşılaştırılması.....	194
Çizelge 9.6 Yüksüz anfibik olmayan taşıtın teorik frekans sonuçlarının karşılaştırılması.....	195



ÖNSÖZ

Tezin hazırlanması esnasında, her türlü bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım değerli hocam Prof. Necati Tahralı 'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen; Prof. Dr. Faris Kaya, Prof. Dr. Tuncer Toprak, .K.K.K. 1013 Ordu Donatım Ana Tamir Fabrikası Teknik Müdürü Kd. Albay Serdar Ayaroğlu ve fabrika çalışanlarına, ayrıca değerli önerilerinden dolayı Doç. Dr. İsmail Yüksek 'e teşekkürlerimi borç bilirim.



ÖZET

Altı tekerleğinden tahrik edilen (6x6) taşıtların arazideki seyir durumları ve performansları çok iyi olduğundan özellikle askeri amaçlı kullanılması yaygındır. Hafif savaş taşıtı ve silahlı personel taşıyıcı olarak kullanılabilen taşıt, ağır silahlı taşıtlara ve orduya destek açısından giderek artan bir öneme sahiptir. Dolayısıyla hafif savaş taşıtlarının dinamik analizleri, güvenilirlik ve performans açısından önemlidir.

(6x6) Taşıtların sahip oldukları avantajlara rağmen literatürde yapısal ve dinamik analizleri üzerine yayınlanmış çalışma yok denecek kadar azdır. Literatürde genel olarak dört tekerlekli taşıtların dinamik durumları analitik ve deneysel olarak incelenmektedir.

Tezde incelenen taşıt askeri amaçlı olup, altı tekerleğinden tahrikli (6x6) arazi taşıtıdır. Üzerine monte edilen havan topu ile atış da yapılabilmektedir. Taşıtın seyir ve atış durumlarındaki dinamik ve gerilme analizleri teorik ve deneysel olarak yapıldı. Titreşim cevapları ve gerilmeler elde edildi. Hasar durumu ve taşıt titreşim cevapları incelendi. Taşıtın frekans analizi deneysel ve teorik olarak yapılarak serbest titreşim karakteristikleri (doğal frekanslar ve mod şekilleri) elde edildi. Tezde hem deneysel hem de teorik sonuçlar elde edilerek birbirleriyle karşılaştırıldı. Deneysel çalışmalarda kullanılan taşıt, 1013 Ordu Donatım A.T. Tuzla Jeep Fabrikasında tasarlanmış ve prototip olarak imal edilmiştir.

Modelleme de iki yaklaşım tipi kullanıldı; İlk modelleme yaklaşımında, taşıt gövdesi rijit, tekerlekler elastik ve sönümlü, zemin rijit kabulüyle, literatürde tam model, yarım model ve çeyrek model adı verilen dinamik modeller taşıta uygulandı. Yol en genel halde sinusoidal kabul edilerek, taşıt modellerinin frekans cevap eğrileri, hıza bağlı olarak MATLAB'de yazılan programla elde edildi. İncelemeler süspansiyonlu ve süspansiyonsuz taşıt için yapıldı. Frekans cevap eğrilerinin süspansiyon ve yay katsayılarının değişiminden nasıl etkilendiği incelendi. Taşıt denklemleri durum uzayında ifade edilerek, MATLAB'de oluşturulan program ile çeşitli yol tipleri ve havan silahı atışı için taşıt titreşim cevapları bulundu. Taşıtın darbe etkisinde titreşim cevapları ve havan silahı atışından kalan titreşimin sonraki atışa etkisi süspansiyonlu ve süspansiyonsuz taşıt için incelendi.

Altı tekerlekli taşıt için yol üzerinde, arazi şartlarının dinamik eşdeğeri olabilecek, bir ve daha fazla dikdörtgen engeller oluşturularak, taşıt üzerinden geçirildi. Taşıtın titreşim cevabı, bu yol tipleri için BK 2515 spektrum analizörü ile ölçüldü. Teorik ve deneysel sonuçlar karşılaştırıldı ve grafikler yorumlandı.

Bir dinamik sistemin doğal frekanslarının ve mod şekillerinin bulunması veya diğer adıyla frekans analizi, yapının dinamik karakteristiklerini ortaya koyması, dinamik yükler altında nasıl bir cevap vereceğinin belirlenmesi açısından önemlidir. İkinci modelleme yaklaşımında, taşıt gövdesi, elastik, tekerlekler elastik ve sönümlü, zemin rijit kabulüyle modelleme yaklaşımıyla taşıtın sonlu elemanlar modeli kafes giriş (frame) elemanlar kullanılarak MATLAB ve ANSYS'de oluşturuldu. Anfibik ve anfibik olmayan taşıtın frekans analizi oluşturulan programlarla yapıldı. Taşıtın frekans analizi deneysel olarak, sinüs-stüptürme yöntemi ve darbe yöntemi kullanılarak yapıldı. Teorik ve deneysel sonuçlar karşılaştırıldı.

Frekans analizi ile gerçekleştirilen model, taşıt karkas yapısında ki gerilme ve emniyet durumunu incelemek için kullanıldı. Taşıt yapısı, statik yüklemeler ve havan silahı ile atış anında oluşan geri tepme kuvveti için ANSYS'de incelendi. Statik yüklemeler ile elde edilen sonuçlar deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldı.

Anahtar Kelimeler: 6x6 Taşıt, Frekans, Gerilme, Titreşim, Analiz, Sonlu Elemanlar

ABSTRACT

Best to our knowledge, six-wheeled vehicles have better driving conditions and performance criteria as compared to four-wheeled vehicles, especially for the use of military. Light combat vehicles and armored personnel carriers are gaining more importance due to support role for both troops and other more heavily armored combat vehicles. The dynamic behaviour of such light weight vehicles is of particular interest to the Army because of the need to ensure survivability. Although, the six-wheeled vehicles have better features, in literature, there has been no dynamic analysis carried out on those vehicles. Generally, dynamic analysis of four wheeled vehicle has been undertaken.

The vehicle which is investigated in this work, is designed and manufactured at “1013 Ordu Donatım A.T. Tuzla Jeep Fabrikası”. The vehicle is designed to operate on off-road conditions and for military purposes. The vibrations of the vehicle under the conditions of firing and riding are investigated. The modal analysis of a six-wheeled vehicle has been proposed in this work by means of computational and experimental methods. Stress analysis of the vehicle was made for firing. Safety and vibration of vehicle were investigated

In modelling the vehicle, elastic body and rigid body techniques were used in computational methods. The first approach in modelling of the vehicle is discrete mass model as rigid body. And tires were modelled as a spring and dashpot elements. Various dynamic models for vehicle were introduced and then the equations of motion were derived. The road was considered as sinusoidal function. Then the response of the vehicle in frequency domain was studied, considering the changes of spring and dashpot elements in MATLAB. Investigations were made both for the vehicles with or without the suspension systems. The equations of motion were transferred to state-space form to apply firing the condition and various road profiles to be easily modelled in MATLAB. The vibrations of the vehicle that resulted from above mentioned inputs were investigated.

In experimental studies, one and four rectangle profiles constructed on road to form equivalent road conditions similar to terrain conditions. Vibration measurements were taken from several places (driver seat location etc.) by B&K 2515 vibration analyser. Finally, the results obtained from experiment were compared with the calculated results

The modal analysis of the vehicle is important to find natural frequencies and mode shapes for understanding the dynamic characteristics of structure and how behaves under dynamic loads.

The second approach in modelling a vehicle is elastic body. Therefore a three – dimensional finite element model was generated using beam elements and shell elements in ANSYS. The tires were modelled as a spring and dashpot elements. The components of the vehicle, such as gas tank, main engine etc. have been modelled as lumped masses on their original locations. Impulse excitation using a hammer and excitation with an electrodynamic shaker driven by a sinusoidal signal were used to measure the frequency response of the system. Vibration measurements were taken from several places (driver seat location etc.) by B&K 2515 vibration analyser. Finally, the results obtained from the experiments were compared with the calculated results and a good agreement between these results was obtained.

In the model validated by modal analysis, Stress analysis of the vehicle structure was made under the conditions of firing and static loading. Static loading results were compared with the results obtained from the experiment.

Key Words: 6x6 Vehicle, Frequency, Stress, Vibration, Analysis, FEM

1 GİRİŞ

Dinamik hareketler, mekanik yapı ve sistemlerde, titreşim, gürültü ve hasar problemlerine yol açmaktadırlar. Bu hareketler yapıya ait, kütle ve elastik özellikleri ile uygulanan kuvvet arasındaki kompleks ilişkiye bağlı olarak değişim göstermektedirler. Sistemlerin ve sistemleri oluşturan bileşenlerin tasarım aşamasında dinamik davranışını anlamak, büyük bir öneme sahiptir. Tahrik frekanslarının rezonans bölgelerine yakın olması durumunda, sistemlerin (konstrüksiyonun) dinamik davranışlarının incelenmesi çok daha önem kazanır. Rezonans bölgesindeki genliklerin büyük olması sisteme zarar verebilir. Bu durumda sistemin dinamik analizlerinin, teorik ve deneysel olarak yapılması ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

Karmaşık bir dinamik sistem olan taşıtların, günlük hayatımızda ayrı bir önemi vardır. Taşıtlar; gövdeleri, aksları, motoru ve aktarma organları ile düzgünsüz yollarda, titreşim sistemi gibi davranırlar. Titreşimler taşıtlarda; seyahat konforunu azaltır, gürültüyü artırır, aşınma, yorulma ve kırılma gibi hasarların meydana gelmesine sebep olmaktadır. Taşıtların dinamik davranışlarını kontrol etmek için süspansiyon sistemleri ve titreşim izolasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Taşıt süspansiyon sistemleri taşıtın kullanılacağı amaç doğrultusunda, pasif, yarı aktif ve aktif süspansiyon sistemleri olarak tasarımı yapılmaktadır.

Özel amaçla tasarlanan taşıtlarda, titreşime sebep olan dış kuvvet ve momentler, binek tipi taşıtlardakinden farklı sebeplerde oluşabilmektedir. Taşıttan beklenen sadece konfor olması durumunda iyi bir yol ve günümüz teknolojisinin imkan verdiği aktif süspansiyon tasarımı ile problemi çözmek mümkündür. Fakat askeri veya arazi amaçlı olarak kullanılacak bir taşıtta durum biraz daha farklıdır. Bu tip taşıtlarda, kullanılacağı arazi şartları ve kullanım amacı çok önem arz etmektedir.

Arazi taşıtları, motorlu taşıtlar içinde, yol şartları ve kullanım şekli olarak, en zor durumlara maruz kalırlar. Altı tekerleğinden tahrik edilen (6x6) taşıtların arazideki seyir durumları ve performansları çok iyidir. Sahip olduğu avantajlardan dolayı, askeri amaçlı, hafif savaş aracı ve silahlı personel taşıyıcı olarak kullanılmaktadır. Bu tip taşıtlar ağır silahlı taşıtlara ve orduya destek açısından giderek artan bir öneme sahiptirler. Dolayısıyla bu tip taşıtların dinamik analizleri, güvenilirlik ve performansa ihtiyaçlarından dolayı askerleri özellikle ilgilendirmektedir. Taşıt özel maksatlı veya askeri amaçlarla kullanılacaksa (havan topu atışı ve zor arazi şartları gibi), taşıt yapısı ve dinamik davranışlarının teorik ve deneysel olarak incelenmesi gerekmektedir.

Taşıt dinamik analizinin yapılmasıyla elde edilecek yararlar aşağıdaki gibi verilebilir;

- Taşıtın yapısal zayıflıklarını belirlemek ve bunların giderilmesi yönünde çalışmalar yapmak
- Taşıt performansını arttırmak
- Taşıt ömrünü gerçek işletme şartlarına göre hesaplamak
- Taşıtlarda oluşabilecek hasarları önlemek
- Taşıt kütleini azaltmak
- Taşıtın tasarım ve geliştirme aşamalarına yardımcı olmak
- Taşıt bakım masraflarını azaltmak

Karayolları için tasarlanan taşıtların başka amaçlarla kullanılması halinde performanslarının bozulacağı kesindir. Bu durumda taşıt tasarımı esnasında en önemli unsur taşıtın hangi amaçla kullanılacağıdır. Bundan sonra yapılacak işlem bu amaçlarda kullanılacak sınır şartlarının oluşturulmasıdır. Bu sınır şartlarını sağlayan ve amaç fonksiyonunu gerçekleştirebilecek tasarım ise araştırmacılara konu olmaktadır. Bunları gerçekleştirebilmek için yukarıda anlatılan teorik çalışmalarda en önemli husus modelin gerçeğe yakın olmasıdır. Gerçek sistemler nonlinear yapıda ve sürekli sistemlerdir. Nonlinear ve sürekli sistemlerin çözümlerinin kolay yapılamaması araştırmacıları sonlu elemanlar yaklaşımı kullanan ve sürekli sistemlerin çözümlerine imkan veren paket programları geliştirmeye yöneltmiştir. Geliştirilen programlardan Nastran, Ansys, Patran, Cosmos vs. dir. Bu paket programlarının diğer bir avantajı dinamik analiz yanında gerilme analizlerinin de yapılabilmesidir

Günümüzde pek çok pratik ve teorik araştırmada, sistemlerin dinamik analizi için sonlu elemanlar metodu kullanılmaktadır. Fakat Sonlu elemanlar metodunun ve modelin güvenilirliği, ağ yapısına, eleman boyuna ve kabullere bağlı olduğu için, titreşim analizörleriyle yapılan dinamik testlerle (frekans analizi vb.), modelin doğrulanması gerekmektedir. Frekans analizi (Modal analiz) bu doğrulama için en çok kullanılan test yöntemidir. Frekans analizi ile, elastik bir yapının dinamik özelliklerini, titreşim modlarını tanımlayarak belirleyebiliriz.

Frekans analizi aşağıdaki sebeplerden dolayı önemlidir:

- a) Analitik modeli doğrulamak: eğer fiziksel modelle uygun sonuçlar çıkarsa bu analitik

1.1 Literatür Değerlendirmesi ve Modelleme Yaklaşımları

(6x6) Taşıtların sahip oldukları avantajlara rağmen literatürde yapısal ve dinamik analizleri üzerine fazla yayın yapılmamıştır. Genel olarak dört tekerlekli taşıtların dinamik durumları analitik ve deneysel olarak incelenmektedir.

Taşıtların dinamik analizlerini yapmak için literatürde iki yaklaşım tipi vardır.

a) Analitik yöntemler :

Sistemin matematik modelini elde etmek esasına dayanır ve iki yöntem kullanılır;

1- Taşıt, yay ve sönüm elemanlarıyla birbirlerine bağlı ayırık kütlelerden oluşmaktadır.

Bu sistem adi diferansiyel denklemlerle ifade edilebilir.

2- Taşıt gövdesi elastik olarak kabul edilir ve sistem kısmi türevli diferansiyel denklemlerle veya sonlu elemanlarla gösterilebilir.

b) Deneysel yöntemler: :

1- Frekans Analizi (Modal Analiz); sistemin dinamik karakteristiklerini deneysel olarak bulabilmek için çeşitli metodlar vardır. Yapıyı tahrik etmek için, darbe (impulse) ve elektromagnetik titreşim üretici kullanılabilmektedir. Elektromagnetik titreşim üreticisini tahrik etmek için; Pseudo-random veya sinüs sinyali kullanılabilmektedir. Sinüs süpürmesi yönteminde(sine-sweep), değişken frekans değerlerinde harmonik kuvvet uygulayan titreşim üretici (shaker) sisteme bağlanarak, sistemin titreşim cevapları belirli frekans aralıklarında ölçülür. Darbe yönteminde ise çekiç ile darbe verilen sistemin cevabı titreşim analizörü ile frekans düzleminde ölçülerek yapılır.

2- Yapının dinamik davranışlarını görmek için, çeşitli yol fonksiyonları karşısındaki titreşim cevapları frekans veya zaman düzleminde titreşim analizörüyle ölçülür.

Deneysel yöntemler, taşıt prototipini kullanmaya dayanmaktadır ve teknolojik donanımlar gerektirmektedir. Bu yöntemlerin avantajı ise doğruluğunun kesin olmasıdır. Dezavantajlar olarak;

a) deneysel teçhizatın maliyeti

b) elde edilen sonuçların yalnız test edilen taşıta mahsus olması gösterilebilir.

Taşıt titreşimleri konusunda analitik veya deneysel yöntemlerle yapılan bir çok çalışma vardır. Öncelikle **Rijit gövde** yaklaşımını esas alan çalışmalar aşağıdaki gibi verilebilir.

Bir çok araştırmacı taşıtı; rijit gövde, aks, süspansiyon elemanları ve lastiklerden oluşan dinamik bir model olarak ele almıştır (Sharp et al,1986), (Chalasani,1986), (Demic,1990). Titreşime neden olan dış etkilerin de, yol düzgünlüğünden kaynaklandığını kabul etmişlerdir.

Bugüne kadar yapılan araştırmaların çoğunda taşıt, simetrik olduğundan dörtte bir olarak modellenmiştir (Chalasani,1986), (Demic,1990), (Gobbi ve Mastini,1998). Bu modelleme yaklaşımı, 1/4 taşıt modeli (Quarter car), çok basit olması ve taşıt titreşimleri hakkında yeterli bilgiyi verdiği için önemli bir yere sahiptir bu yüzden tezde benzer tarzda altı tekerlekli taşıt için literatürde olmayan 1/6 taşıt modeli oluşturuldu.

Altı tekerenden tahrikli (6x6) özel amaçlı taşıt için bulunan tek çalışma da ise Huh ve Hong (2000) özel amaçlı, altı tekerleğinden tahrikli bir taşıtın kullanım performansını incelemişlerdir. Taşıt ayırık kütlelerden oluşturulmuş ve 18 serbestlik dereceli olarak modellenmiştir. Bu çalışmada taşıtın arazideki manevra karakteristikleri incelenmiştir. Tekerlek modelini oluşturmada nonlinear ve kinematik etkileri gözönüne almışlardır. Taşıtın simülasyonu MATLAB / SIMULINK de hazırlanarak giriş ve çıkış parametrelerinin kolaylıkla kontrol edilmesi sağlanmıştır. Taşıtta manevra sırasında, orta tekerlek etkisinin ihmal edilemeyeceğini göstermişlerdir.

Altı tekerleğinden tahrikli taşıtın, dinamik karakteristikleri ve titreşim cevapları üzerine literatürde yapılmış bir çalışma bulunamamıştır.

Miroslave(1997) taşıt titreşimlerini parametrik olarak incelemiştir. Bu amaçla oluşturduğu yedi serbestlik dereceli rijit gövdeli taşıt modelinde, yer değiştirmeleri, kütle ve atalet momentlerini parametrik olarak kabul ederek pratikte de kullanılabilecek bir yöntem geliştirmiştir.

Süspansiyon sisteminin ana görevi, taşıt gövdesini yoldan gelen etkilere karşı izole etmektir. Elbeheiry ve diğerleri (1996) taşıtı literatürde, çeyrek model olarak bilinen yaklaşımla rastgele titreşimler karşısında taşıt titreşimlerini minimize edecek, optimum süspansiyon deplasmanını bulmuşlardır.

Kaya(1986) beş serbestlik dereceli bir modelde, hız, ağırlık, süspansiyon sistemi sönüm ve yay katsayılarının değişik değerleri için, yol şartlarını sinüzoidal kabul ederek taşıt

titreşimlerini incelemiştir.

Yüksek (1995) taşıt titreşim genliklerinin maksimum değerlerini minimize edecek optimum süspansiyon elemanlarının tasarımını yapmıştır. Bu amaçla basitten genele olmak üzere taşıtın farklı dinamik modellerini oluşturup hareket denklemlerini elde etmiştir. Optimizasyon formülasyonu simpleks lineer programlama tekniği ile yapılmıştır.

Ahmed ve Goupillon(1997) bir tarım traktörünün sürücü koltuğuna iletilen titreşimleri tahmin edebilmek için , tekerlek, gövde ve koltuk süspansiyon sistemini içine alan analitik bir model geliştirmişlerdir. Bu modelde gövde ve koltuk süspansiyon sisteminin rijitlik ve sönüm katsayıları için nonlinear etkiler de gözönüne alınmıştır. Teorik sonuçlar, deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Bazı taşıtlar da (otobüs, vagon vb.) klasik rijit gövde analizi çoğu dinamik problemlerin çözümü için yetersiz kalmaktadır. Bu gibi yapılarda, karkas yapı giriş elemanlardan oluştuğu için modellemeler de gövde elastikliği ihmal edilemez boyuttur. **Elastik gövde** modelleme yaklaşımı bu gibi durumlarda kaçınılmazdır. Bu modelleme de iki yaklaşım vardır. Birinci yaklaşımda, gövde elastik alt parçalara ayrılarak çözüme gidilir (sonlu elemanlar vb. yöntemler kullanılır). İkinci yaklaşım da ise gövde elastik homojen bir çubuk gibi düşünülerek çözüm yapılır. Elastik gövde yaklaşımı çok sayıda kısmi türevli diferansiyel denklemin çözümünü gerektirmektedir. Bu da çözümü zorlaştırmaktadır. Sonlu elemanlar metodu (SEM) homojen olmayan fiziksel özelliklere sahip kompleks yapılara uygulanabilmesiyle ve gelişen bilgisayar teknolojisi sayesinde, elastik gövde modelleme yaklaşımı için avantajlar sağlamaktadır.

Ramamurti ve Sujatha (1990) bir otobüs için, iki farklı sonlu elemanlar modeli geliştirmişlerdir. Bu modeller için Lanczos iterasyon metoduyla 0-50 Hz aralığında otuz tane doğal frekans değeri bulmuşlardır. İlk model, şasi elemanlarını, aksları, süspansiyon ve tekerleklerden oluşmaktadır. Üst yapıyı, uygun nodlara kütleler olarak yerleştirmişlerdir. İkinci model daha kapsamlı olup, üst yapının giriş elemanlarını ve otobüs gövdesindeki plakları kapsamaktadır. Modellerde herbir nodunda altı serbestlik dereceli giriş eleman kullanılmıştır. Yine otobüs gövdesi ve yer için her bir nodunda altı serbestlik dereceli düzlem üçgen elemanlar kullanılmıştır. Doğal frekans değerlerini iki model için de elde etmişler ve test sonuçları ile karşılaştırmışlardır. İlk iki doğal frekans değerini basitleştirilmiş iki serbestlik dereceli sistem için de ayrı olarak elde etmişler ve diğer sonuçlarla karşılaştırmışlardır.

Szöke ve Horvath (1998) taşıtların ayırık damperle dinamik analizini, sonlu elemanlar metodunu kullanılarak NASTRAN programında yapmışlardır.

S.Horvath ve diğerleri(1985), bir otobüs için, literatürde yarım taşıt modeli olarak adlandırılan, dört serbestlik dereceli bir model oluşturmuşlardır. Gövdenin, rijit ve elastik olarak modellenmesine göre, şasinin uygun yerlerine kütleler konularak, yolcu yükünün dinamik gerilmelere etkisini incelemişlerdir.

Michelberger ve Szöke(1985), otobüsü homojen bir çubuk olarak düşünüp, iki boyutlu elastik gövde olarak modellemişlerdir. Taşıtın cevap fonksiyonlarından, herhangi bir noktanın titreşim ve gerilme karakteristiklerini belirlemişlerdir. Aynı taşıt modelini kullanarak, hız ve yol şartları değişiminin, taşıt titreşim cevaplarını nasıl etkilediğini incelemişlerdir.

Shinji ve Masaru (1990) bir taşıt için kiriş ve kabuk elemanlar kullanarak basit bir model oluşturmuşlardır. Bu modeli, ağırlığı, doğal frekans ve deplasman koşulları için optimize etmişlerdir. Takayuki ve diğerleri(2001) traktör şasisini parçalara ayırarak her bir parçanın titreşim karakteristikleri ve kabin içindeki gürültü karakteristiklerini ölçmüşlerdir. Bu parçaların sonlu elemanlar modeli oluşturularak, deney sonuçlarıyla karşılaştırmışlar ve modeli gerçekleştirmişler. Minimum kabin içi gürültü ve titreşim için yapıyı optimize etmişlerdir. Gobbi ve Mastinu(1998) rastgele profilli bir yol için çeyrek taşıt modelinde yorulma hasarlarını Rychlik metoduyla hesaplamışlardır.

Zhi-Xin ve diğerleri (1999) bir arazi taşıtı için beş serbestlik dereceli bir model oluşturarak, arazi koşulları için düşey titreşimleri hıza bağlı olarak incelemişlerdir. Yolun toprak olmasını da hesaplarda gözönüne almışlardır. Taşıt titreşim cevapları zaman ve frekans düzleminde simülasyonla elde edilmiştir. Test ve simülasyon sonuçları arasında uygunluk elde etmişlerdir. Taşıt titreşimlerini, yapıda değişikliklere giderek optimize etmeye çalışmışlardır.

Quing-zu ve diğerleri (1988) seyir halindeki traktör kolu üzerinden titreşim değerlerini ölçerek değerlendirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlardan titreşimlerin sürücü sağlığını etkilediğini görmüşlerdir. Titreşim kaynakları ve yapının dinamik davranışı arasındaki ilişkiyi analiz edebilmek için modal analiz yapmışlardır. Sonuçlardan ikinci doğal frekansın motor frekansı ile çakıştığını görmüşlerdir. Yapı üzerinde bazı değişiklikler yaparak bu durumu ortadan kaldırmışlardır. Yeni taşıtın zorlanmış titreşimlerini simülasyonla elde etmişlerdir.

Korkmaz ve Karadağ (1990) kompleks bir taşıtı, sürekli elastik çubuk, noktasal kütleler ve yay-sönüm-kütle elemanlarından oluşan bir sistem olarak düşünüp kombine sonlu elemanlar – transfer matrisi tekniği ile sönümlü ve sönümsüz durumlar için özdeğer problemini

çözmüşlerdir. Deneysel sonuçları teoriyle karşılaştırmışlardır.

Richard(1980),vagon gövdesini, iki elastik mesnet üzerinde oturmuş bir Euler-Bernoulli çubuğu olarak modellemiş ve elastik mesnetlerin farklı parametrelerinin sistemin doğal frekansları üzerindeki etkilerini incelemiştir. Vagon sisteminin dinamik eşdeğer modeli geliştirilerek , toplu kütleli ve sürekli elastik kiriş sistem modelleri sönümlü ve sönümsüz haller için ayrı ayrı ele alınmıştır. Bu haller için özdeğer problemleri çözülmüştür(Aba ve Karadağ,1993).

Michelberger vd.(1988), taşıt yapılarının gerilme ve yorulma analizi için yükü, yol düzgünlüğünü ve hızı değişken olarak kabul eden elastik kiriş, yay,kütle ve sönüm elemanlarından oluşan bir model geliştirmişlerdir.

Ereke ve Yay(1997) tam taşıt modeli için çiftkatlı bir otobüsün modelini, SDRC-IDEAS programında oluşturmuşlardır. Üç ayrı zorlama şartı için gerilme analizini yaparak maksimum gerilmeleri ve yerlerini tesbit etmişlerdir.

Lennart ve Per-Olof (1987) lineer bir otobüs modelinin, geçici dinamik analizini yapmışlardır. Taşıt bir kasis üzerinden geçirilerek şasi ve aksdan ölçümler yapılmıştır. Modellemede otobüsün değişik parçaları, üniform Rayleigh-Timeshenko kiriş ve rijit olarak kabul edilmiştir. Kasis fast Fourier transfor tekniği kullanarak oluşturulmuştur. Eriksson ve Friberg(2000) bir şehir otobüsünün seyir konforunu, güç ünitesinin yataklarındaki sönüm ve yay katsayılarını değiştirerek optimize etmişlerdir. Otobüs titreşim cevabı yol düzgünlüğünden kaynaklandığı kabul edilerek, sonlu elemanlar modelini, kiriş ,kabuk,yay ve kütle elemanlarıyla IDEAS programında geliştirmişlerdir. Deney sonuçları ile teorik sonuçlar karşılaştırmışlardır.

Gupta(1999) silahlı bir tankın doğal frekans analizini, deneysel ve sonlu elemanlar yöntemini kullanarak simülasyonla, yaparak sonuçları karşılaştırmıştır. Model ana gövde, kule ve 105 mm (cannon model) namludan oluşmaktadır. Sonlu elemanlar modelinin oluşturulmasında, parçaların birleştirilmesi ve temas yüzeylerinin oluşturulması kısmı PATRAN , rijit bağlantıların oluşturulması kısmında ADINA programlarını kullanmıştır. Modelleme aşamasında motor ve aktarma organlarının toplam kütlelerini, eşdeğer kütleli rijit blok olarak düşünmüştür ve bu rijit bloğu dört kütsüz rijit kirişle gövdeye bağlamıştır.

Harnett vd.(1996) kiriş elemanlardan oluşan bir petrol platformu için bir nodunda altı serbestlik derecesi olan kiriş eleman kullanmıştır. Bu elemanda kesme gerilmeleri ihmal edilmiş olup yalnızca aksiyal, eğilme ve burulma deformasyonları gözönüne alınmıştır.

Wang ve diğerleri (1997) sonlu elemanlar metodu yöntemini kullanarak köprünün dinamik karakteristikleri olan mod şekilleri ve doğal frekanslarını belirlemişlerdir. Sonlu eleman modelini, SDRC-IDEAS programında oluşturup çözümü gerçekleştirmişlerdir. Test datalarından elde ettikleri değerlerle karşılaştırmışlardır.

Sonlu elemanlar metodu, zamana bağlı dış kuvvetlerin etki ettiği taşıtların yapısal titreşim analizi problemine çok uzun zamandan beri uygulanmaktadır. Bununla birlikte, taşıt yapısında meydana gelen dinamik etkiler taşıt hareketleri ile oluşmaktadır (aerodinamik ve tekerlek kuvvetleri, yoldan kaynaklanan kuvvetler vs). Bu noktadan hareketle Kutu (2001), taşıtın lokal (yapısal titreşimler) ve global (tüm sistemin hareketi) dinamik davranışları beraber belirleyen sonlu elemanlar tabanlı bir yöntem geliştirmiştir. Şasinin elastik deformasyonunun, taşıtın tüm hareketlerine etkisini, basit bir kamyonu sonlu elemanlar ile modelleyerek sayısal olarak göstermiştir. Model 1874 serbestlik derecesine sahiptir.

Taşıt modellenmesinde tekerlek için çeşitli yaklaşımlar vardır. Bu yaklaşımlar içinde en yaygın olarak kullanılanı ise tekerleği bir yay, sönüm elemanı ve kütle olarak göstermektir. Soron ve Goel(2000) dönen bir tekerleğin dinamik rijitliğini ve sönüm katsayısını belirlemek için laboratuvar tekniği geliştirmişlerdir. Normal yükün, tekerlek hava basıncının ve hızın dinamik rijitlik ve sönüm katsayısı üzerine etkilerini dört tekerlek tipi için rapor olarak hazırlamışlardır. Özlü ve Güney(1997) oluşturdukları üç boyutlu bir taşıt titreşim modeli için tekerleğin sönüm katsayısının seyir emniyetine ve titreşim konforuna etkilerini incelemişlerdir. Tekerlek sönüm katsayısının tanımlamasında kullanılan üç yöntemde kullanılarak sonuçlar arasında karşılaştırma yapılmıştır. Guo(1993) çeşitli darbe girişleri için taşıt titreşimlerini incelemiş ve eşdeğer tekerlek temas modelini geliştirmiştir.

Taşıt titreşimlerinin incelenmesinde, yolun modellenmesi de önemli bir yer tutar. Özellikle arazi taşıtlarında yol şartları çok karmaşıktır ve taşıt yoğun olarak titreşime maruz kalacaktır. Bu amaçla yol düzgünsüzlüğünü modellemek için 1970 li yıllardan itibaren bir çok çalışma yapılmıştır. Yol profili genellikle random bir işlem olarak düşünülür ($x(d)$). x ; yol yüksekliği, d ; yol boyunca olan uzaklık olarak tanımlanır. Taşıt yol boyunca V sabit hızı ile giderken random proses olan $x(d)$; yine random proses olan $x(t)$ ye dönüşür. $x(t)$ ise taşıt süspansiyon sistemine tekerlek aracılığıyla gelen girişdir. Random proses $x(d)$ genellikle power spektral yoğunluğa göre radyan veya birim uzaklık başına çevrim olarak, frekans fonksiyonu şeklinde tanımlanır.

Robson ve Dodds yol yüzeyleri için stokastik proses ile yeterli derecede yol modeli

hazırlayarak taşıt cevaplarını incelemişlerdir. Yol düzgünsüzlüğünü, homojen ve isotropik iki boyutlu Gaussian stokastik prosesi ile modellemiş ve simülasyonda kullanılmışlardır (1973),(1975). Power spektral yoğunluğu hesaplamak için değişik yollar vardır ve yayınlanan yol datalarının karşılaştırılmasında PSD nin nasıl tanımlandığını bilmek gerekir Davis ve Thompson(2001) PSD tanımlanmasındaki karışıklığın önüne geçebilmek için yeni bir yöntem geliştirmişlerdir.

Bruscella ve diğerleri (1999) Victorian (Australia) da yediyüz kilometre yolun profil datasını frekans ve genlik düzleminde analiz ederek, ayrı örneklenmiş yol için genel bir metodoloji geliştirmeye çalışmışlardır. Bu çalışmalarında yol profilinin spektral karakteristiklerinin yol pürüzlülüğünden bağımsız olduğunu göstermişlerdir. Yolun spektral ve istatistiksel karakteristikleri üzerine Vincent (1996), Michael (2000) çalışmışlardır.

Yol modellenmesi çalışmalarında, özellikle arazi taşıtları için önemli olan zeminin durumunu gözönüne alan çalışmalarda yapılmıştır. Fassbender ve diğerleri (1997) yumuşak zeminde taşıtın dinamik davranışı ile ilgilenmişlerdir. Simülasyon için iki yöntem kullanmışlardır. Birincisi; rijit gövde simülasyon tabanlı ADAMS programı. Diğer yaklaşım ise sonlu elemanlar yöntemidir. Simülasyon sonuçları ile, yumuşak zeminde yerin deformasyonundan dolayı tekerleğin kendi kendisini tahrik etmesi söz konusudur. Bu durum önceki tekerleğin deformasyonunun, arkadaki tahrik etmesi sonucu daha kritik olmaktadır. Yaptıkları deneysel çalışmayla toprağın dinamik sönümünün parametre tahrik etkisini azalttığını göstermişlerdir.

Elbehery ve Karmapp(1998), çeşitli yol düzgünsüzlükleri için katsayılar kullanarak, taşıt rastgele titreşimleri için sınırlandırılmış süspansiyon deplasmanlı optimal kontrol uygulamışlardır.

Gobbi ve diğerleri (1998), Rastgele profilli bir yolda giden taşıtın ana yapılarının yorulma hasarlarının teorik hesaplamasını yapmışlardır.

Taşıt süspansiyon sistemlerinin aktif kontrolcu tasarımı, yol girişini, darbe fonksiyonu olarak ele almışlardır(Yüksek ve diğerleri,2001)

Modelleme de araştırmacılar, genellikle aşağıda özetlenen matematiksel fonksiyonları kullanmaktadır (Yüksek,1995);

a) Hesaplanabilen yol fonksiyonları

-Harmonik , Peryodik , Peryodik olmayan (adım,darbe,rampa gibi)

b) Rastgele yol fonksiyonları

1.2 Tezin Kapsam ve Amaçları

Literatürde genel olarak dört tekerlekli taşıtların dinamik durumları analitik ve deneysel olarak incelenmiştir. Altı tekerlekli taşıtlar için yapılan literatür taramasında, yapısal analizi ve seyir durumu için dinamik analizi üzerine yayınlanmış çalışma bulunamadı. Taşıtların dinamik modellemesi ile ilgili literatür ve değerlendirmesi bu bölümde verilmiş olup çeşitli yapılar ve taşıtlar için yapıldı. Literatürde dört tekerlekli taşıtlar için kullanılan modelleme teknikleri ve deneysel yöntemler Altı tekerleğinden tahrikli (6x6) taşıta uygulanmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan taşıt, 1013 Ordu Donatım A.T. Tuzla Jeep Fabrikasında tasarlanmış ve prototip olarak imal edilmiştir. Taşıt askeri amaçlı olup, altı tekerleğinden tahrikli(6x6) arazi taşıtıdır. Üzerine monte edilen havan topu ile atış da yapılabilmektedir.

Modelleme de yaklaşım olarak literatürde bulunan iki yöntem kullanıldı;

1. Gövde **elastik**, tekerlek elastik ve sönümlü , zemin rijit kabulüyle modelleme yapıldı. Taşıtın sonlu elemanlar modeli kafes kiriş (frame) elemanlar kullanılarak, MATLAB’de program yazılarak ve ANSYS hazır paket programında oluşturuldu.
2. Gövde **rijit**, tekerlek elastik ve sönümlü, zemin rijit kabulüyle modelleme yapıldı. Bu yaklaşım ile literatürde tam model, yarım model ve çeyrek(altıda bir) model adı verilen matematiksel modeller elde edildi.

Taşıt matematik modellemesinde, literatürdeki genel kabuller gözönünde tutularak:

- a) Yay karakteristikleri lineer,.
- b) Vizkos sönümleyiciler lineer,
- c) Tekerleklerin yol ile temas halinde oldukları ve Hooke kanununa uydukları,
- d) Yoldan tekerleklere gelen kuvvetlerin etkiye noktası temas yüzeyinin ortasında olduğu kabul edildi

Elastik gövde için yapılan modelleme yaklaşımında, kiriş çubuk elemanlar için rijitlik ve kütle matrisleri elde edilerek, MATLAB de doğal frekans analizi yapan bir program oluşturuldu. Bu program ile karkas yapıda yapılacak herhangi bir değişiklik sonrasında

elemanların koordinatlarının girilmesi ile taşıt doğal frekanslarını hesaplanabilmektedir. Daha ileri bir aşama olarak ise taşıtın sonlu elemanlar modeli ANSYS'de BEAM 188 ve Shell 63 elemanları kullanılmak suretiyle oluşturulup, doğal frekans analizi yapıldı. Model ANSYS 'de makro yazarak oluşturuldu. Yazılan makroda kiriş elemanların kesitleri parametrik olarak girilebilmektedir. Böylece yapı elemanlarında yapılabilecek değişiklikler kolayca programa giriş olarak verilebilmektedir.

Yapılan program ve ANSYS den elde edilen teorik doğal frekans değerleri, deneylerde elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldı. Frekans analizi için iki deneysel yöntem kullanıldı;

- 1- Birinci deneysel çalışmada, darbe çekici ve B&K 2515 titreşim analizörü kullanılarak frekans analizi yapıldı.
- 2- İkinci deneysel yöntemde ise titreşim üretici (Shaker) ve sinyal üretici (Signal Jenaratör) yardımıyla sinüs taraması (sine sweep) yöntemi uygulandı.

Taşıtın dinamik davranışını belirleyen serbest titreşim karakteristikleri, doğal frekanslar ve mod şekilleri, çok önemli olmakla birlikte dinamik yükler altındaki davranışları ayrıca belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla rijit gövde yaklaşımıyla yapılan modellemede, yol en genel halde sinusoidal kabul edilerek, taşıt modellerinin frekans cevap eğrileri, hıza bağlı olarak MATLAB'de program yazılarak, çeşitli tekerlek sönüm ve yay katsayıları için elde edildi. Taşıta süspansiyon sistemi takılması durumu için de simülasyonlar gerçekleştirildi. Elde edilen sonuçlardan süspansiyon ve tekerlek yay, sönüm katsayılarının, taşıt hızının, taşıt titreşimi üzerine etkileri incelendi. Rijit gövde için elde edilen matematiksel modellere ait denklemler durum uzayında ifade edilerek, MATLAB'de oluşturulan programda, çeşitli yol fonksiyonları ve havan silahı atış durumu için taşıt titreşim cevapları bulundu. Havan silahı atışı simülasyonunda, arka arkaya yapılan atışlar için, kalan taşıt titreşiminin bir sonraki atışı etkileyip etkilemediği incelendi. Havan silahı atış durumu için, süspansiyon sistemi takılması durumunda taşıt titreşim cevaplarının değişimi simülasyonlarla incelendi.

Taşıtın titreşim cevapları çeşitli yol tipleri için deneysel olarak elde edildi. Altı tekerlekli taşıt için yol üzerinde, arazi şartlarının dinamik eşdeğeri olabilecek, bir ve daha fazla dikdörtgen engeller oluşturularak, taşıt üzerinden geçirildi. Taşıtın bu yol tipleri için titreşim cevabı B&K 2515 titreşim analizörü ile ölçüldü. Teorik ve deneysel sonuçlar karşılaştırıldı ve grafikler yorumlandı.

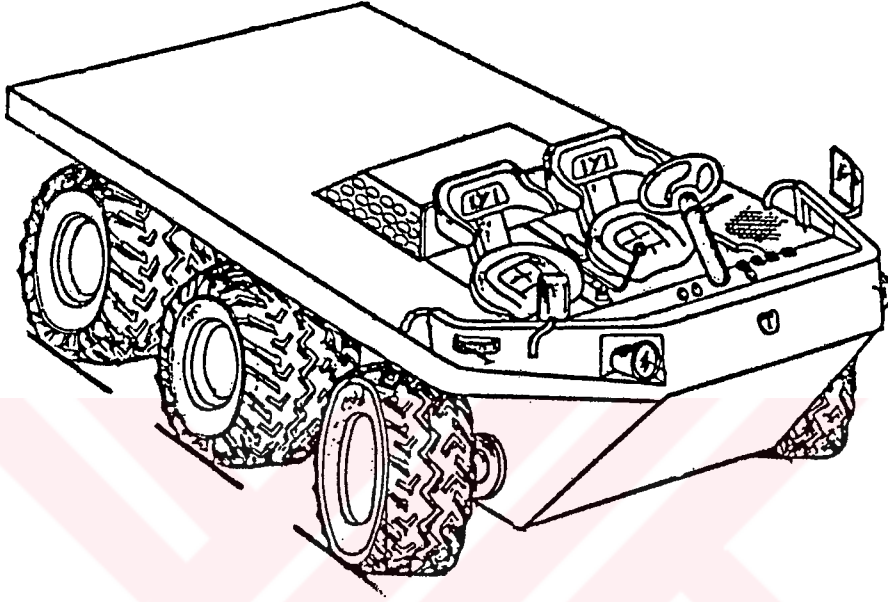
Taşıt yapısal elemanlarının havan silahı ile atış durumunda emniyetli olup olmadığının kontrolü ANSYS deki model ile incelendi. Simülasyon sonuçlarının deneylerle mukayese

edilebilmesi için, taşıt üzerine kurşun ağırlıklar konularak, statik yükleme oluşturuldu. Taşıt üzerinde çeşitli yerlere yapıştırılmış, strain gage'lerden statik yükleme altındaki şekil değiştirme değerleri ölçüldü. Bu statik yüklemenin simülasyonu ANSYS de yapılarak elde edilen değerler strain-gage lerle ölçülen değerlerle karşılaştırıldı. Havan silahı ile atış anında oluşan geri tepme kuvveti modele uygulanarak, taşıt karkas yapısında meydana gelen gerilmeler ANSYS de elde edildi. Gerilme yığılmalarının olduğu yerler tespit edilerek yapının emniyet durumu kontrol edildi.

Tezde, taşıtın seyir ve atış durumlarında, dinamik ve gerilme analizleri, teorik ve deneysel olarak yapıldı. Titreşim cevapları ve gerilmeler elde edildi. Hasar durumu ve taşıt titreşim cevapları incelendi. Taşıt gövde yapısının serbest titreşim karakteristikleri incelenmesi, yapının dinamik davranışlarının ve yapısal zayıflıklarının anlaşılabilmesi için gereklidir. Taşıtın frekans analizi deneysel ve teorik olarak yapılarak serbest titreşim karakteristikleri (doğal frekanslar ve mod şekilleri) elde edildi. Deneysel ve teorik sonuçlar elde edilerek birbirleriyle karşılaştırıldı. Literatürde (6x6) altı tekerleğinden tahrikli taşıtların dinamik analizinde görülen eksikliği gidermiştir.

2 TAŞITIN MATEMATİK MODELLENMESİ

Bu bölümde, gövde rijit, tekerlekler elastik ve sönümlü, zemin rijit kabulüyle modelleme yapıldı. Altı tekerlekli taşıtın altıda bir, yarım ve tam taşıt modellerinin hareket denklemleri Lagrange yöntemi kullanılarak elde edildi. Zorlayıcı kuvvet olarak sadece yoldan gelen kuvvetler gözönüne alındı. Yol fonksiyonu sinüzoidal olarak kabul edildi. Taşıta ait resim Şekil 2.1 de görülmektedir.



Şekil 2.1. Taşıt resmi

Lagrange yönteminde, sistemin enerji toplamları (2.1) nolu denklemde yerine konulur ve genelleştirilmiş koordinatlara göre türevleri alınarak hareket denklemleri elde edilir.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_j} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial x_j} + \frac{\partial E_p}{\partial x_j} + \frac{\partial E_D}{\partial \dot{x}_j} = Q_j \quad (2.1)$$

E_k : Toplam kinetik enerji

E_p : Toplam potansiyel enerji

E_D : Toplam sönüm enerjisi

Q_j : Genelleştirilmiş kuvvetler

x_j : Genelleştirilmiş koordinatlar

Literatürde dört tekerlekli taşıtlar için uygulanan modelleme tipleri , tek , iki ve üç boyutlu ya da çeyrek, yarım ve tam taşıt modeli, altı tekerleğinden tahrikli taşıta uygulandı.

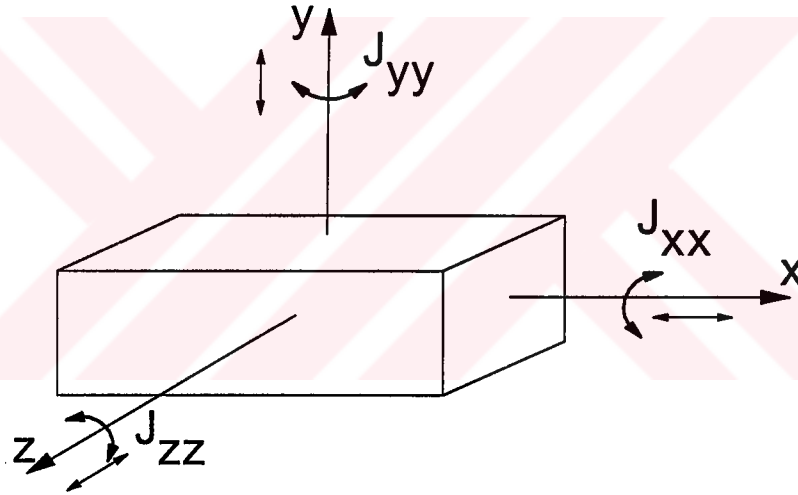
Tek boyutlu model (çeyrek model), gövde (1/4 gövde), aks ve tekerleklerden meydana gelmektedir. İki serbestlik derecelidir.

İki boyutlu model de; taşıt boylamasına ikiye bölünerek elde edilir. Literatürde yarım taşıt modeli veya iki boyutlu model olarak adlandırılır. Beş serbestlik derecelidir.

Üç boyutlu model de, taşıt tam olarak ele alınır. Yedi serbestlik derecelidir.

Uzayda serbestçe hareket eden bir cisim, altı serbestlik derecesine sahiptir. Bunların üçü öteleme, üçü dönme hareketinden oluşur. Taşıtın bir gövde ve dört bağımsız akstan meydana geldiği düşünüldüğünde, taşıt modeli otuz serbestlik derecesine sahiptir.

Taşıt gövdesi üç doğrusal ve üç açısal olmak üzere toplam altı hareket yapar.



Şekil 2.2 Koordinat eksenleri ve hareket yönleri

a) Öteleme Hareketleri;

x - eksenini boyunca titreşim hareketi (ileri geri , frenleme esnasında kendini gösterir)

y - eksenini boyunca titreşim hareketi (aşağı yukarı)

z -eksenini boyunca titreşim hareketi (yana kayma,yandan çarpma ve yan etkilerde ortaya çıkar).

b) Dönme hareketleri;

x - ekseni etrafında dönme (yalpa)

y- ekseni etrafında dönme (savrulma)

z - ekseni etrafında dönme (kafa vurma)

Gövdeye yaylar ve yere tekerleklerle bağlı olduğu için, bir çok araştırmada, aksların sadece düşey hareketleri gözönüne alınmıştır. Bu durumda taşıt gövdesinin altı ve aksların dört değişik hareketinden dolayı on serbestlik dereceli olarak alınabilir. Gövdede oluşabilecek savrulma, öne arkaya doğru hareket ve z - ekseni boyunca hareket çok özel durumlarda söz konusu olacağından ihmal edilebilirler. Bu durumda tam araba modeli yedi serbestlik derecesine sahip olur.

2.1 Titreşimi Etkileyen Faktörler

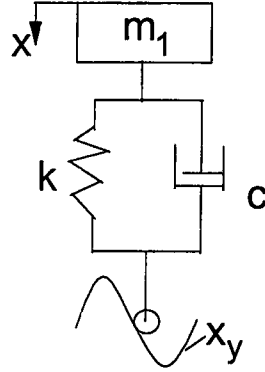
Taşıtın seyri esnasında, bir çok etken taşıtın titreşim cevap değerlerine etki eder. Bunların en önemlileri aşağıda belirtilmiştir:

- a) Sönüm ve yay elemanlarının özellikleri
- b) Taşıt aksının genişliği
- c) Taşıt aksının ağırlığı
- d) Akslar arası mesafe
- e) Yol ve tekerleklerin özellikleri
- f) Motor ve iletim elemanlarının yerleri
- g) Süspansiyon sisteminin asılış biçimi

Bunların taşıt tasarımında, titreşim problemleri dolayısıyla gözönünde tutulması gerekmektedir.

2.2 Altı Tekerlekli Taşıt İçin Tek Serbestlik Dereceli Model

Gövde ve akslar rijit kabulüyle yapılan modelleme yaklaşımında , taşıt simetrik düşünülüp,altı parçaya bölündü. Yol fonksiyonu sinüzoidal olarak kabul edildi. Taşıtta süspansiyon sistemi yoktur. Tekerlek arazi koşullarına uygun olup, yaylanma ve sönüm tekerlekler vasıtasıyla sağlanmaktadır. Model; (1/6) gövde ve tekerlekten meydana gelmektedir.



Şekil 2.3 Altıda bir taşıt modeli (Altı tekerlekli taşıt için)

$$x_y = X_y \sin(\omega t)$$

Buna göre sistem için kinetik enerji , potansiyel enerji ve sönümlenme enerji ifadelerini yazarsak;

$$E_k = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 \quad (2.2)$$

$$E_p = \frac{1}{2} k(x - x_y)^2 \quad (2.3)$$

$$E_D = \frac{1}{2} c(\dot{x} - \dot{x}_y)^2 \quad (2.4)$$

ve (2.2),(2.3) ve (2.4) no lu enerji ifadelerinin genelleştirilmiş koordinatlara göre türevini alıp (2.1) no lu denklemde yerine koyarsak hareket denklemi (2.5) formunda elde edilir.

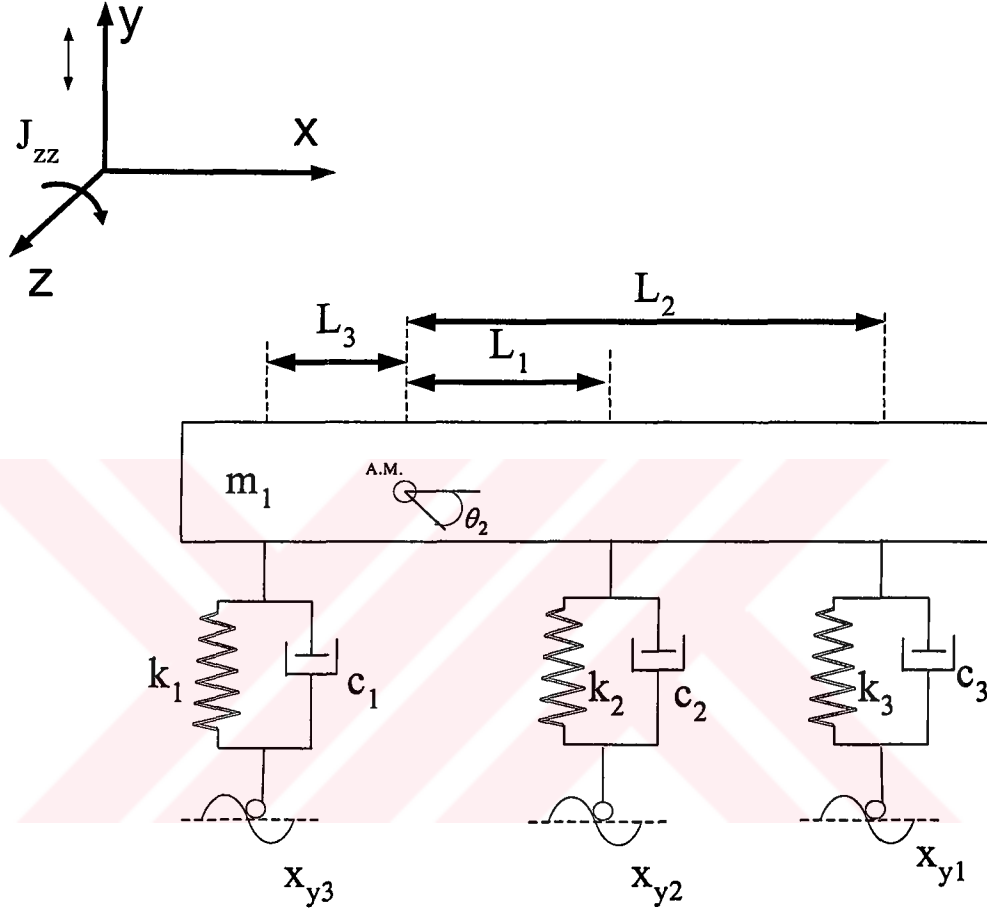
$$m \ddot{x} + c \dot{x} + kx = c \dot{x}_y + k x_y \quad (2.5)$$

Kütle, sönüm ve rijitlik matrisleri Ek.1 de verildi.

Kütle, sönüm ve rijitlik matrisleri Ek.1 de verildi.

2.3 Altı Tekerlekli Taşıt İçin İki Serbestlik Dereceli Model

Gövde ve akslar rijit kabulüyle yapılan modelleme yaklaşımında , yol fonksiyonu sinüzoidal olarak kabul edildi. Tek serbestlik dereceli sistemin biraz daha geliştirilmiş olup, gövde olarak taşıtın simetrik olduğu düşünülüp yarısı alındı. Yarım taşıt modeli veya iki boyutlu model olarak adlandırılır.



Şekil 2.4 Yarım Taşıt Modeli (Altı tekerlekli taşıt için)

$$x_{y1} = X_{y1} \sin(\omega t)$$

$$x_{y2} = X_{y2} \sin(\omega(t + \frac{d}{V}))$$

$$x_{y3} = X_{y3} \sin(\omega(t + \frac{L}{V}))$$

Sistemdeki kinetik ,potansiyel ve sönümleme enerjilerini aşağıdaki gibi elde edilir;

$$E_k = \frac{1}{2} m_1 \dot{x}_1^2 + \frac{1}{2} J_{zz} \dot{\theta}^2 \quad (2.6)$$

$$E_p = \frac{1}{2} k_1 [(x_1 - x_{y3}) - L_3 \theta]^2 + \frac{1}{2} k_2 [(x_1 - x_{y2}) + L_1 \theta]^2 + \frac{1}{2} k_3 [(x_1 - x_{y1}) + L_2 \theta]^2 \quad (2.7)$$

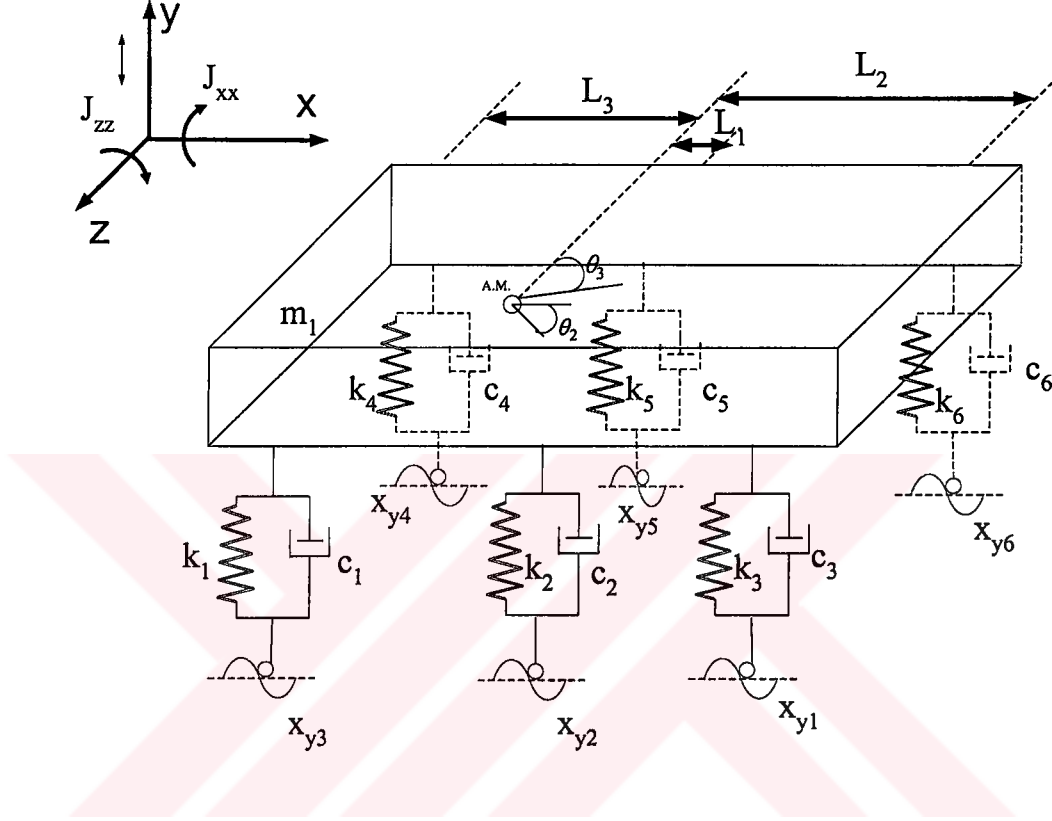
$$E_D = \frac{1}{2} c_1 [(\dot{x}_1 - \dot{x}_{y3}) - L_3 \dot{\theta}]^2 + \frac{1}{2} c_2 [(\dot{x}_1 - \dot{x}_{y2}) + L_1 \dot{\theta}]^2 + \frac{1}{2} c_3 [(\dot{x}_1 - \dot{x}_{y1}) + L_2 \dot{\theta}]^2 \quad (2.8)$$

(2.6),(2.7) ve (2.8) no lu denklemlerin genelleştirilmiş koordinatlara göre türevlerini alıp (2.1) de yerine koyarsak, sisteme ait kütle, sönüm ve rijitlik matrisleri **Ek.2** deki gibi elde edilir.



2.4 Altı Tekerlekli Taşıt İçin Üç Serbestlik Dereceli Model

Gövde ve akslar rijit kabulüyle yapılan modelleme yaklaşımında , yol fonksiyonu sinüzoidal olarak kabul edildi. Gövde tam olarak alınır. Model, gövde ve altı adet tekerlekten meydana gelmektedir. Tam taşıt modeli veya üç boyutlu model olarak bilinir.



Şekil 2.5 Taşıt Tam Modeli (Altı tekerlekli taşıt için)

$$x_{y1} = X_{y1} \sin(\omega t)$$

$$x_{y2} = X_{y2} \sin(\omega(t + \frac{d}{V}))$$

$$x_{y3} = X_{y3} \sin(\omega(t + \frac{L}{V}))$$

$$x_{y6} = X_{y6} \sin(\omega t)$$

$$x_{y5} = X_{y5} \sin(\omega(t + \frac{d}{V}))$$

$$x_{y4} = X_{y4} \sin(\omega(t + \frac{L}{V}))$$

Sistemdeki kinetik ,potansiyel ve sönümlleme enerjileri yazılırsa;

$$E_k = \frac{1}{2} m_1 \dot{x}_1^2 + \frac{1}{2} J_{zz} \dot{\theta}_2^2 + \frac{1}{2} J_{yy} \dot{\theta}_3^2 \quad (2.9)$$

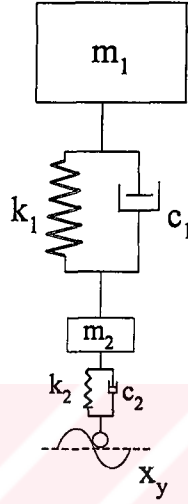
$$\begin{aligned} E_p = & \frac{1}{2} k_1 \left[(x_1 + L_3 \theta_2 - \frac{T_e}{2} \theta_3) - x_{y1} \right]^2 + \frac{1}{2} k_2 \left[(x_1 - L_1 \theta_2 - \frac{T_e}{2} \theta_3) - x_{y2} \right]^2 \\ & + \frac{1}{2} k_3 \left[(x_1 - (L_1 + L_2) \theta_2 - \frac{T_e}{2} \theta_3) - x_{y3} \right]^2 + \frac{1}{2} k_4 \left[(x_1 + L_3 \theta_2 + \frac{T_e}{2} \theta_3) - x_{y4} \right]^2 \\ & + \frac{1}{2} k_5 \left[(x_1 - L_1 \theta_2 + \frac{T_e}{2} \theta_3) - x_{y5} \right]^2 + \frac{1}{2} k_6 \left[(x_1 - (L_1 + L_2) \theta_2 + \frac{T_e}{2} \theta_3) - x_{y6} \right]^2 \end{aligned} \quad (2.10)$$

$$\begin{aligned} E_D = & \frac{1}{2} c_1 \left[(\dot{x}_1 + L_3 \dot{\theta}_2 - \frac{T_e}{2} \dot{\theta}_3) - \dot{x}_{y1} \right]^2 + \frac{1}{2} c_2 \left[(\dot{x}_1 - L_1 \dot{\theta}_2 - \frac{T_e}{2} \dot{\theta}_3) - \dot{x}_{y2} \right]^2 \\ & + \frac{1}{2} c_3 \left[(\dot{x}_1 - (L_1 + L_2) \dot{\theta}_2 - \frac{T_e}{2} \dot{\theta}_3) - \dot{x}_{y3} \right]^2 + \frac{1}{2} c_4 \left[(\dot{x}_1 + L_3 \dot{\theta}_2 + \frac{T_e}{2} \dot{\theta}_3) - \dot{x}_{y4} \right]^2 \\ & + \frac{1}{2} c_5 \left[(\dot{x}_1 - L_1 \dot{\theta}_2 + \frac{T_e}{2} \dot{\theta}_3) - \dot{x}_{y5} \right]^2 + \frac{1}{2} c_6 \left[(\dot{x}_1 - (L_1 + L_2) \dot{\theta}_2 + \frac{T_e}{2} \dot{\theta}_3) - \dot{x}_{y6} \right]^2 \end{aligned} \quad (2.11)$$

(2.9), (2.10), (2.11) no lu denklemlerin genelleştirilmiş koordinatlara göre türevlerini alıp (2.1) de yerine koyarsak, kütle,sönüm ve rijitlik matrislerinin elemanları Ek.3 deki gibi elde edildi.

2.5 Altı Tekerlekli Süspansiyonlu Taşıt İçin İki Serbestlik Dereceli Model

Gövde ve akslar rijit kabulüyle yapılan modelleme yaklaşımında , taşıt simetrik düşünülüp,altı parçaya bölündü. Yol fonksiyonu sinüzoidal olarak kabul edildi. Taşıtın süspansiyon sistemi vardır. Tekerlek arazi koşullarına uygun olup, yaylanma ve sönüm değerleri hesaba katılmaktadır. Model; (1/6) gövde,süspansiyon sistemi ve tekerlekten meydana gelmektedir.Literatürde tek boyutlu model olarak bilinir ve iki serbestlik derecesine sahiptir.



Şekil 2.6 Altıda bir taşıt modeli (Altı tekerlekli taşıt için)

$$x_y = X_y \sin(\omega t)$$

Buna göre sistem için kinetik enerji , potansiyel enerji ve sönümleme enerji ifadelerini yazarsak;

$$E_k = \frac{1}{2} m_1 \dot{x}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \dot{x}_2^2 \quad (2.12)$$

$$E_p = \frac{1}{2} k_1 (x_1 - x_2)^2 + \frac{1}{2} k_2 (x_2 - x_y)^2 \quad (2.13)$$

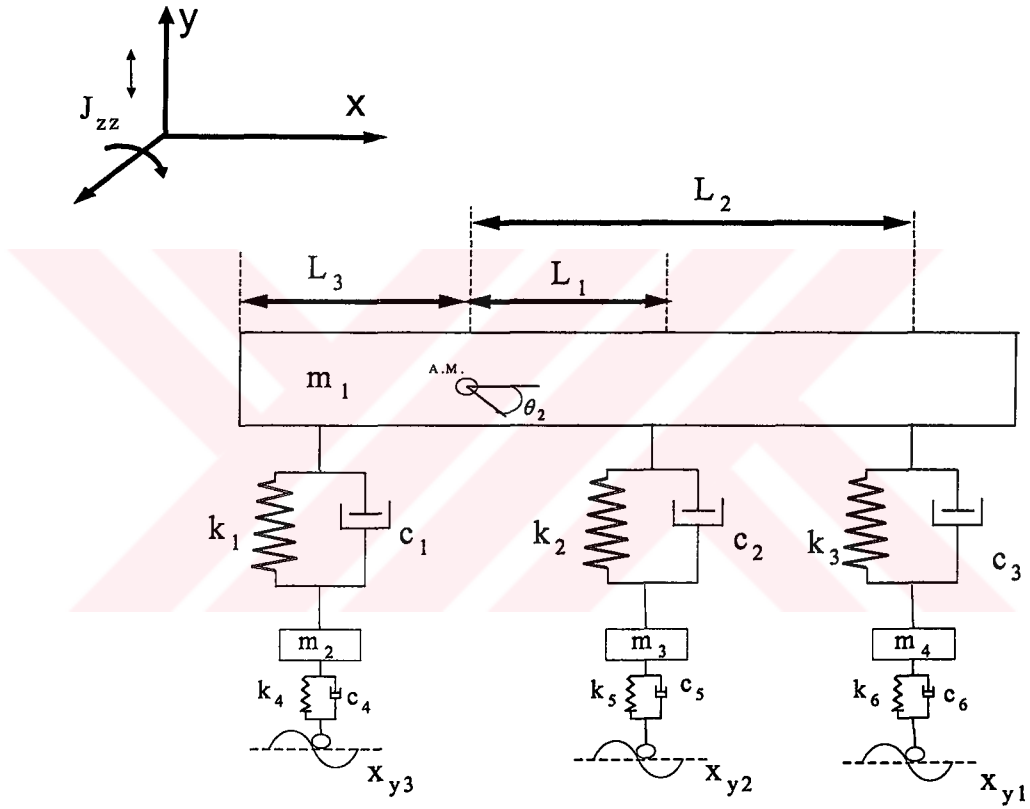
$$E_D = \frac{1}{2}c_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_2)^2 + \frac{1}{2}c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_y)^2 \quad (2.14)$$

ve (2.12),(2.13) ve (2.14) no lu enerji ifadelerinin genelleştirilmiş koordinatlara göre türevini alıp (2.1) no lu denklemde yerine koyarsak, sisteme ait kütle, sönüm ve rijitlik matrisleri **Ek.4** deki gibi elde edildi.



2.6 Altı Tekerlekli Süspansiyonlu Taşıt İçin Beş Serbestlik Dereceli Model

Gövde ve akslar rijit kabulüyle yapılan modelleme yaklaşımında , yol fonksiyonu sinüzoidal olarak kabul edildi. Tek serbestlik dereceli sistemin biraz daha geliştirilmiş olup, gövde olarak taşıtın simetrik olduğu düşünülüp yarısı alındı. Yarım taşıt modeli veya iki boyutlu model olarak adlandırılır.



Şekil 2.7 Altı tekerlekten tahrikli taşıtın yarım taşıt modeli

$$x_{y1} = X_{y1} \sin(\omega t)$$

$$x_{y2} = X_{y2} \sin(\omega(t + \frac{d}{V}))$$

$$x_{y3} = X_{y3} \sin(\omega(t + \frac{L}{V}))$$

Sistemdeki kinetik ,potansiyel ve sönümleme enerjilerini aşağıdaki gibi elde edilir;

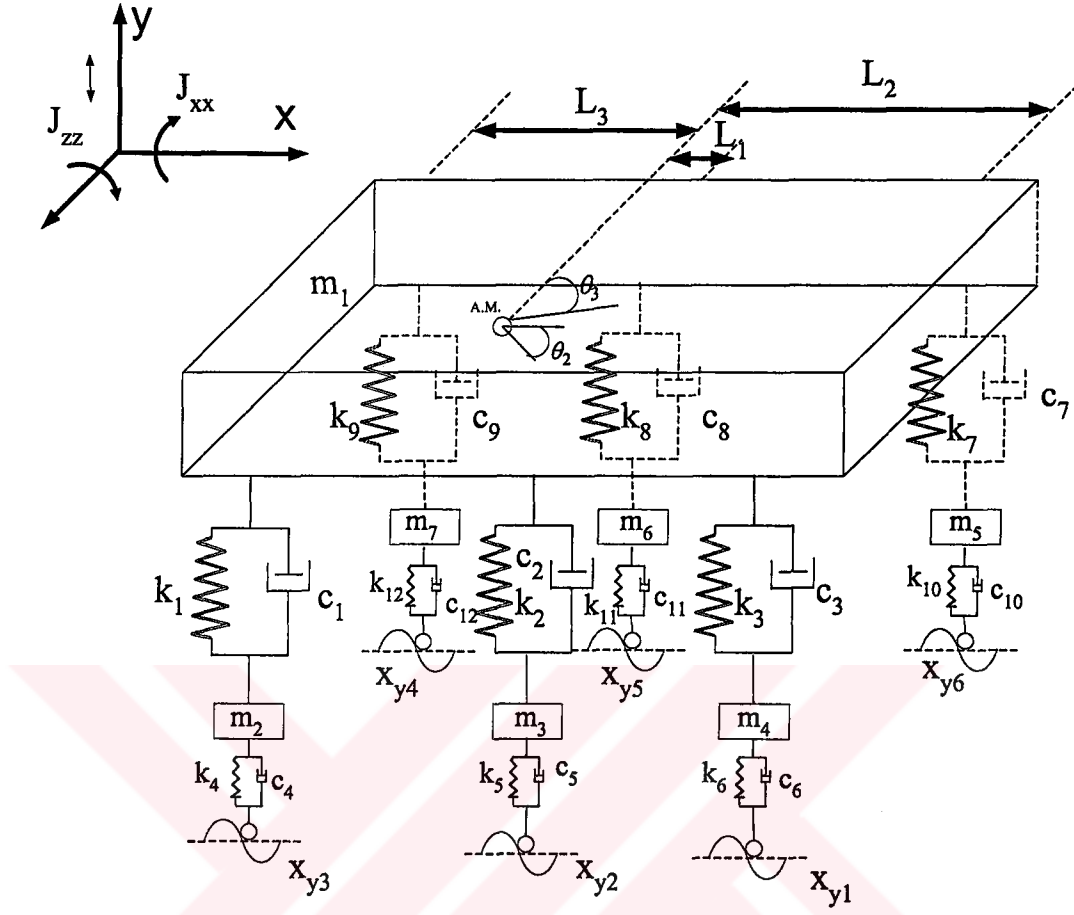
$$E_k = \frac{1}{2} m_1 \dot{x}_1^2 + \frac{1}{2} J_z \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} m_2 \dot{x}_2^2 + \frac{1}{2} m_3 \dot{x}_3^2 + \frac{1}{2} m_4 \dot{x}_4^2 \quad (2.15)$$

$$E_p = \frac{1}{2} k_1 [(x_1 - x_2) - L_3 \theta]^2 + \frac{1}{2} k_2 [(x_1 - x_3) + L_1 \theta]^2 + \frac{1}{2} k_3 [(x_1 - x_4) + L_2 \theta]^2 + \frac{1}{2} k_4 (x_2 - x_{y3})^2 + \frac{1}{2} k_5 (x_3 - x_{y2})^2 + \frac{1}{2} k_6 (x_4 - x_{y1})^2 \quad (2.16)$$

$$E_D = \frac{1}{2} c_1 [(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - L_3 \dot{\theta}]^2 + \frac{1}{2} c_2 [(\dot{x}_1 - \dot{x}_3) + L_1 \dot{\theta}]^2 + \frac{1}{2} c_3 [(\dot{x}_1 - \dot{x}_4) + L_2 \dot{\theta}]^2 + \frac{1}{2} c_4 (\dot{x}_2 - \dot{x}_{y3})^2 + \frac{1}{2} c_5 (\dot{x}_3 - \dot{x}_{y2})^2 + \frac{1}{2} c_6 (\dot{x}_4 - \dot{x}_{y1})^2 \quad (2.17)$$

(2.15),(2.16) ve (2.17) no lu denklemlerin genelleştirilmiş koordinatlara göre türevlerini alıp (2.1) de yerine koyarsak, sisteme ait kütle, sönüm ve rijitlik matrisleri **Ek.5** deki gibi elde edildi.

2.7 Altı Tekerlekli Süspansiyonlu Taşıt İçin Dokuz Serbestlik Dereceli Model



Şekil 2.8 Altı tekerlekten tahrikli askeri taşıtın tam taşıt modeli

$$x_{y1} = X_{y1} \sin(\omega t)$$

$$x_{y2} = X_{y2} \sin(\omega(t + \frac{d}{V}))$$

$$x_{y3} = X_{y3} \sin(\omega(t + \frac{L}{V}))$$

$$x_{y6} = X_{y6} \sin(\omega t)$$

$$x_{y5} = X_{y5} \sin(\omega(t + \frac{d}{V}))$$

$$x_{y4} = X_{y4} \sin(\omega(t + \frac{L}{V}))$$

Sistemdeki kinetik ,potansiyel ve sönümleme enerjileri yazılırsa;

$$E_k = \frac{1}{2} m_1 \dot{x}_1^2 + \frac{1}{2} J_{zz} \dot{\theta}_2^2 + \frac{1}{2} J_{yy} \dot{\theta}_3^2 \quad (2.18)$$

$$\begin{aligned} E_p = & \frac{1}{2} k_1 \left[(x_1 - L_3 \theta_2 - \frac{T_e}{2} \theta_3) - x_4 \right]^2 + \frac{1}{2} k_2 \left[(x_1 + L_1 \theta_2 - \frac{T_e}{2} \theta_3) - x_5 \right]^2 + \frac{1}{2} k_3 \left[(x_1 + L_2 \theta_2 - \frac{T_e}{2} \theta_3) - x_6 \right]^2 \\ & + \frac{1}{2} k_4 (x_4 - x_{y3})^2 + \frac{1}{2} k_5 (x_5 - x_{y2})^2 + \frac{1}{2} k_6 (x_6 - x_{y1})^2 + \frac{1}{2} k_9 \left[(x_1 - L_3 \theta_2 + \frac{T_e}{2} \theta_3) - x_9 \right]^2 \\ & + \frac{1}{2} k_8 \left[(x_1 + L_1 \theta_2 + \frac{T_e}{2} \theta_3) - x_8 \right]^2 + \frac{1}{2} k_7 \left[(x_1 + L_2 \theta_2 + \frac{T_e}{2} \theta_3) - x_7 \right]^2 + \frac{1}{2} k_{10} (x_7 - x_{y6})^2 \\ & + \frac{1}{2} k_{11} (x_8 - x_{y5})^2 + \frac{1}{2} k_{12} (x_9 - x_{y4})^2 \end{aligned} \quad (2.19)$$

$$\begin{aligned} E_D = & \frac{1}{2} c_1 \left[(x_1 - L_3 \theta_2 - \frac{T_e}{2} \theta_3) - x_4 \right]^2 + \frac{1}{2} c_2 \left[(x_1 + L_1 \theta_2 - \frac{T_e}{2} \theta_3) - x_5 \right]^2 + \frac{1}{2} c_3 \left[(x_1 + L_2 \theta_2 - \frac{T_e}{2} \theta_3) - x_6 \right]^2 \\ & + \frac{1}{2} c_4 (x_4 - x_{y3})^2 + \frac{1}{2} c_5 (x_5 - x_{y2})^2 + \frac{1}{2} c_6 (x_6 - x_{y1})^2 + \frac{1}{2} c_9 \left[(x_1 - L_3 \theta_2 + \frac{T_e}{2} \theta_3) - x_9 \right]^2 \\ & + \frac{1}{2} c_8 \left[(x_1 + L_1 \theta_2 + \frac{T_e}{2} \theta_3) - x_8 \right]^2 + \frac{1}{2} c_7 \left[(x_1 + L_2 \theta_2 + \frac{T_e}{2} \theta_3) - x_7 \right]^2 + \frac{1}{2} c_{10} (x_7 - x_{y6})^2 \\ & + \frac{1}{2} c_{11} (x_8 - x_{y5})^2 + \frac{1}{2} c_{12} (x_9 - x_{y4})^2 \end{aligned} \quad (2.20)$$

(2.18), (2.19),(2.20) no lu denklemlerin genelleştirilmiş koordinatlara göre türevlerini alıp (2.1) de yerine koyarsak, kütle,sönüm ve rijitlik matrislerinin elemanları **Ek.6** daki gibi elde edildi.

2.8 Denklemlerin Çözümü

Yol fonksiyonu sinüzoidal olarak kabul edildi. Bu yaklaşımla zorlanmış titreşimlerin frekans – genlik eğrileri süspansiyonlu ve süspansiyonsuz taşıt için MATLAB de hazırlanan programla çizdirildi.

Model için elde edilen denklemler matris formunda yazılırsa:

$$[M]\ddot{x} + [C]\dot{x} + [K]x = [F]x_y \quad (2.21)$$

Denklemin sağ tarafını oluşturan zorlayıcı kuvvet yol düzgünsüzlüklerinden dolayı gelmiştir. En genel halde sinüzoidal olarak kabul edilirse;

$$x_y = X_y \sin(\omega t + \alpha) \quad (2.22)$$

$$x_y = X_y \sin(\omega t) \cos(\alpha) + X_y \sin(\alpha) \cos(\omega t) \quad (2.23)$$

$$x_{ys} = X_y \cos(\alpha) \quad (2.24)$$

$$x_{yc} = X_y \sin(\alpha) \quad (2.25)$$

$$x_y = X_{ys} \sin(\omega t) + X_{yc} \cos(\omega t) \quad (2.26)$$

Aynı şekilde taşıtın cevapları ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) aşağıdaki şekilde yazılırsa;

$$x_i = X_{is} \sin(\omega t) + X_{ic} \cos(\omega t) \quad (2.27)$$

ve bu denklemler uygun formlarda denklemlerde yerine yazılıp düzenlemeler yapılırsa;

$$X = [Y]^{-1} F \quad (2.28)$$

Şeklinde çözüm elde edilir.

$$[Y] = \begin{bmatrix} -\omega^2[M] + [K] & -\omega[C] \\ \omega[C] & -\omega^2[M] + [K] \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

genlikler aşağıdaki formda elde edilir.

$$x = \begin{bmatrix} x_{is} \\ x_{ic} \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

Maksimum genlikler

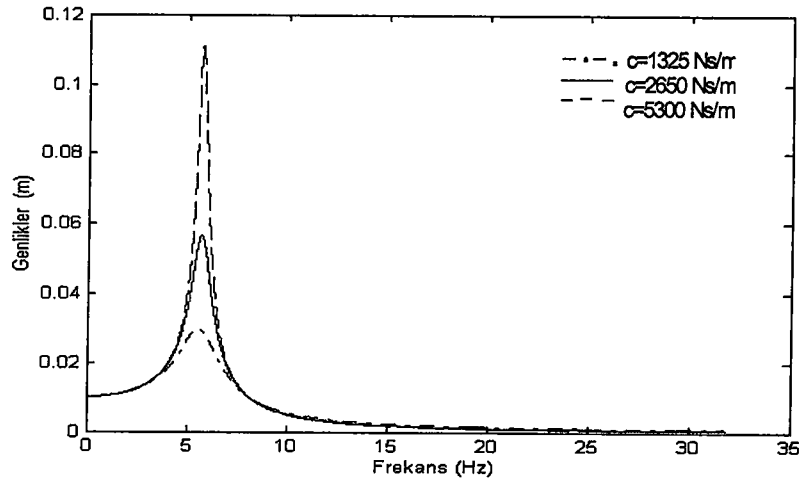
$$X = \sqrt{x_{is}^2 + x_{ic}^2} \quad (2.31)$$

olarak elde edilir.

Bu formülasyon kullanılarak MATLAB programında, taşıt modellerinin frekans cevap eğrileri çizilmiştir. Tek model taşıtı için örnek program **Ek.9** de verilmiştir. Süspansiyonlu ve süspansiyonsuz taşıt için en basit modelden en kapsamlı modele kadar, çeşitli yay ve sönüm katsayıları için elde edilen grafikler sırasıyla **Ek.10** da verilmiştir.

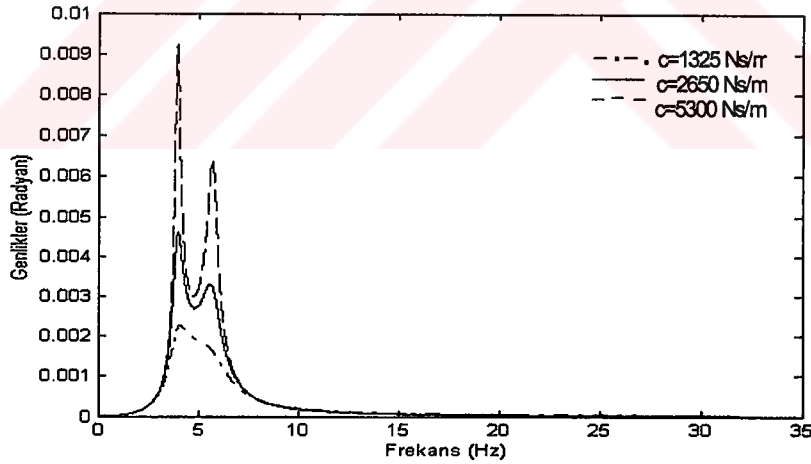
Altı tekerlekli askeri taşıta ait fiziksel değerler **Ek.8** de tablo olarak verilmiştir.

Taşıta ait tekerlek sönüm katsayısı $c = 2\,650\text{ Ns/m}$ ve yay katsayısı $k = 527840\text{ N/m}$ dir. Altı tekerlekli askeri taşıtın sinoziodal yol şartlarında **tek serbestlik** dereceli modellemeye frekans düzleminde farklı sönüm katsayıları için titreşim cevapları;



Şekil 2.9 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin maksimum düşey yer değiştirmeleri

Altı tekerlekli askeri taşıtın sinoziodal yol şartlarında **iki serbestlik** dereceli modellemeye frekans düzleminde farklı sönüm katsayıları için titreşim cevapları

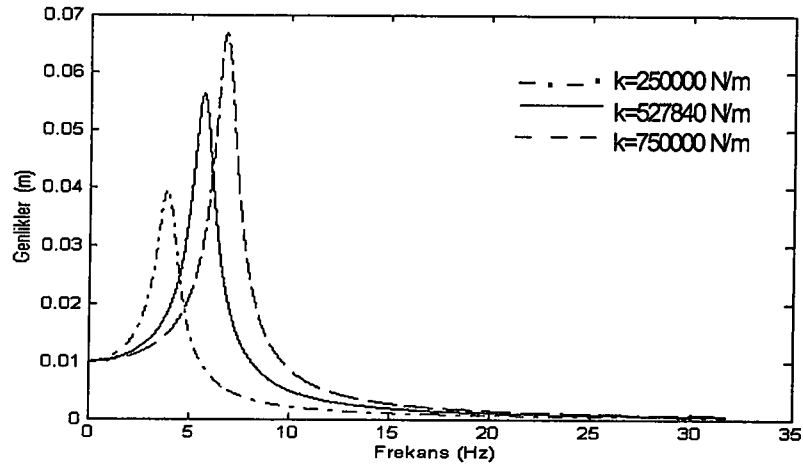


Şekil 2.10 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki maksimum açısal sapmaları (Kafa vurma)

Altı tekerlekli askeri taşıtın sinoziodal yol şartlarında **üç serbestlik** dereceli modellemeye frekans düzleminde farklı sönüm katsayıları için titreşim cevapları incelendiğinde, ordinat eksenindeki değerler gözönüne alınırsa yalpa hareketinin pratik anlamda oluşmadığı görülmektedir.

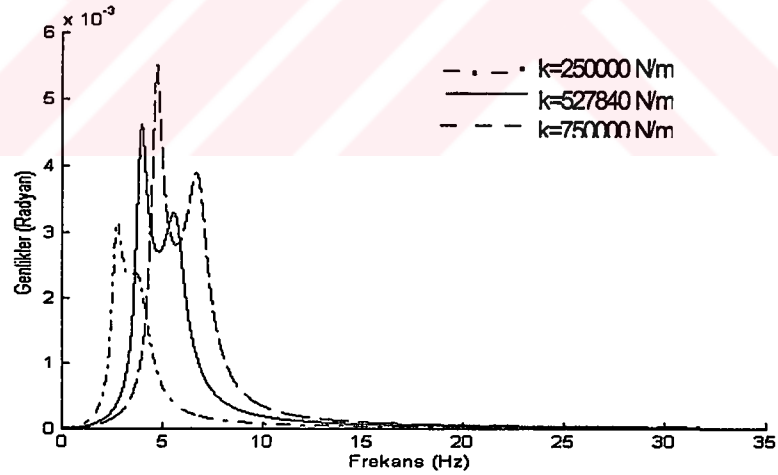
Altı tekerlekli askeri taşıtın sinoziodal yol şartlarında **tek serbestlik** dereceli modellemede frekans düzleminde farklı yay katsayıları için titreşim cevapları;

Tek serbestlik dereceli sistem



Şekil 2.11 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin maksimum düşey yer değiştirmeleri

Altı tekerlekli askeri taşıtın sinoziodal yol şartlarında **İki serbestlik** dereceli modellemede frekans düzleminde farklı yay katsayıları için titreşim cevapları;

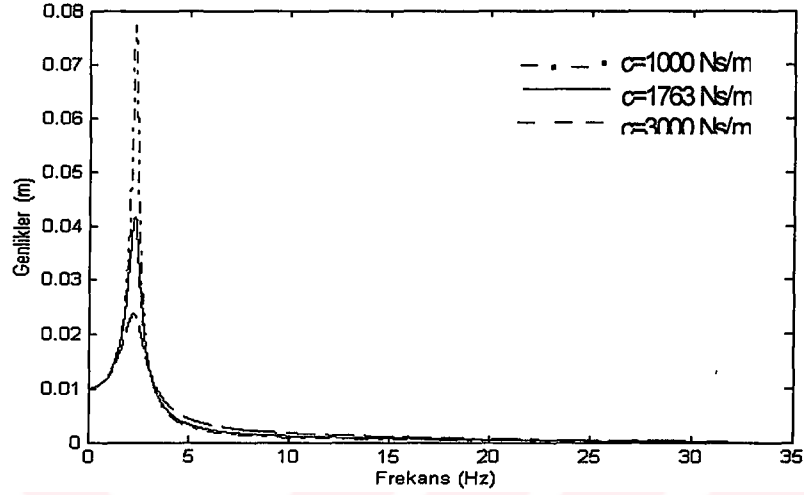


Şekil 2.12 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki maksimum açısal sapmaları (Kafa vurma)

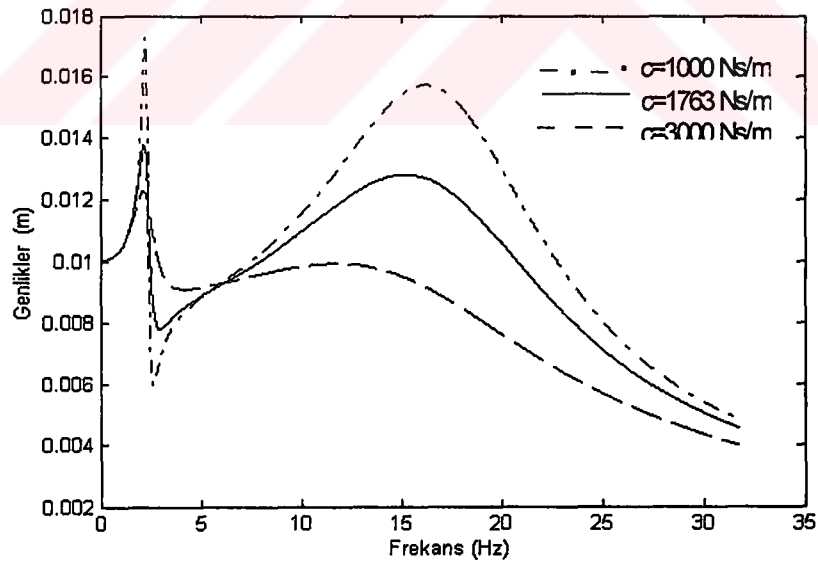
Altı tekerlekli askeri taşıtın sinoziodal yol şartlarında **üç serbestlik** dereceli modellemede frekans düzleminde farklı yay katsayıları için titreşim cevapları incelendiğinde, ordinat eksenindeki değerler gözönüne alınırsa yalpa hareketinin pratik anlamda oluşmadığı görülmektedir.

Altı tekerlekli askeri taşıtın süspansiyon sistemine ait yay katsayısı $k = 89266 \text{ N/m}$ ve sönüm katsayısı $c=1762 \text{ Ns/m}$ dır.

Altı tekerlekli süspansiyonlu askeri taşıtın sinozoidal yol şartlarında **iki serbestlik dereceli** modellemde frekans düzleminde farklı sönüm katsayıları için titreşim cevapları;

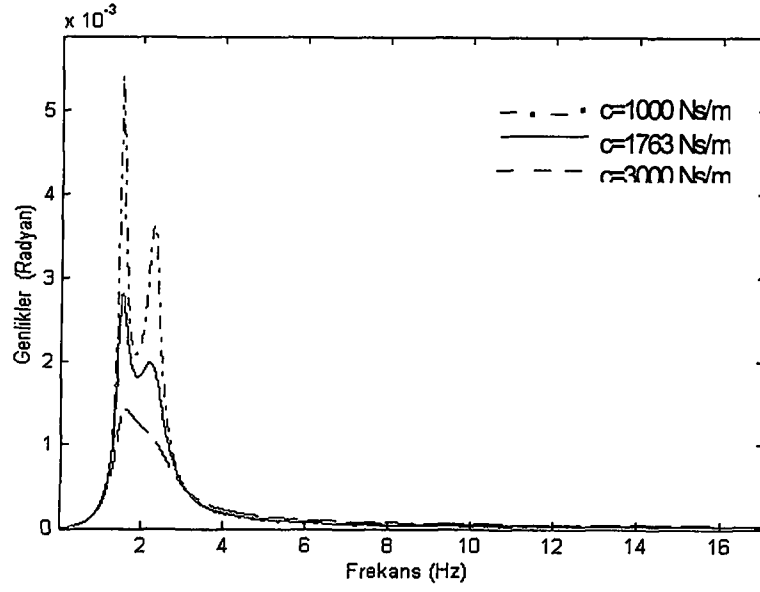


Şekil 2.13 Altı Tekerlekli Askeri taşıtın ağırlık merkezinin(m_1 kütlesi) maksimum düşey yer değiştirmeleri

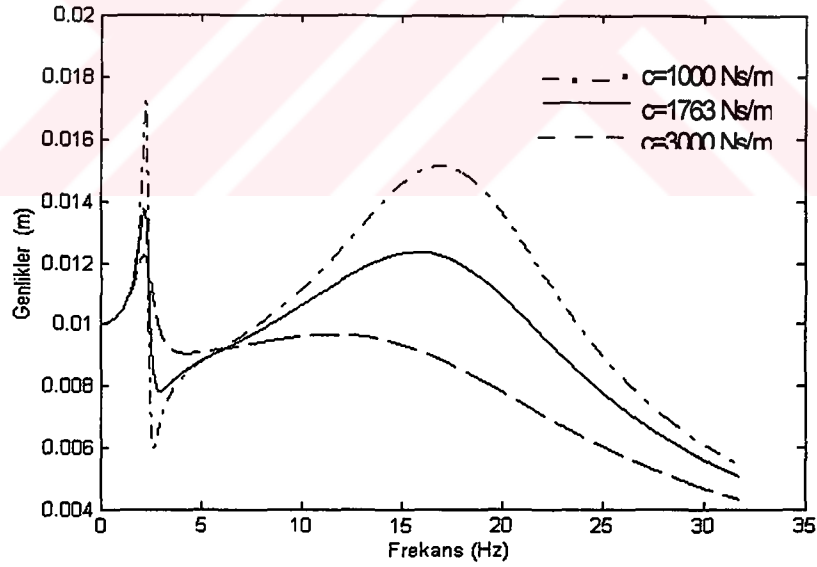


Şekil 2.14 Altı Tekerlekli Askeri taşıtın m_2 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri

Altı tekerlekli süspansiyonlu askeri taşıtın sinoziodal yol şartlarında beş serbestlik dereceli modellemeye frekans düzleminde farklı sönüm katsayıları için titreşim cevapları;

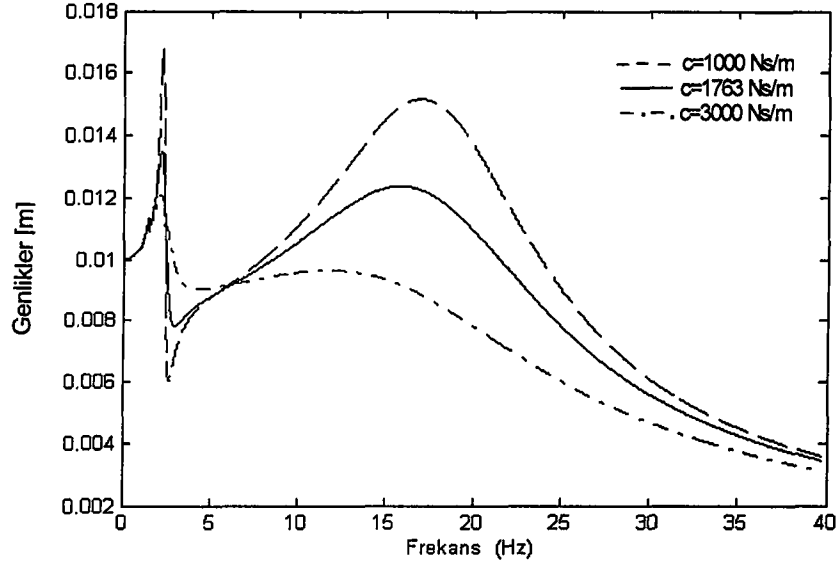


Şekil 2.15 Altı Tekerlekli Askeri taşıtın ağırlık merkezinin (m_1 kütlesi) z eksenini etrafındaki maksimum açısal sapmaları (Kafa vurma)

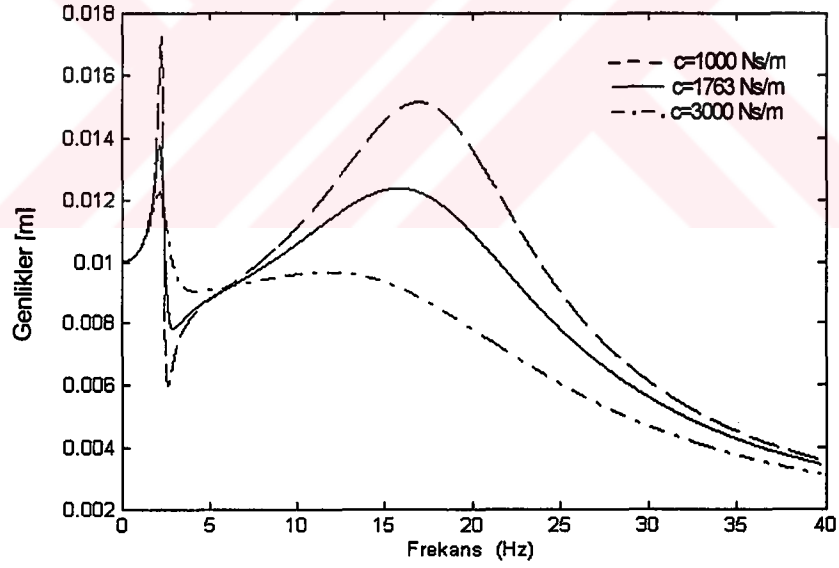


Şekil 2.16 Altı Tekerlekli Askeri taşıtın m_3 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri

Altı tekerlekli süspansiyonlu askeri taşıtın sinüzoidal yol şartlarında dokuz serbestlik dereceli modellemeye frekans düzleminde farklı sönüm katsayıları için titreşim cevapları;

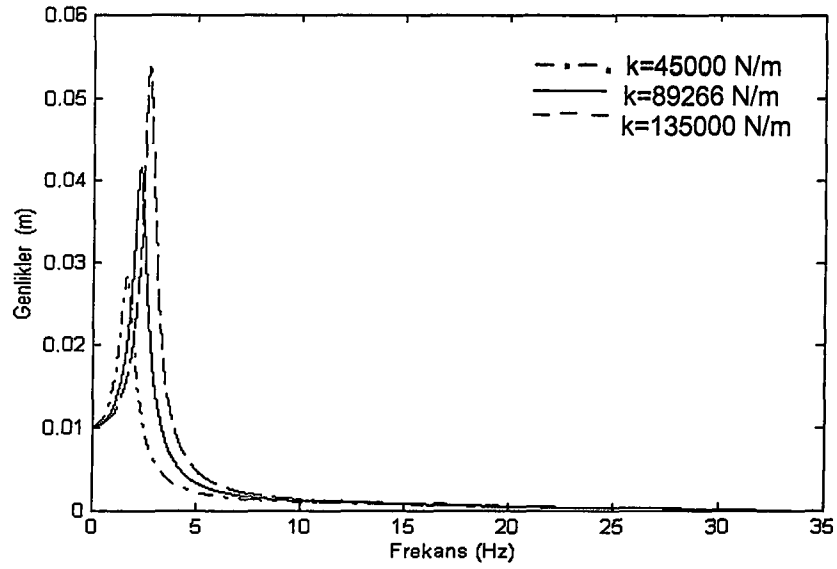


Şekil 2.17 Altı Tekerlekli Askeri taşıtın m_4 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri

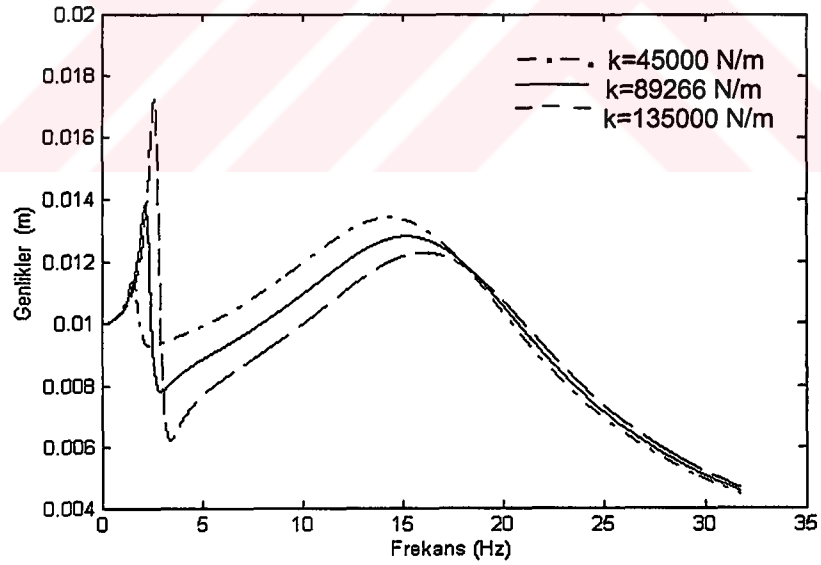


Şekil 2.18 Altı Tekerlekli Askeri taşıtın m_5 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri

Altı tekerlekli süspansiyonlu askeri taşıtın sinoziodal yol şartlarında iki serbestlik dereceli modellemede frekans düzleminde farklı yay katsayıları için titreşim cevapları;

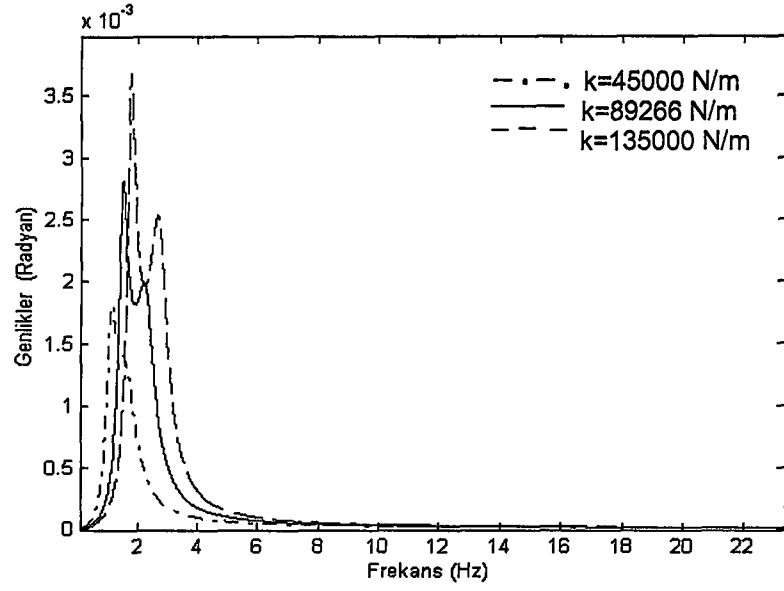


Şekil 2.19 Altı Tekerlekli Askeri taşıtın ağırlık merkezinin(m_1 kütlesi) maksimum düşey yer değiştirmeleri

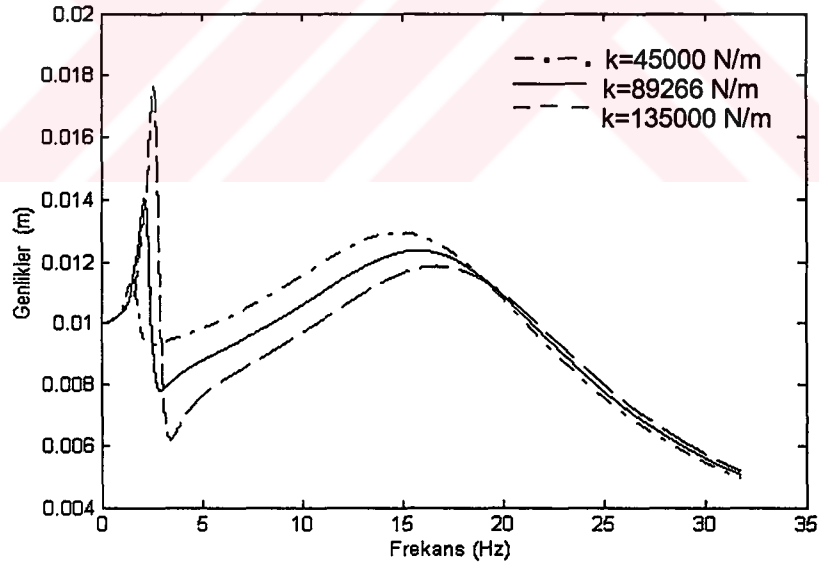


Şekil 2.20 Altı Tekerlekli Askeri taşıtın m_2 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri

Altı tekerlekli süspansiyonlu askeri taşıtın sinoziodal yol şartlarında **beş serbestlik dereceli** modellemede frekans düzleminde farklı yay katsayıları için titreşim cevapları;

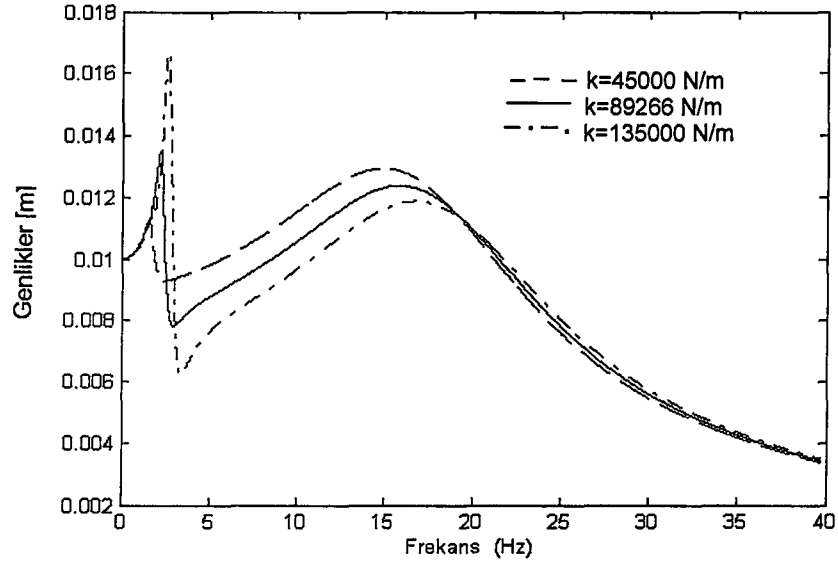


Şekil 2.21 Altı Tekerlekli Askeri taşıtın ağırlık merkezinin (m_1 kütlesi) z eksenine etrafındaki maksimum açısal sapmaları (Kafa vurma)

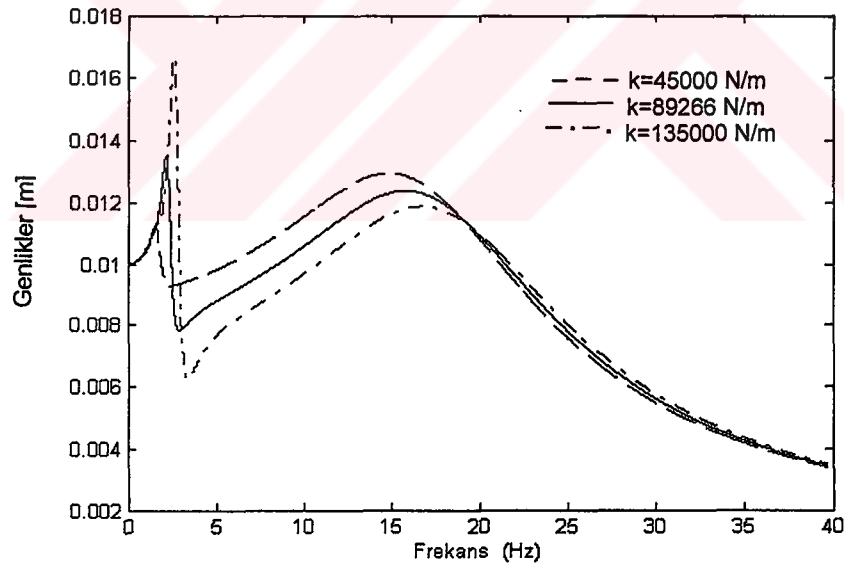


Şekil 2.22 Altı Tekerlekli Askeri taşıtın m_2 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri

Altı tekerlekli süspansiyonlu askeri taşıtın sinoziodal yol şartlarında dokuz serbestlik dereceli modellemeye frekans düzleminde farklı yay katsayıları için titreşim cevapları;

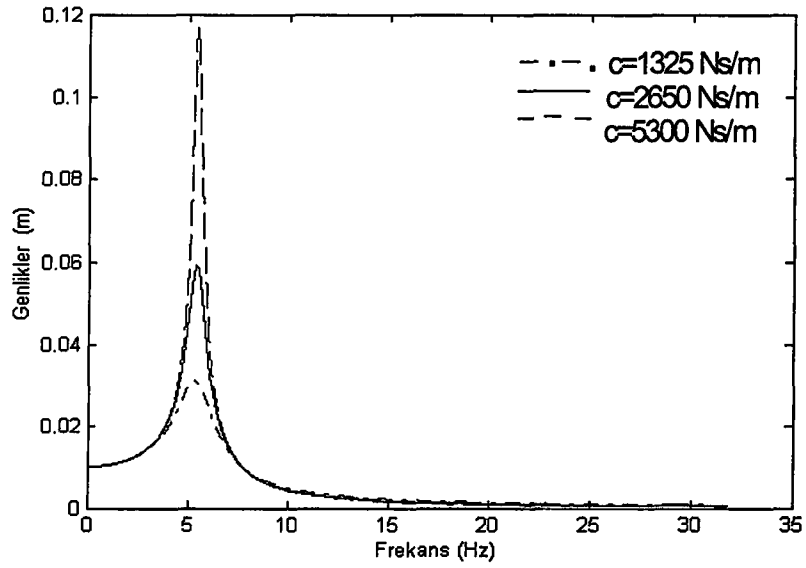


Şekil 2.23 Altı Tekerlekli Askeri taşıtın m_4 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri

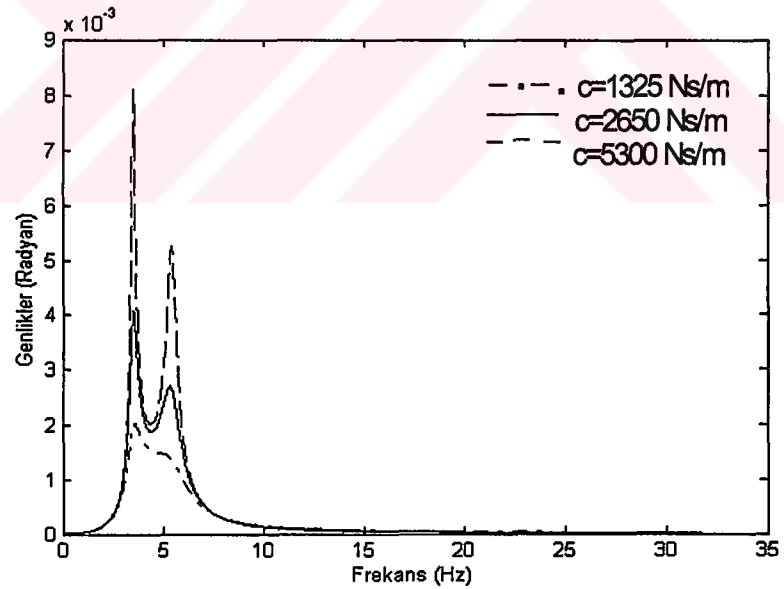


Şekil 2.24 Altı Tekerlekli Askeri taşıtın m_5 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri

Altı tekerlekli askeri taşıtın **yüklü** durum için sinoziodal yol şartlarında **tek serbestlik** dereceli modellemeye frekans düzleminde farklı sönüm katsayıları için titreşim cevapları;

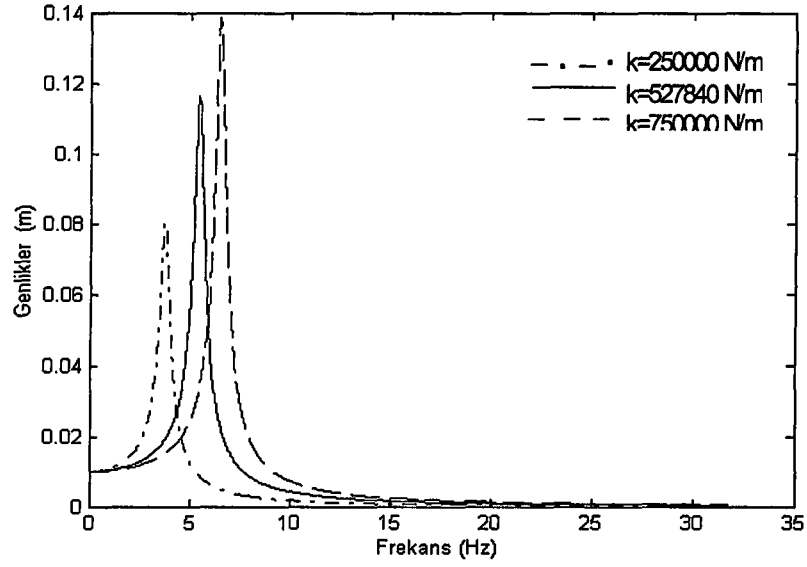


Şekil 2.25 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin maksimum düşey yer değiştirmeleri

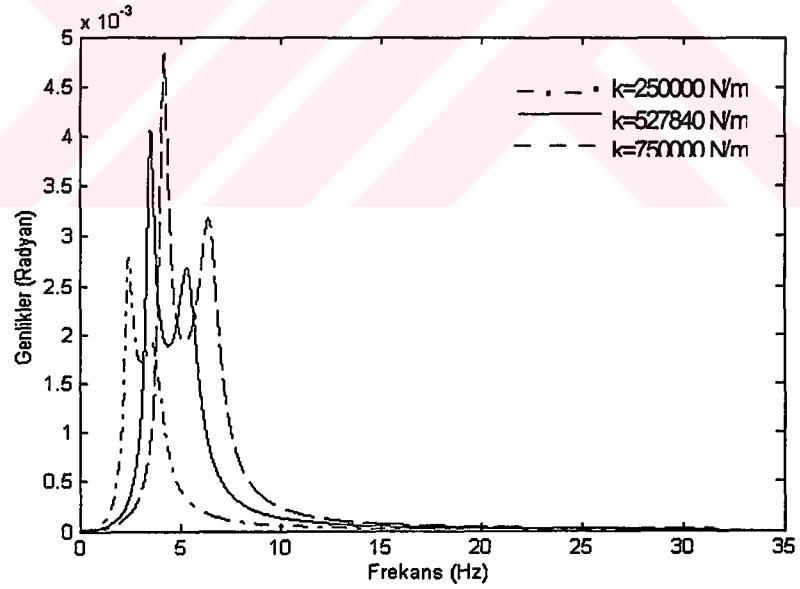


Şekil 2.26 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki maksimum açısal sapmaları (Kafa vurma)

Altı tekerlekli askeri taşıtın **yüklü** durum için sinoziodal yol şartlarında **tek serbestlik** dereceli modellemeye frekans düzleminde farklı yay katsayıları için titreşim cevapları;

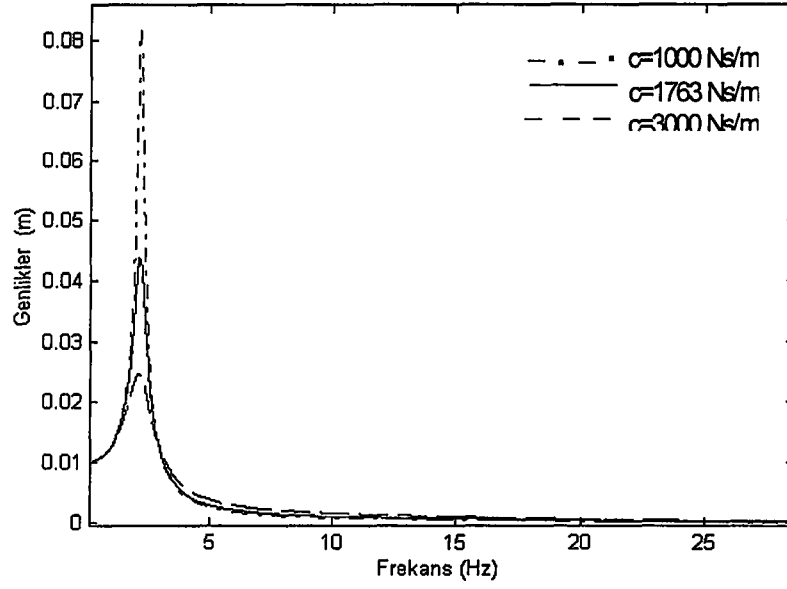


Şekil 2.27 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin maksimum düşey yer değiştirmeleri

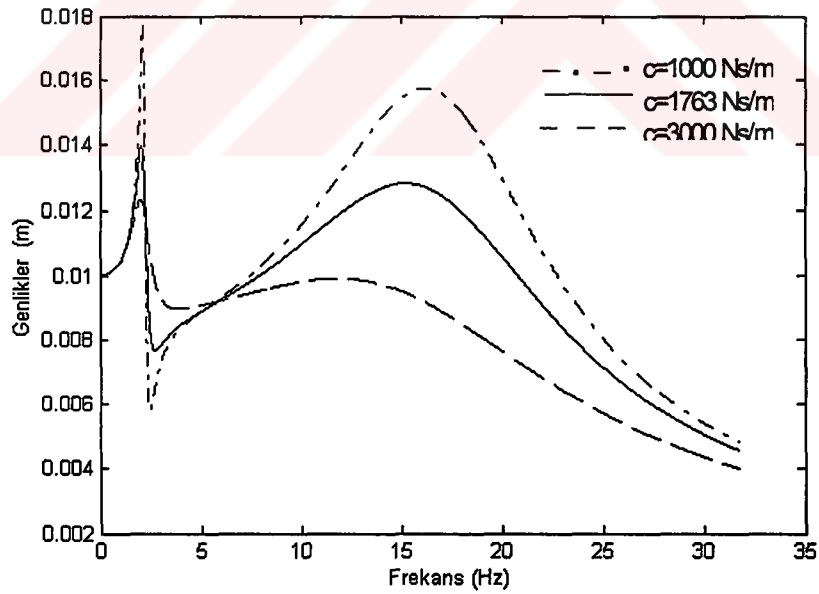


Şekil 2.28 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki maksimum açısal sapmaları (Kafa vurma)

Altı tekerlekli süspansiyonlu askeri taşıtın **yüklü** durum için sinoziodal yol şartlarında **iki serbestlik** dereceli modellemeye frekans düzleminde farklı sönüm katsayıları için titreşim cevapları;

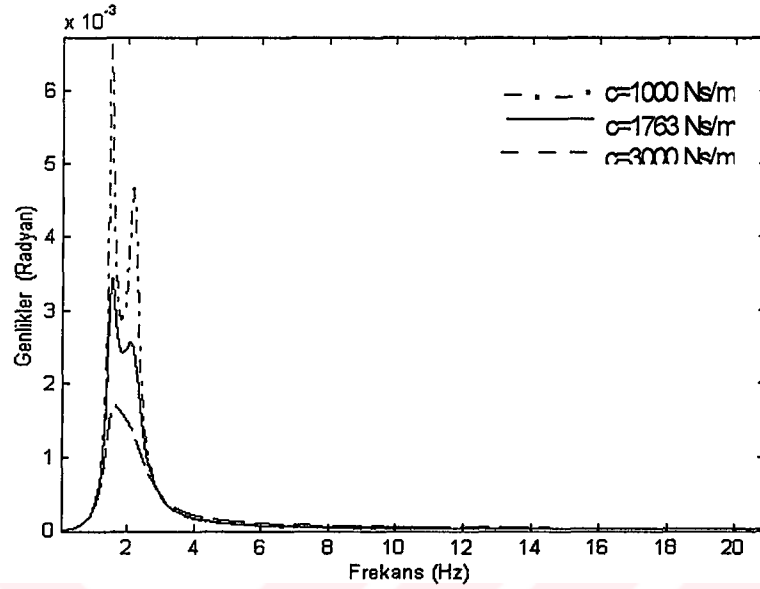


Şekil 2.29 Altı Tekerlekli Askeri taşıtın ağırlık merkezinin(m_1 kütlesi) maksimum düşey yer değiştirmeleri

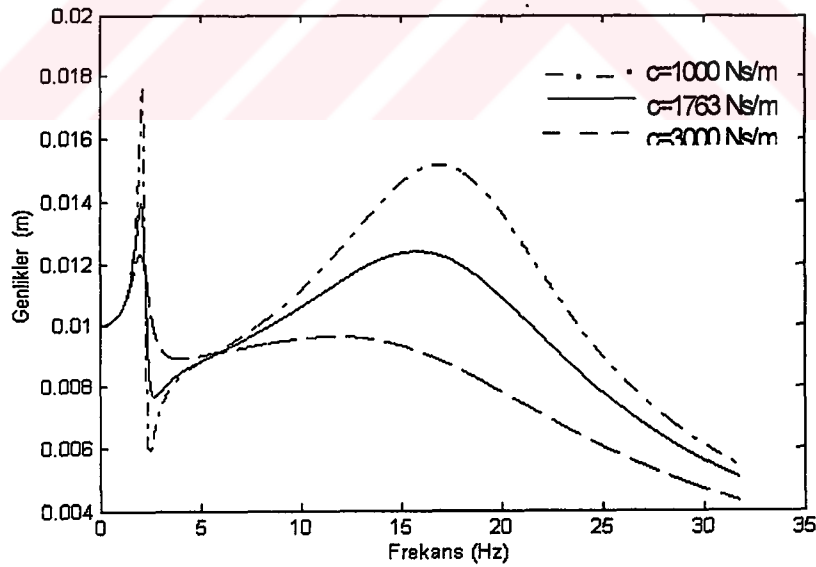


Şekil 2.30 Altı Tekerlekli Askeri taşıtın m_2 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri

Altı tekerlekli süspansiyonlu askeri taşıtın **yüklü** durum için sinoziodal yol şartlarında **beş serbestlik** dereceli modellemede frekans düzleminde farklı sönüm katsayıları için titreşim cevapları;

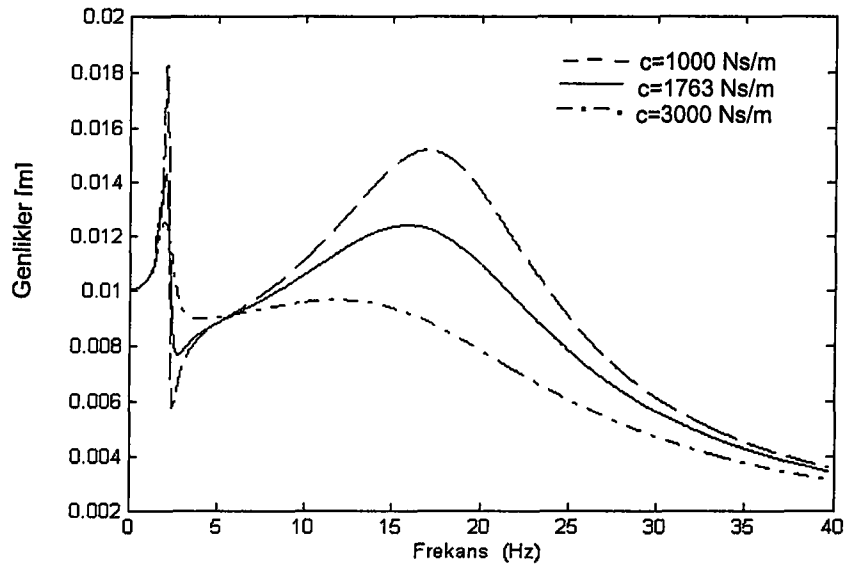


Şekil 2.31 Altı Tekerlekli Askeri taşıtın ağırlık merkezinin (m_1 kütlesi) z eksenine etrafındaki maksimum açısal sapmaları (Kafa vurma)

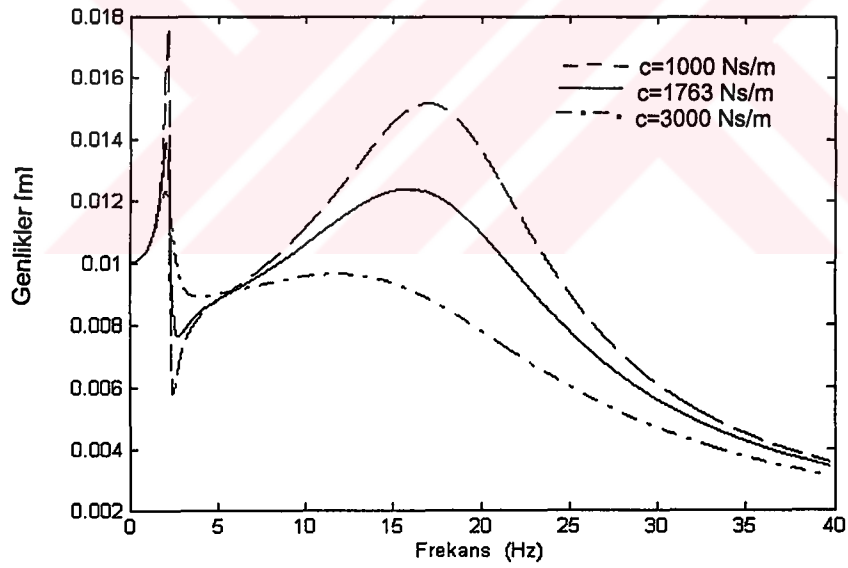


Şekil 2.32 Altı Tekerlekli Askeri taşıtın m_3 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri

Altı tekerlekli askeri taşıtın **yüklü** durum için sinoziodal yol şartlarında **dokuz serbestlik** dereceli modellemeye farklı sönüm katsayıları frekans düzleminde titreşim cevapları;

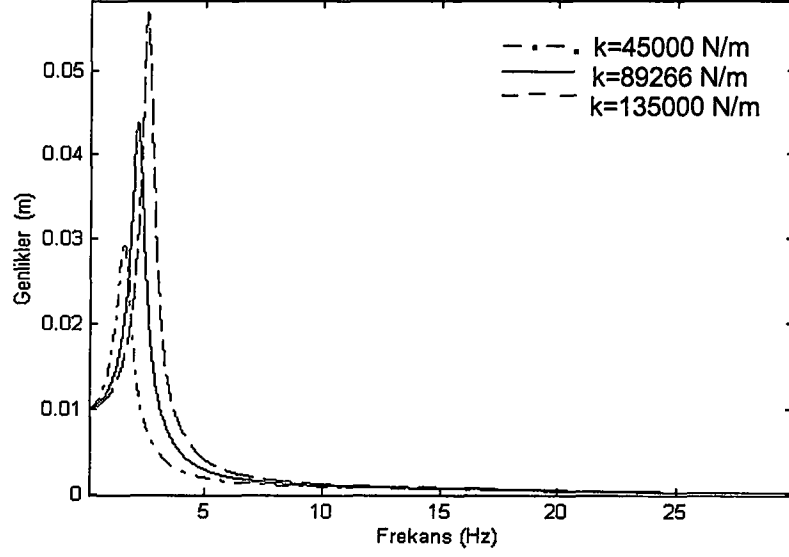


Şekil 2.33 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_4 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri

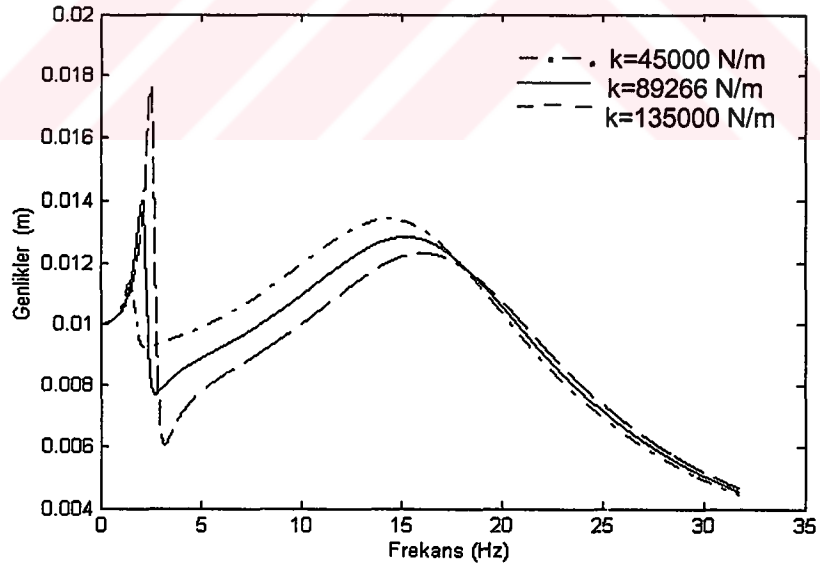


Şekil 2.34 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_5 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri

Altı tekerlekli süspansiyonlu askeri taşıtın **yüklü** durum için sinoziodal yol şartlarında **iki serbestlik** dereceli modellemede frekans düzleminde farklı yay katsayıları için titreşim cevapları;

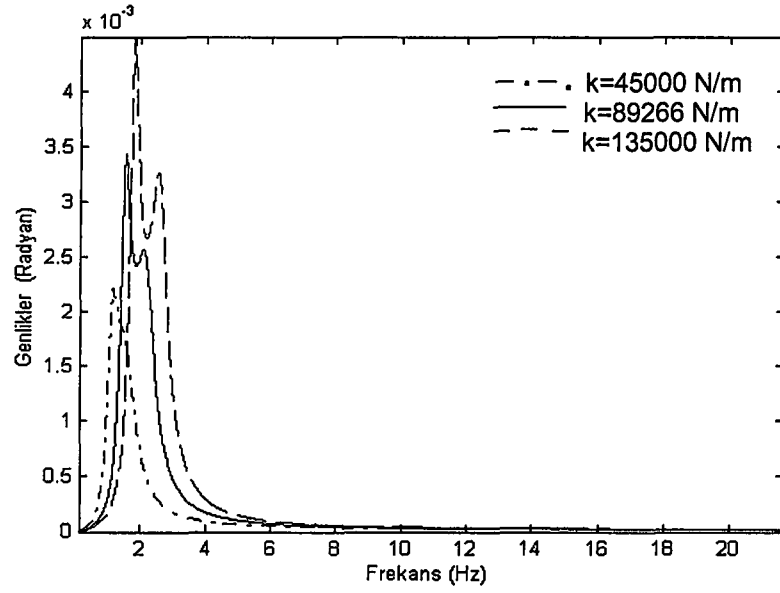


Şekil 2.35 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin(m_1 kütlesi) maksimum düşey yer değiştirmeleri

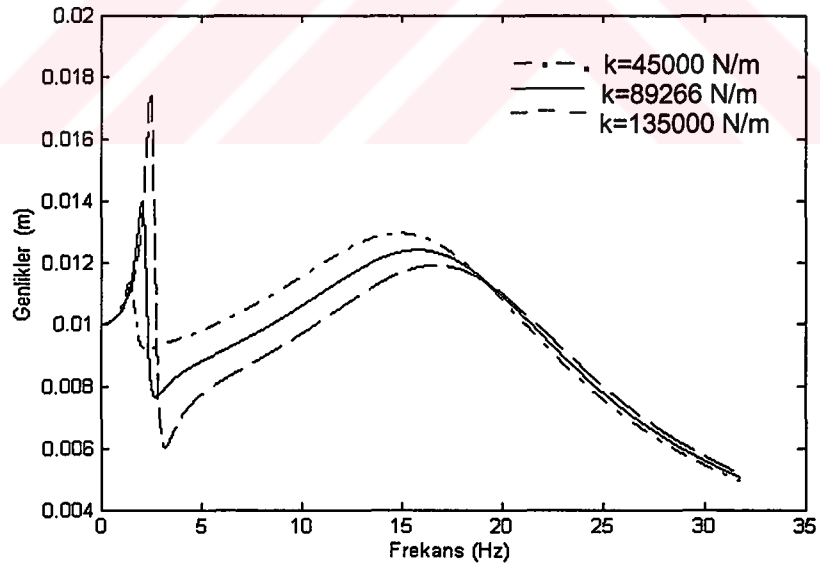


Şekil 2.36 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_2 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri

Altı tekerlekli süspansiyonlu askeri taşıtın **yüklü** durum için sinoziodal yol şartlarında **beş serbestlik** dereceli modellemeye frekans düzleminde farklı yay katsayıları için titreşim cevapları;

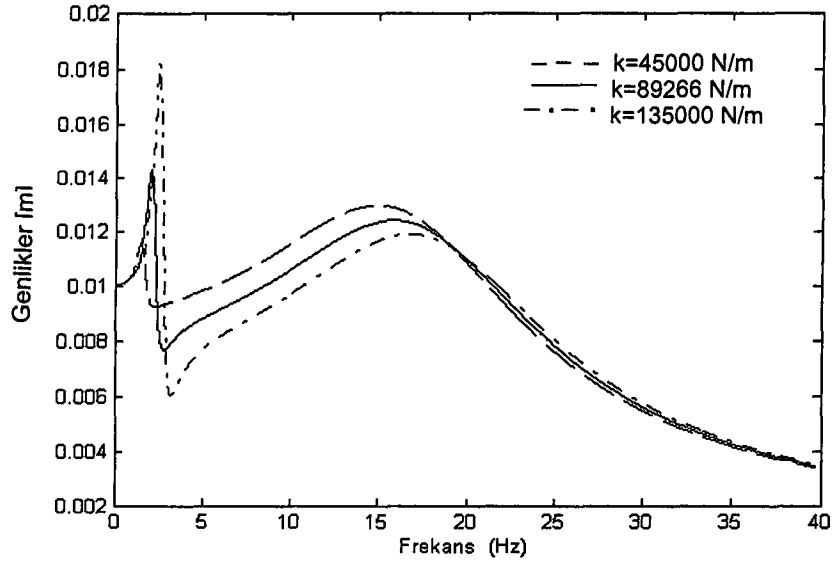


Şekil 2.37 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin (m_1 kütlesi) z eksenini etrafındaki maksimum açısal sapmaları (Kafa vurma)

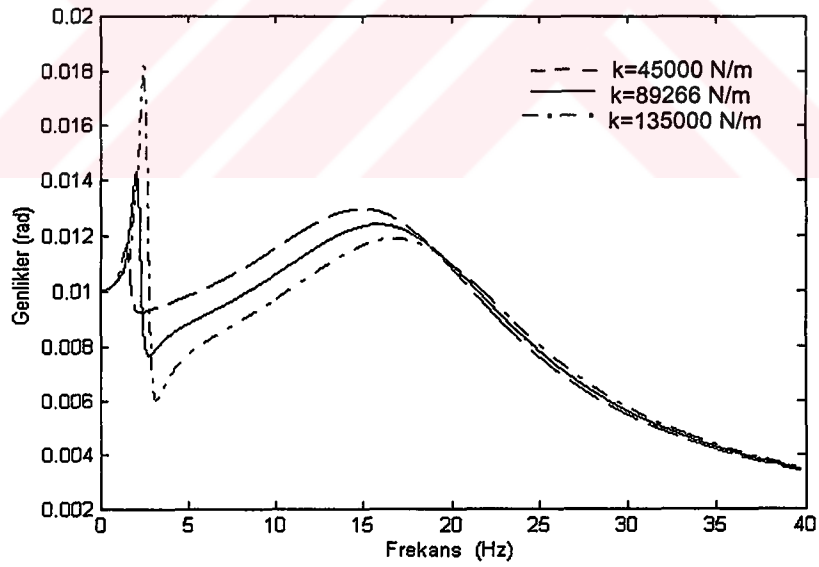


Şekil 2.38 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_3 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri

Altı tekerlekli süspansiyonlu askeri taşıtın **yüklü** durum için sinozoidal yol şartlarında **dokuz serbestlik** dereceli modellemeye frekans düzleminde farklı yay katsayıları için titreşim cevapları;



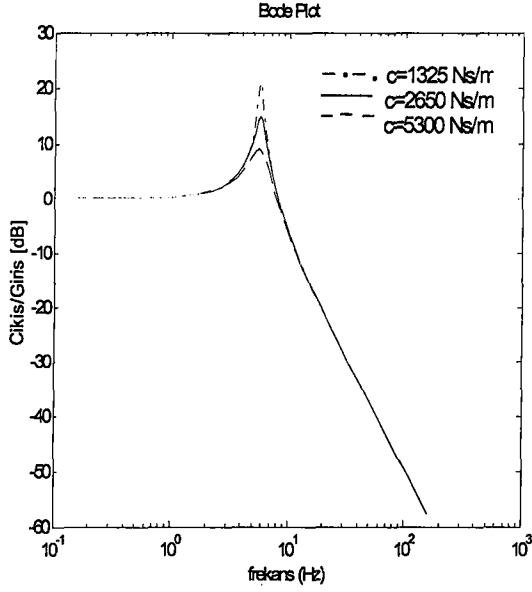
Şekil 2.39 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_4 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri



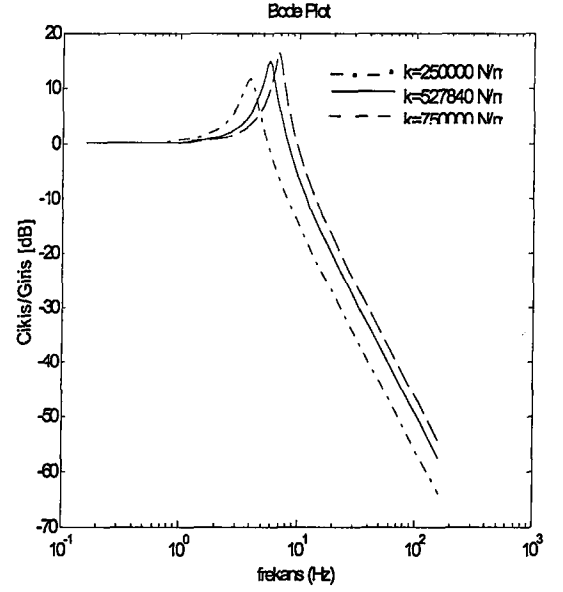
Şekil 2.40 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_5 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri

2.8.1 Bode Diyagramları

Süspansiyonsuz taşıt **tek serbestlik** dereceli model;

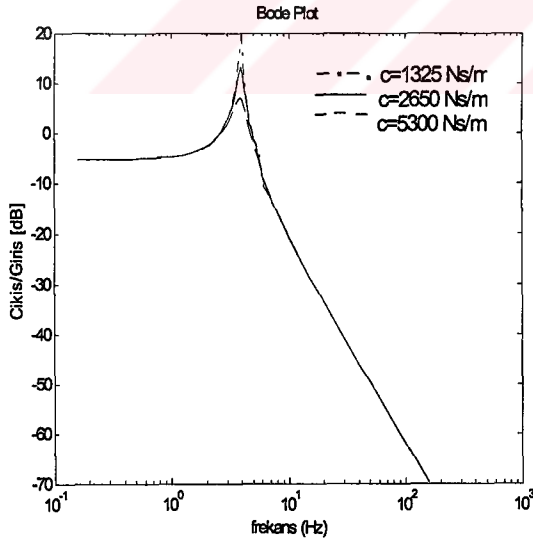


Şekil 2.41 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi düşey yer değiştirmeleri (farklı sönüm katsayıları için)

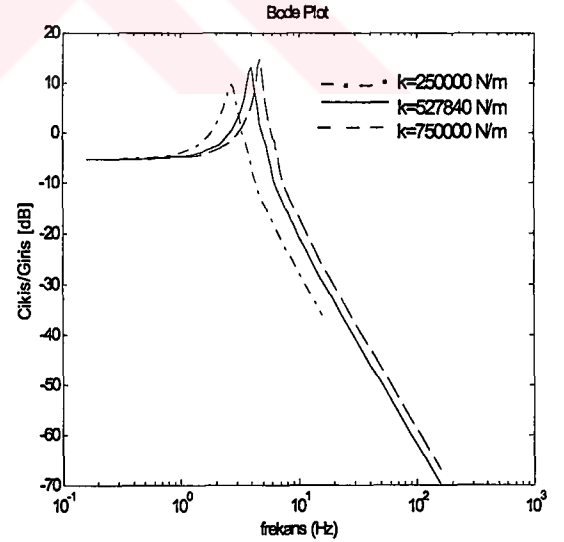


Şekil 2.42 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi düşey yer değiştirmeleri (farklı yay katsayıları için)

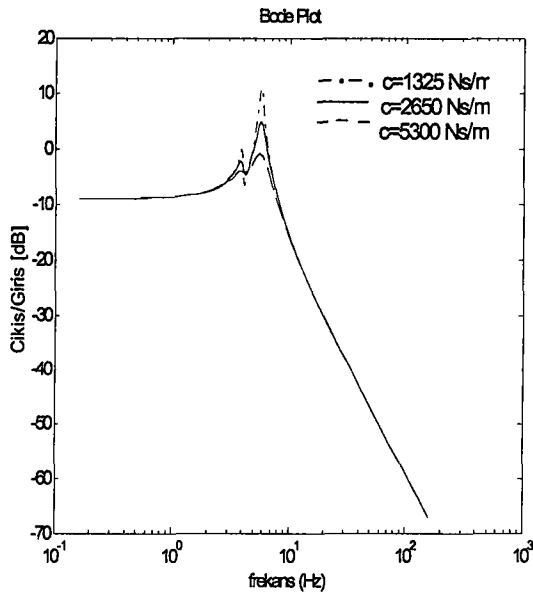
Süspansiyonsuz taşıt **iki serbestlik** dereceli model;



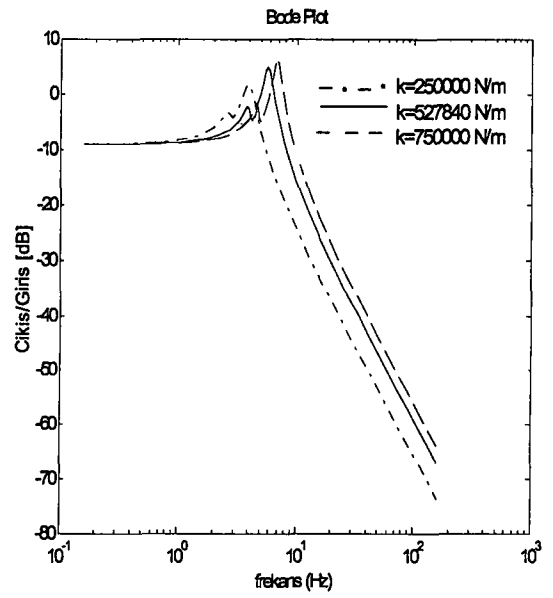
Şekil 2.43 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi düşey yer değiştirmeleri (farklı sönüm katsayıları için)



Şekil 2.44 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi düşey yer değiştirmeleri (farklı yay katsayıları için)

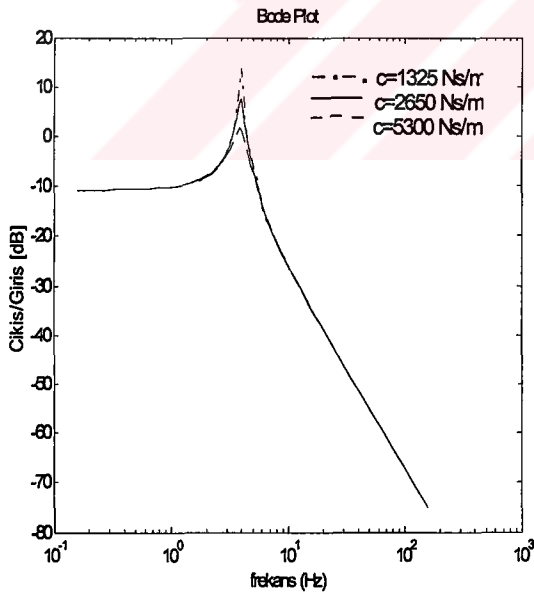


Şekil 2.45 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi z eksenini etrafındaki açısal sapmaları (Kafa vurma) (farklı sönüm katsayıları için)

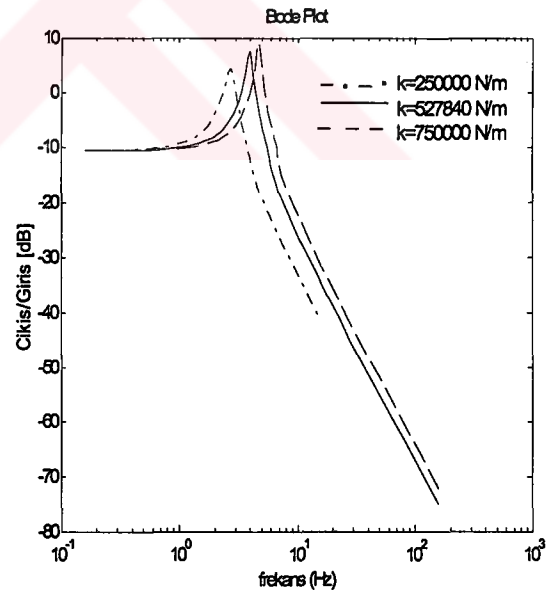


Şekil 2.46 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi z eksenini etrafındaki açısal sapmaları (Kafa vurma) (farklı yay katsayıları için)

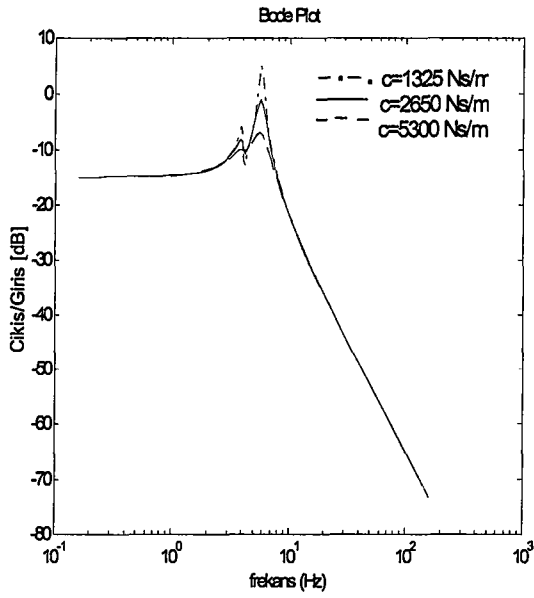
Süspansiyonsuz taşıt üç serbestlik dereceli model;



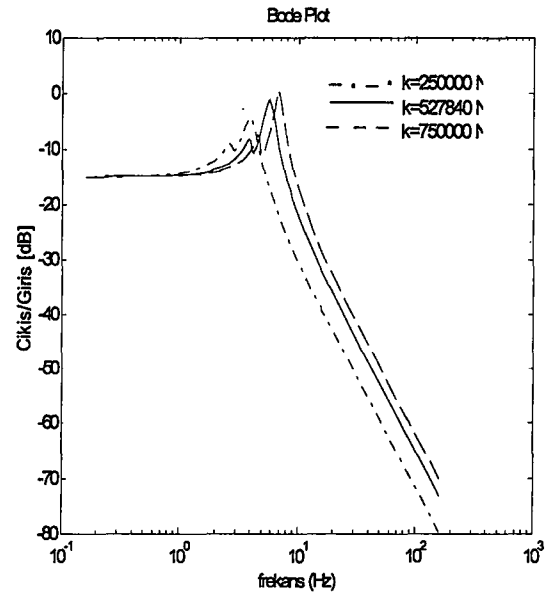
Şekil 2.47 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi düşey yer değiştirmeleri (farklı sönüm katsayıları için)



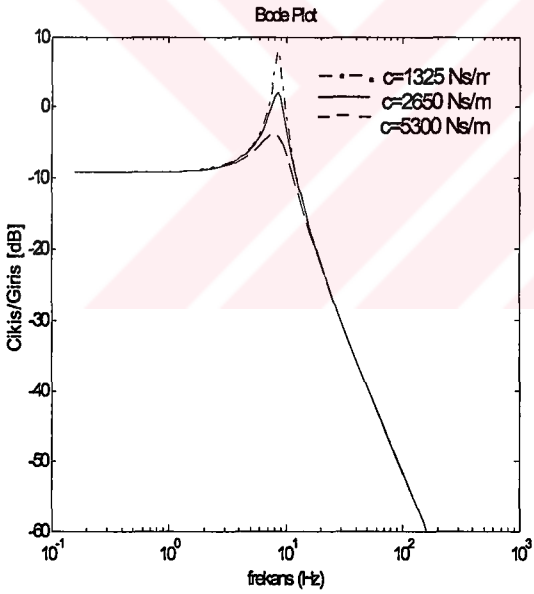
Şekil 2.48 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi düşey yer değiştirmeleri (farklı yay katsayıları için)



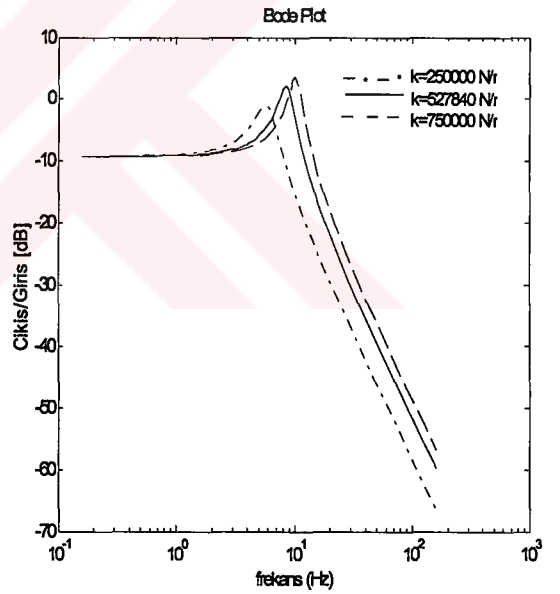
Şekil 2.49 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi z eksenini etrafındaki açılmal saptmaları (Kafa vurma) (farklı sönüm katsayıları için)



Şekil 2.50 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi z eksenini etrafındaki açılmal saptmaları (Kafa vurma) (farklı yay katsayıları için)

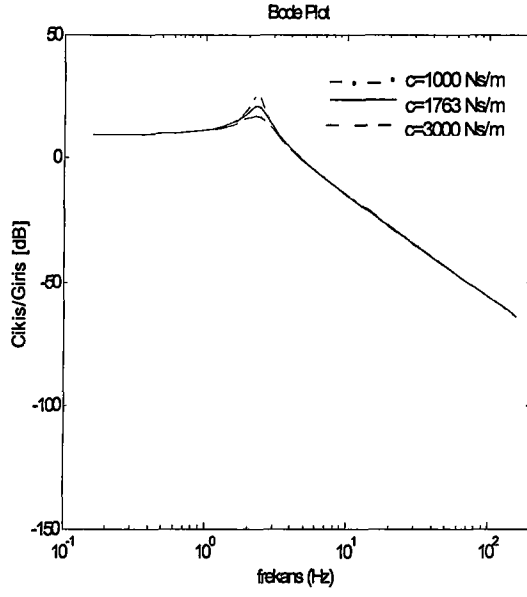


Şekil 2.51 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi x eksenini etrafındaki açılmal saptmaları (Yalpa) (farklı sönüm katsayıları için)

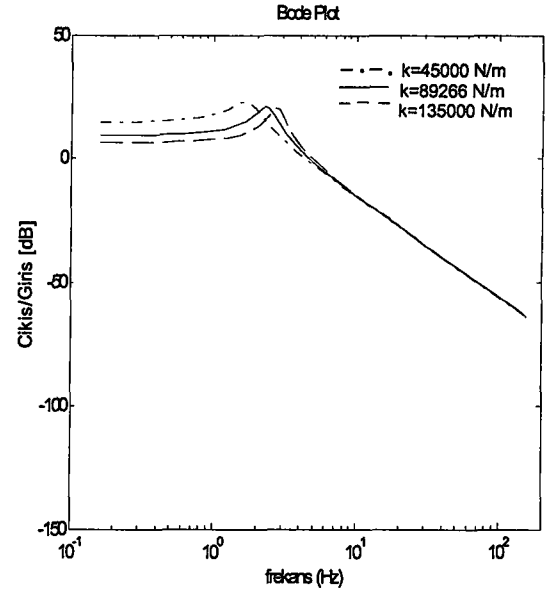


Şekil 2.52 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi x eksenini etrafındaki açılmal saptmaları (Yalpa) (farklı yay katsayıları için)

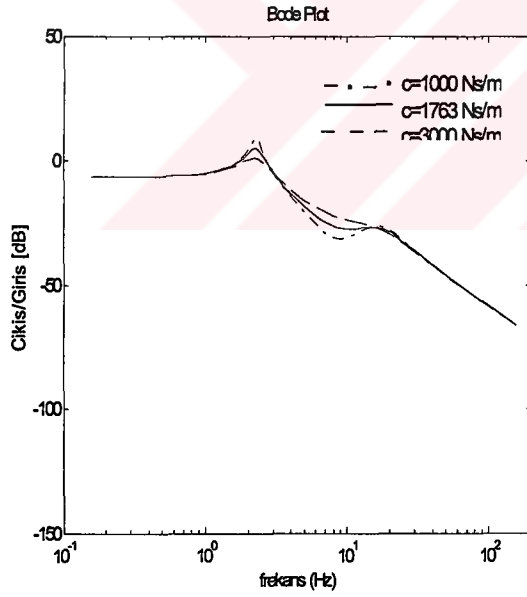
Süspansiyonlu taşıt iki serbestlik dereceli model;



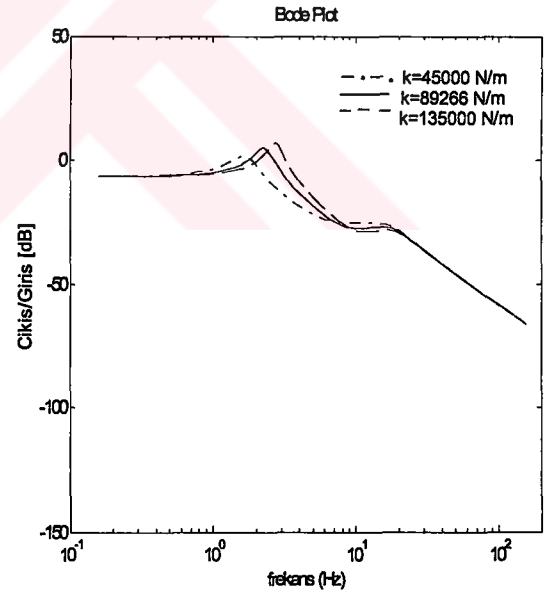
Şekil 2.53 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı sönüm katsayıları için)



Şekil 2.54 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı yay katsayıları için)

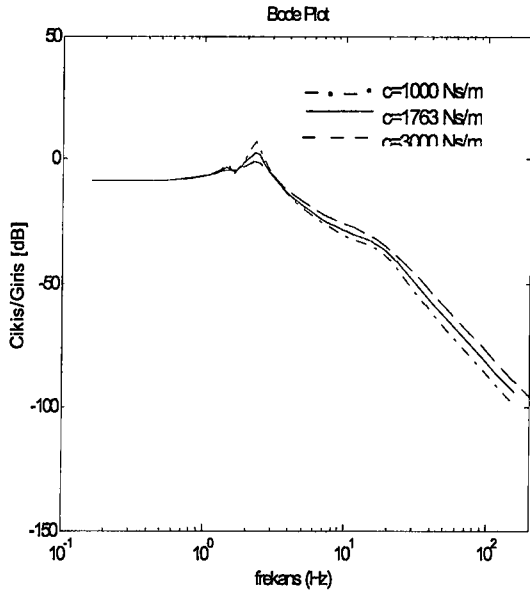


Şekil 2.55 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_2 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı sönüm katsayıları için).

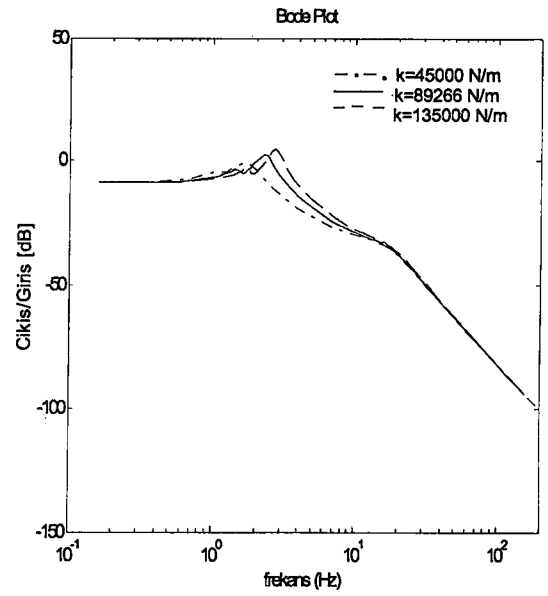


Şekil 2.56 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_2 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı yay katsayıları için)

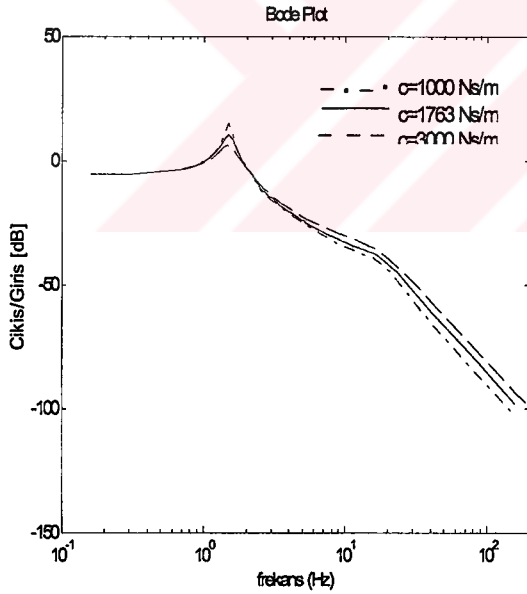
Süspansiyonlu taşıt beş serbestlik dereceli model;



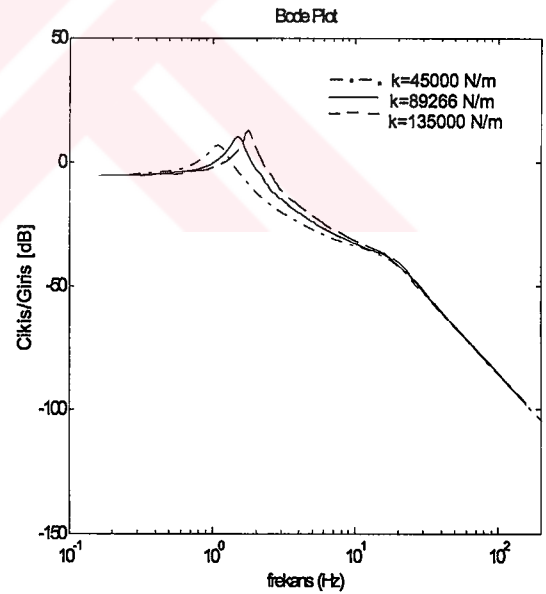
Şekil 2.57 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi düşey yer değiştirmeleri (farklı sönüm katsayıları için)



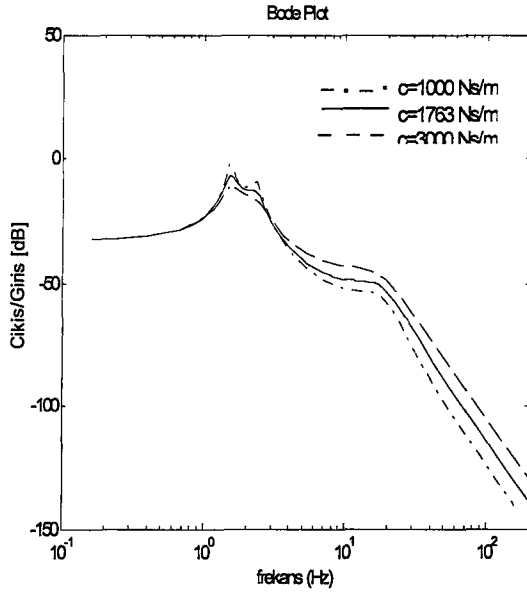
Şekil 2.58 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi düşey yer değiştirmeleri (farklı yay katsayıları için)



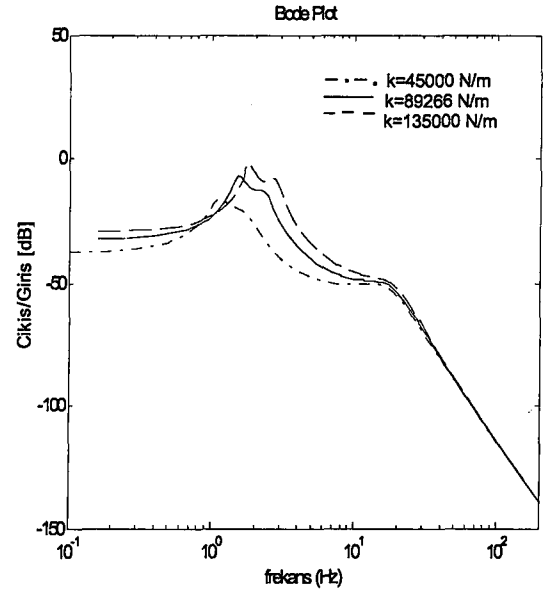
Şekil 2.59 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi z eksenini etrafındaki açılal sapmaları (Kafa vurma) (farklı sönüm katsayıları için)



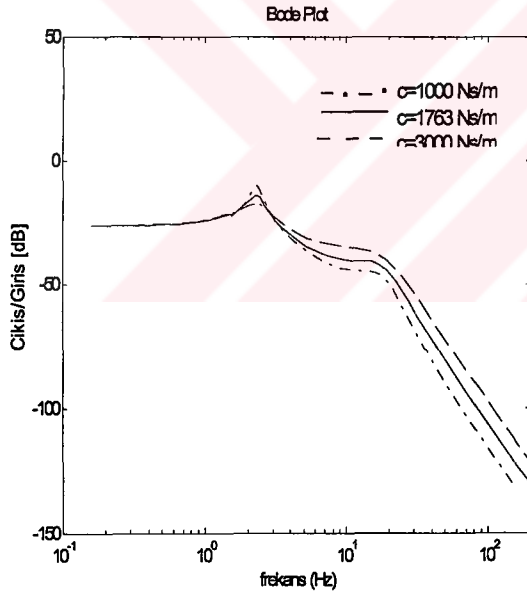
Şekil 2.60 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi z eksenini etrafındaki açılal sapmaları (Kafa vurma) (farklı yay katsayıları için)



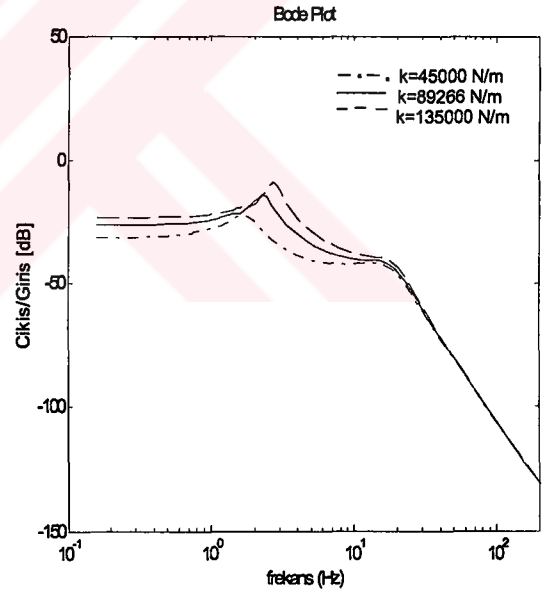
Şekil 2.61 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_2 kütlesi düşey yer değiştirmeleri (farklı sönüm katsayıları için).



Şekil 2.62 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_2 kütlesi düşey yer değiştirmeleri (farklı yay katsayıları için).

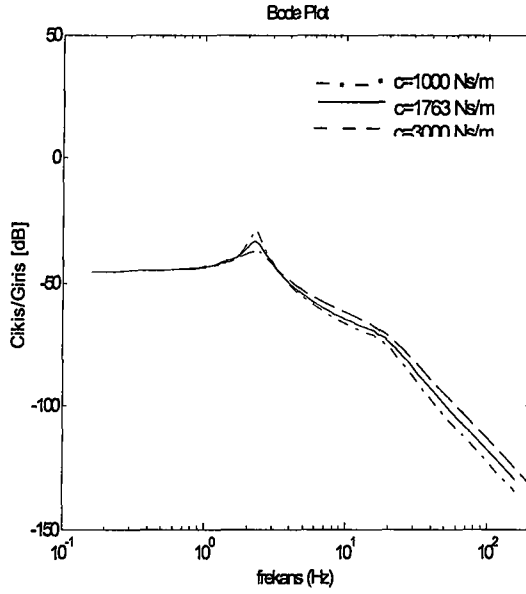


Şekil 2.63 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_3 kütlesi düşey yer değiştirmeleri (farklı sönüm katsayıları için).

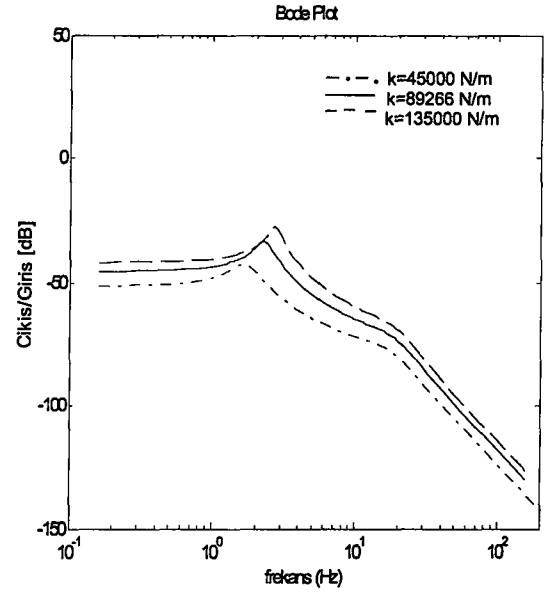


Şekil 2.64 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_3 kütlesi düşey yer değiştirmeleri (farklı yay katsayıları için).

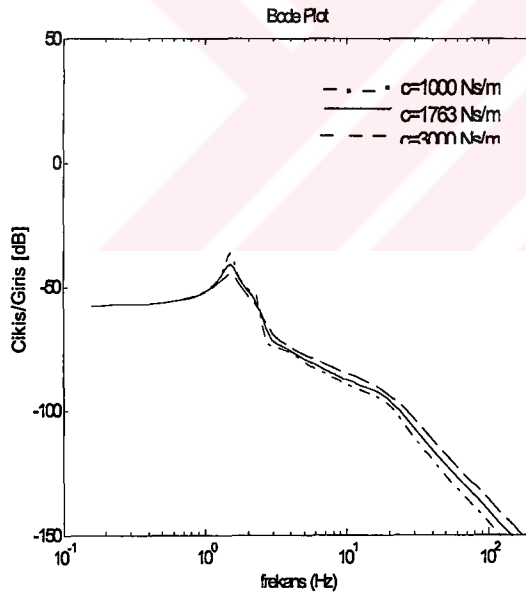
Süspansiyonlu taşıt dokuz serbestlik dereceli model;



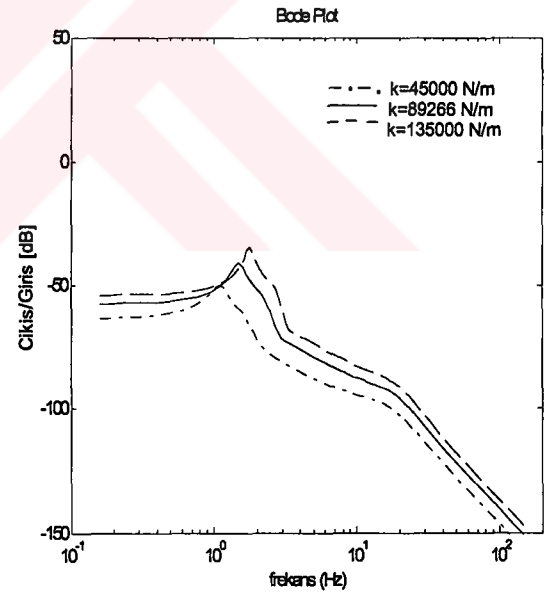
Şekil 2.65 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi düşey yer değiştirmeleri (farklı sönüm katsayıları için)



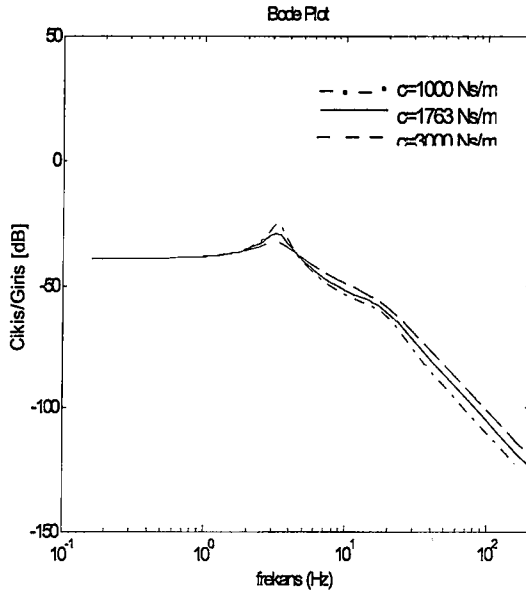
Şekil 2.66 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi düşey yer değiştirmeleri (farklı yay katsayıları için)



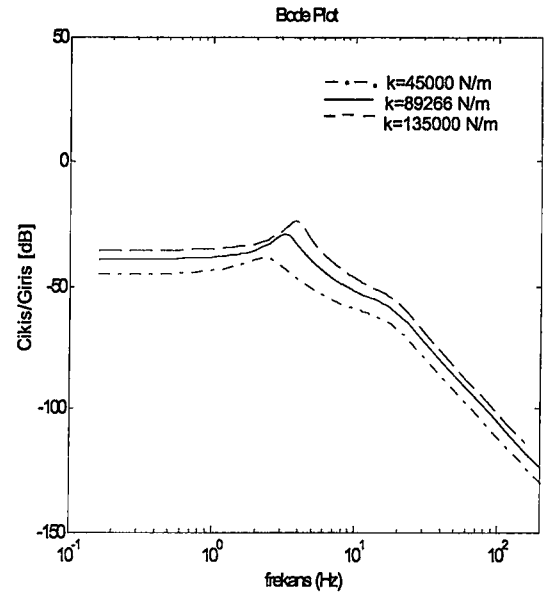
Şekil 2.67 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi z eksenini etrafındaki açısall sapmaları (Kafa vurma) (farklı sönüm katsayıları için)



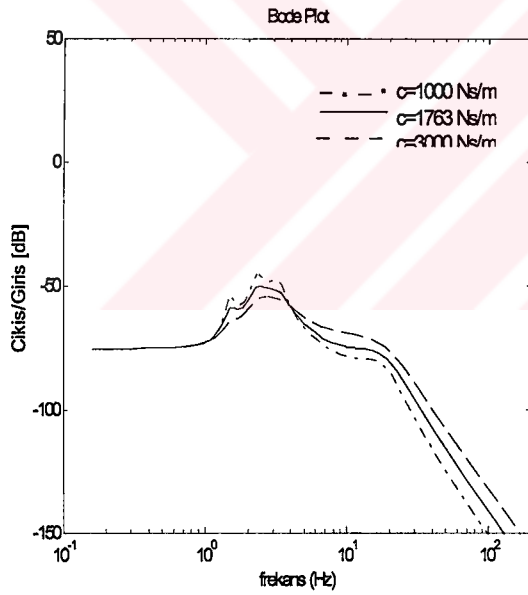
Şekil 2.68 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi z eksenini etrafındaki açısall sapmaları (Kafa vurma) (farklı yay katsayıları için)



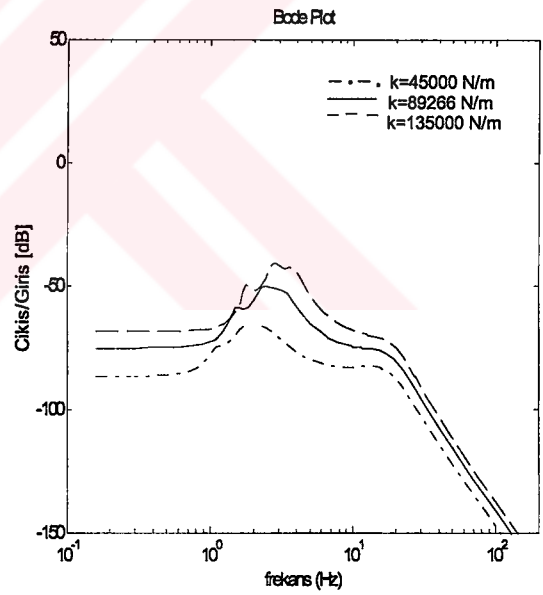
Şekil 2.69 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi x eksenini etrafındaki açılal sapmaları (Yalpa) (farklı sönüm katsayıları için)



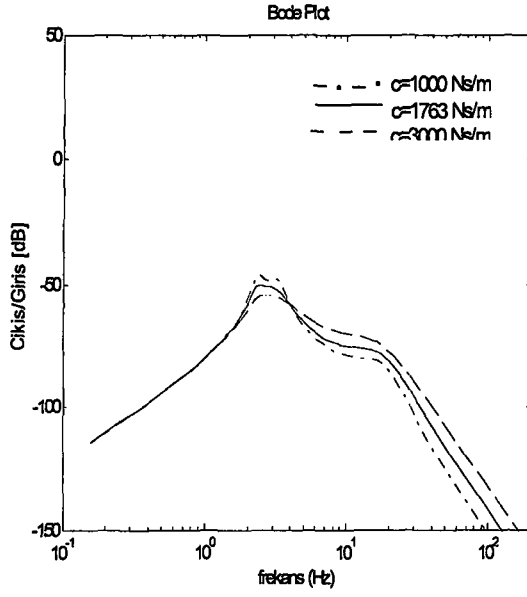
Şekil 2.70 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_1 kütlesi x eksenini etrafındaki açılal sapmaları (Yalpa) (farklı yay katsayıları için)



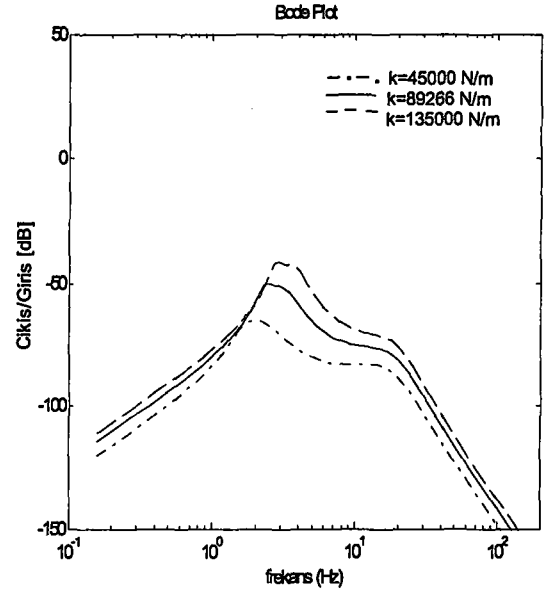
Şekil 2.71 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_2 kütlesi düşey yer değıştirmeleri (farklı sönüm katsayıları için).



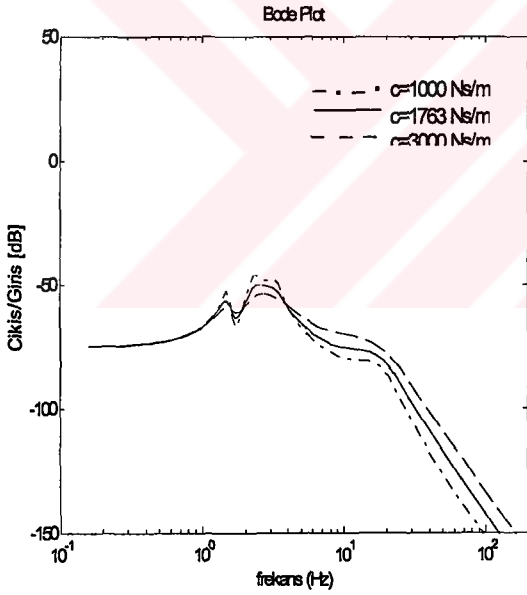
Şekil 2.72 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_2 kütlesi düşey yer değıştirmeleri (farklı yay katsayıları için).



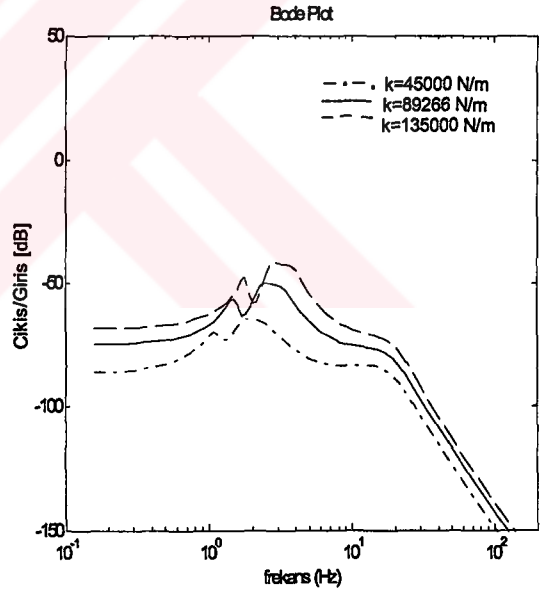
Şekil 2.73 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_3 kütlesi düşey yer değiştirmeleri (farklı sönüm katsayıları için).



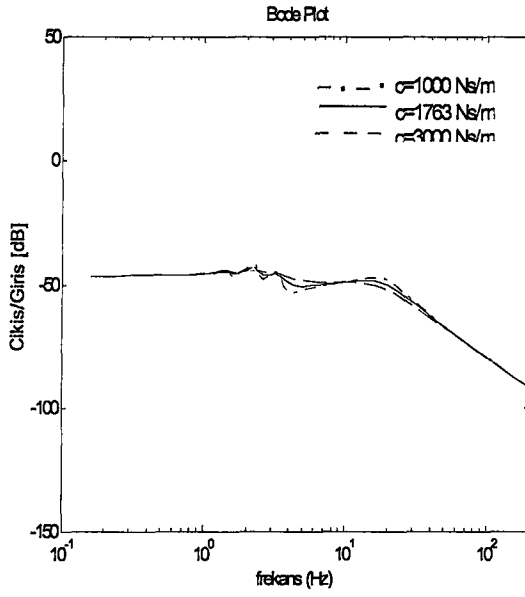
Şekil 2.74 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_3 kütlesi düşey yer değiştirmeleri (farklı yay katsayıları için).



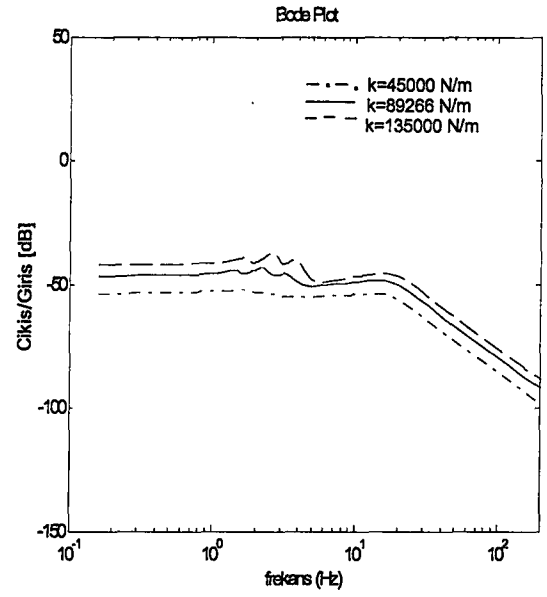
Şekil 2.75 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_4 kütlesi düşey yer değiştirmeleri (farklı sönüm katsayıları için).



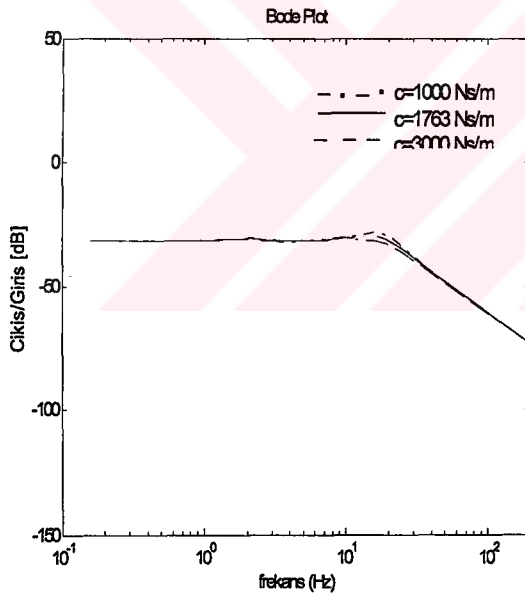
Şekil 2.76 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_4 kütlesi düşey yer değiştirmeleri (farklı yay katsayıları için).



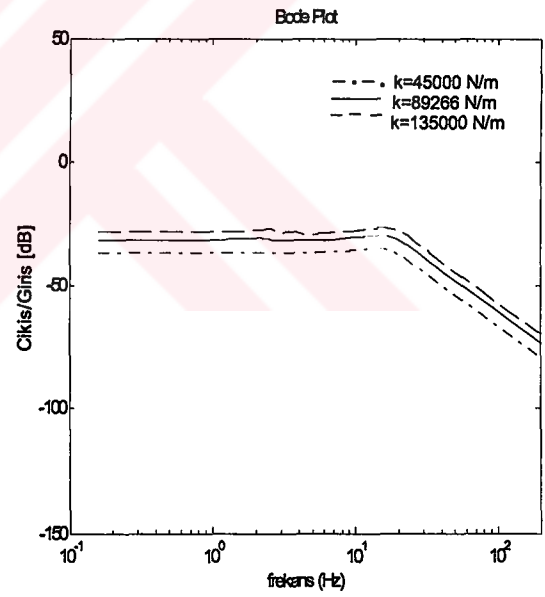
Şekil 2.77 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_5 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı sönüm katsayıları için).



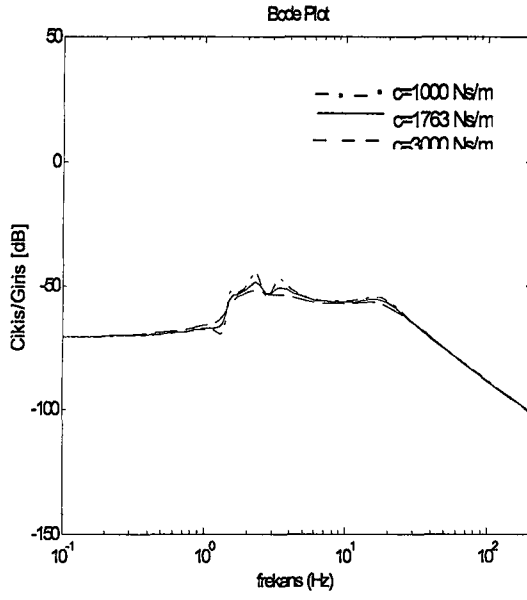
Şekil 2.78 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_5 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı yay katsayıları için).



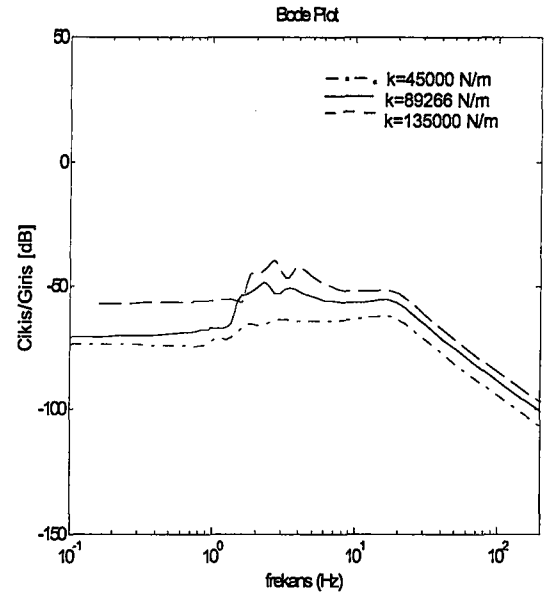
Şekil 2.79 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_6 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı sönüm katsayıları için).



Şekil 2.80 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_6 kütlesi düşey yer değiştirmeleri(farklı yay katsayıları için).



Şekil 2.81 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_7 kütlesi düşey yer değıştirmeleri(farklı sönüm katsayıları için).



Şekil 2.82 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_7 kütlesi düşey yer değıştirmeleri(farklı yay katsayıları için).

2.9 Taşıt Titreşim Cevaplarının Çeşitli Yol Fonksiyonları İçin Elde Edilmesi

Taşıtın dinamik davranışını belirleyen serbest titreşim karakteristikleri, doğal frekanslar ve mod şekilleri, çok önemli olmakla birlikte dinamik yükler altındaki davranışlarının ayrıca belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla taşıtın titreşim cevapları, çeşitli yol fonksiyonları için teorik ve deneysel olarak elde edildi.

2.9.1 Diferansiyel Denklemlerin Durum Uzayında İfade Edilmesi

Bu bölümde, Altı tekerlekli taşıta, çeşitli yol şartlarını ve havan silahı ile atış durumunu, simülasyonda giriş fonksiyonu olarak uygulayabilmek için, denklemler durum uzayında (State-space) ifade edildi. Taşıt titreşim cevapları MATLAB de yapılan programlarla incelenecektir.

2.9.2 Bir Serbestlik Dereceli Model

Altıda bir taşıt modeli (Şekil 2.3) ve (2.5) no lu denklem gözönüne alınarak :

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = c\dot{x}_y + kx_y$$

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (2.32)$$

$$x = Cx + Du \quad (2.33)$$

denklemleri durum uzayında (state-space) yazabilmek için matris formunda katsayıları ifade etmek gerekir;

$$x_1 = \dot{x}$$

$$\dot{x}_1 = \frac{1}{m} [-cx_1 - kx + c\dot{x}_y + kx_y]$$

Katsayılar matrisleri aşağıdaki gibi elde edilir;

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{k}{m} & -\frac{c}{m} \end{bmatrix}; \quad x = \begin{bmatrix} x \\ \dot{x}_1 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{k}{m} & \frac{c}{m} \end{bmatrix}; \quad u = \begin{bmatrix} X \sin \omega t \\ X \omega \cos \omega t \end{bmatrix}$$

2.9.3 İki Serbestlik Dereceli Model

Yarım taşıt modeli (Şekil 2.4) ve Ek.2 de ki denklemler gözönüne alınarak katsayılar elde edilir:

$$x_1 = \dot{x}; \quad \theta_1 = \dot{\theta}; \quad \frac{1}{m_1} = d_1; \quad \frac{1}{J_{zz}} = d_2$$

$$\begin{aligned} \dot{x} = \frac{1}{m_1} [& -(c_1 + c_2 + c_3)x_1 - (-c_1L_3 + c_2L_1 + c_3L_2)\theta_1 - (k_1 + k_2 + k_3)x - (-k_1L_3 + k_2L_1 + k_3L_2)\theta_1 \\ & + k_1x_{y3} + k_2x_{y2} + k_3x_{y1} + c_1\dot{x}_{y3} + c_2\dot{x}_{y2} + c_3\dot{x}_{y1}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{\theta} = \frac{1}{J_{zz}} [& (-c_1L_3 + c_2L_1 + c_3L_2)x_1 - (c_1L_3^2 + c_2L_1^2 + c_3L_2^2)\theta_1 - (-k_1L_3 + k_2L_1 + k_3L_2)x_1 \\ & (k_1L_3^2 + k_2L_1^2 + k_3L_2^2)\theta_1 - k_1L_3x_{y3} + k_2L_2x_{y2} + k_3L_2x_{y1} + c_1L_3\dot{x}_{y3} + \\ & c_2L_1\dot{x}_{y2} + c_3L_2\dot{x}_{y1}] \end{aligned}$$

Sistem matrisleri yazılırsa;

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -d_1(k_1+k_2+k_3) & -d_1(-k_1L_3+k_2L_1+k_3L_2) & -d_1(c_1+c_2+c_3) & -d_1(-c_1L_3+c_2L_1+c_3L_2) \\ -d_2(-k_1L_3+k_2L_1+k_3L_2) & -d_2(k_1L_3^2+k_2L_1^2+k_3L_2^2) & -d_2(-c_1L_3+c_2L_1+c_3L_2) & -d_2(c_1L_3^2+c_2L_1^2+c_3L_2^2) \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_3d_1 & k_2d_1 & k_1d_1 & c_3d_1 & c_2d_1 & c_1d_1 \\ k_3L_2d_2 & k_2L_1d_2 & -k_1L_3d_2 & c_3L_2d_2 & c_2L_1d_2 & -c_1L_3d_2 \end{bmatrix}$$

2.9.4 Üç Serbestlik Dereceli Model

Tam taşıt modeli (Şekil 2.5) ve Ek.3 de ki denklemler gözönüne alınarak katsayılar elde edilir:

$$x_1 = \dot{x} ; \theta_4 = \dot{\theta}_2 ; \theta_5 = \dot{\theta}_3 ; \frac{1}{m_1} = d_1 ; \frac{1}{J_{zz}} = d_2 ; \frac{1}{J_{yy}} = d_3$$

$$\dot{x}_1 = \frac{1}{m_1} \begin{bmatrix} -(c_1+c_2+c_3+c_4+c_5+c_6)x_1 - (c_1L_3-c_2L_1+c_3(L_1+L_2)+c_4L_3-c_5L_1-c_6(L_1+L_2))\theta_4 \\ -(-c_1-c_2-c_3+c_4+c_5+c_6)\frac{T_e}{2}\theta_5 - (k_1+k_2+k_3+k_4+k_5+k_6)x_1 - (k_1L_3-k_2L_1-k_3(L_1+L_2) \\ +k_4L_3-k_5L_1-k_6(L_1+L_2))\theta_2 - (-k_1-k_2-k_3+k_4+k_5+k_6)\frac{T_e}{2}\theta_3 \end{bmatrix}$$

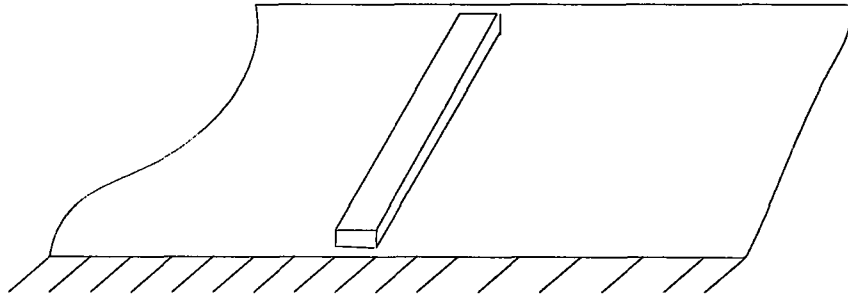
$$\dot{\theta}_4 = \frac{1}{J_{zz}} \left[\begin{aligned} &-(c_1 L_3 - c_2 L_1 - c_3 (L_1 + L_2) + c_4 L_3 - c_5 L_1 - c_6 (L_1 + L_2)) x_1 - (c_1 L_3^2 + c_2 L_1^2 + c_3 (L_1 + L_2)^2 + c_4 L_3^2 - c_5 L_1^2 \\ &+ c_6 (L_1 + L_2)^2) \theta_4 - (c_1 L_3 + c_2 L_1 + c_3 (L_1 + L_2) + c_4 L_3 - c_5 L_1 - c_6 (L_1 + L_2)) \frac{T_e}{2} \theta_5 - (k_1 L_3 - k_2 L_1 - k_3 (L_1 + L_2)) \\ &+ k_4 L_3 - k_5 L_1 - k_6 (L_1 + L_2) x - (k_1 L_3^2 + k_2 L_1^2 + k_3 (L_1 + L_2)^2 + k_4 L_3^2 - k_5 L_1^2 + k_6 (L_1 + L_2)^2) \theta_2 \\ &-(k_1 L_3 + k_2 L_1 + k_3 (L_1 + L_2) + k_4 L_3 - k_5 L_1 - k_6 (L_1 + L_2)) \frac{T_e}{2} \theta_3 \end{aligned} \right]$$

$$\dot{\theta}_5 = \frac{1}{J_{yy}} \left[\begin{aligned} &-(c_1 - c_2 - c_3 + c_4 + c_5 + c_6) \frac{T_e}{2} x_1 - (-c_1 L_3 + c_2 L_1 + c_3 (L_1 + L_2) + c_4 L_3 - c_5 L_1 + c_6 (L_1 + L_2)) \frac{T_e}{2} \theta_4 \\ &-(c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + c_5 + c_6) \frac{T_e^2}{4} \theta_5 - (-k_1 - k_2 - k_3 + k_4 + k_5 + k_6) \frac{T_e}{2} x - (k_1 L_3 + k_2 L_1 + k_3 (L_1 + L_2)) \\ &+ k_4 L_3 - k_5 L_1 - k_6 (L_1 + L_2) \theta_2 - (k_1 + k_2 + k_3 + k_4 - k_5 + k_6) \theta_3 \frac{T_e^2}{4} \end{aligned} \right]$$



2.9.5 Tek Engelli Yolda Taşıt Darbe Cevaplarının Simülasyonla Bulunması

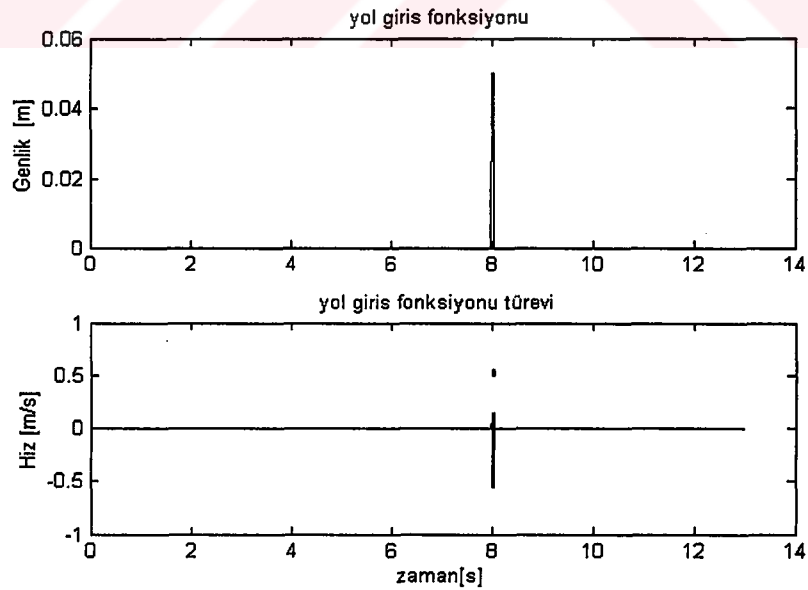
Bu amaçla yol üzerinde, bir adet $h \times b = 50 \times 100$ ölçülerinde, dikdörtgen profil engel oluşturularak, taşıta giriş yol fonksiyonu hazırlandı (Şekil 2.83). Bir serbestlik dereceli sistem için MATLAB de oluşturulan tekerleğe gelen giriş yol fonksiyonu Şekil 2.84 de gösterildi. Dikdörtgen giriş fonksiyonu Fourier serileri ile MATLAB de 3000 adım kullanılarak elde edildi. Elde edilen bu fonksiyon, durum uzayında denklemlerde giriş fonksiyonu olarak kullanıldı. 10 ve 20 km/h sabit hızlarda ki taşıt titreşim cevaplarına ait grafikler aşağıdaki gibi elde edildi.



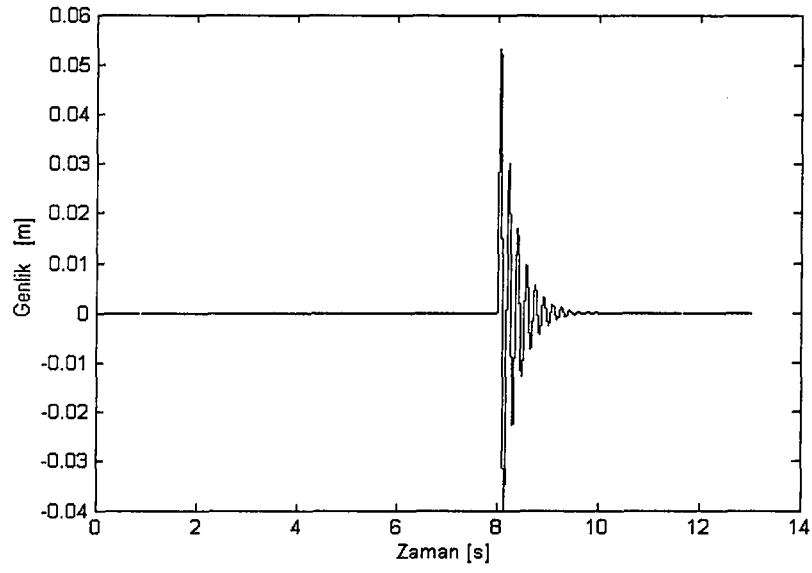
Şekil 2.83 Yol profili

10 km/h sabit hız için giriş fonksiyonu;

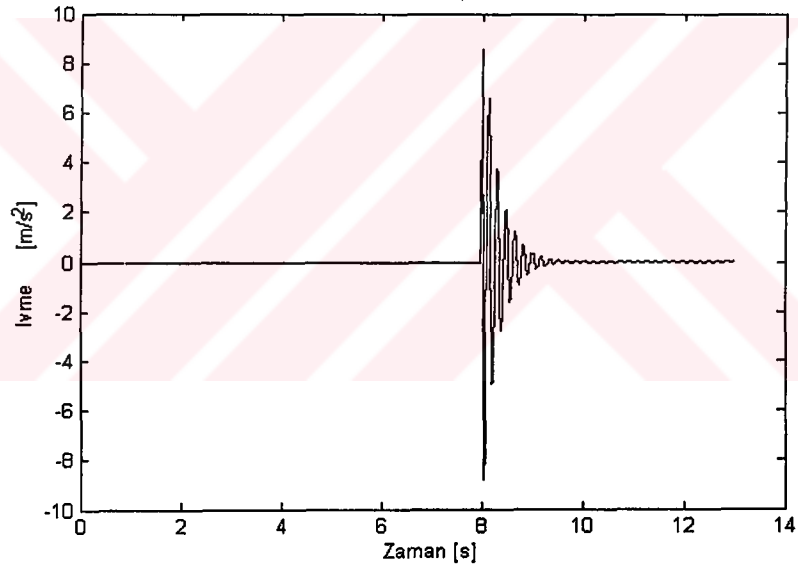
Tek serbestlik dereceli sistem için:



Şekil 2.84 Sisteme giriş yol fonksiyonu genlik ve hız grafiği

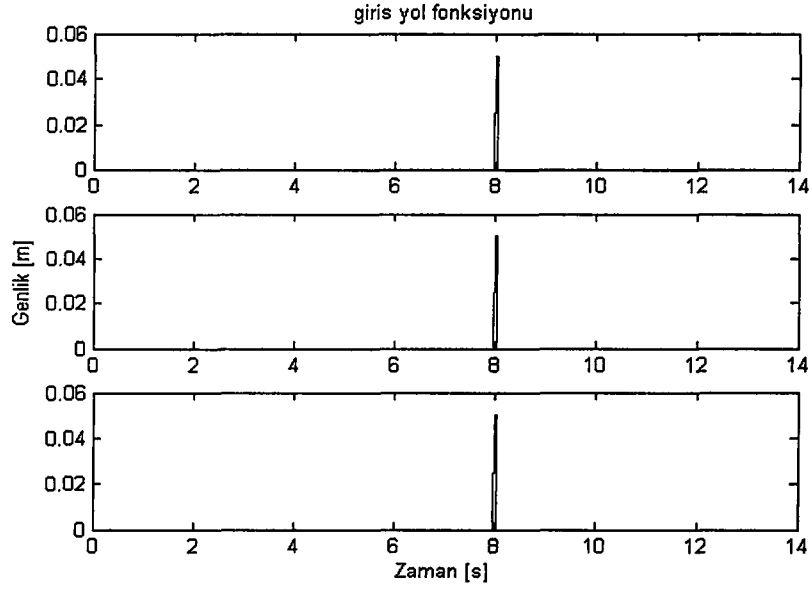


Şekil 2.85 Taşıt ağırlık merkezinin düşey deplasmanları

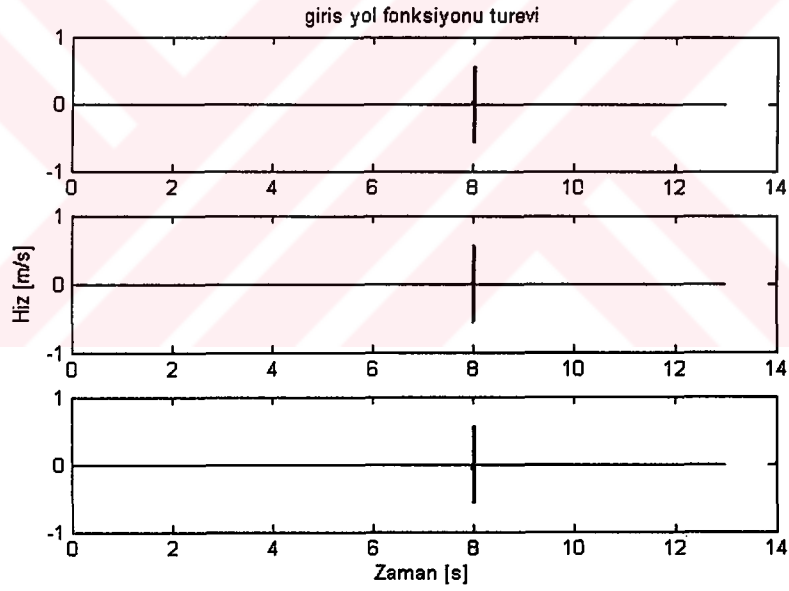


Şekil 2.86 Taşıt ağırlık merkezinin düşey titreşimlerin ivmeleri

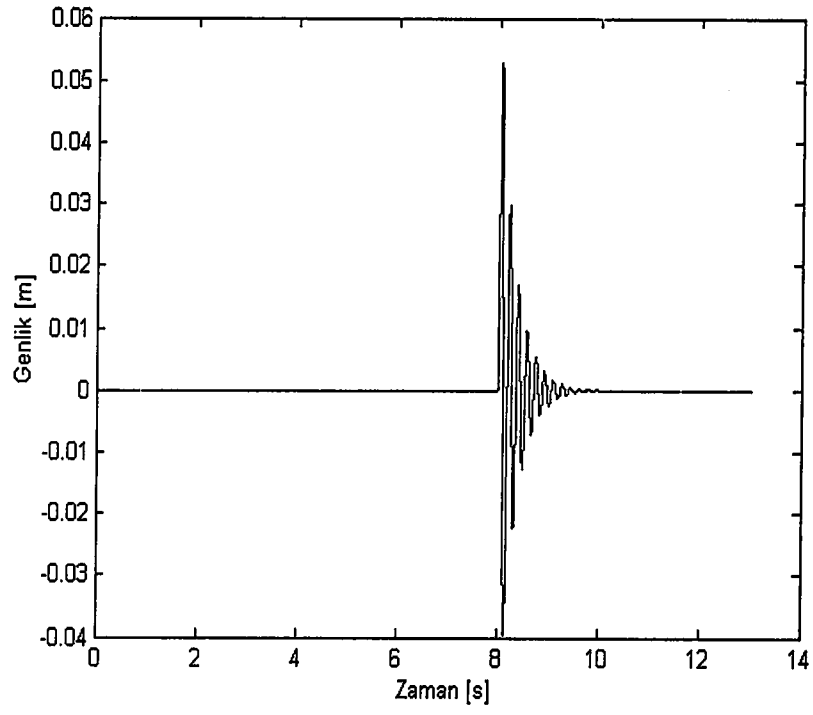
İki serbestlik dereceli sistem için giriş fonksiyonu;



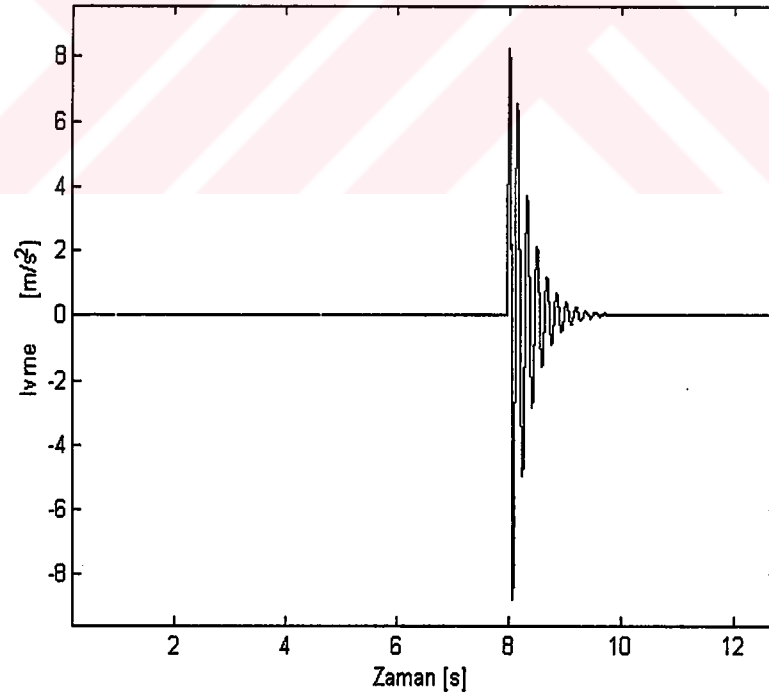
Şekil 2.87 Yarım taşıt modeli için giriş fonksiyonları genlik grafiği



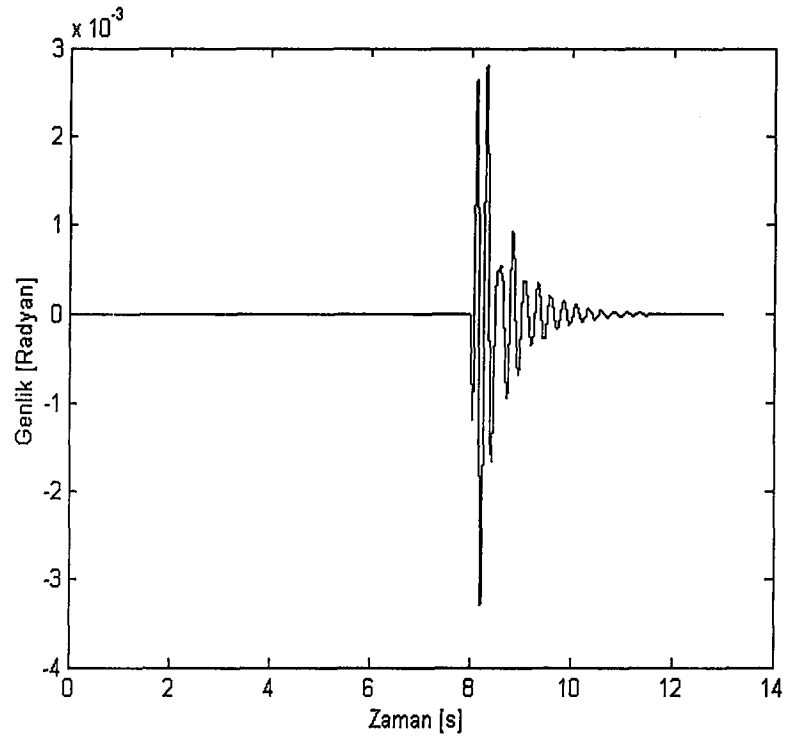
Şekil 2.88 Yarım taşıt modeli için giriş fonksiyonları hız grafiği



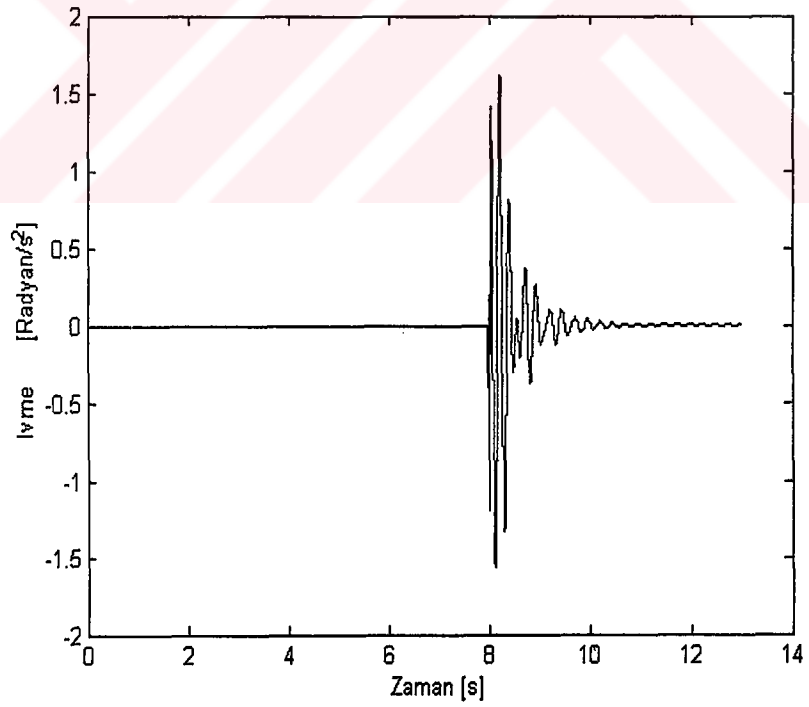
Şekil 2.89 Taşıt ağırlık merkezinin düşey deplasmanları



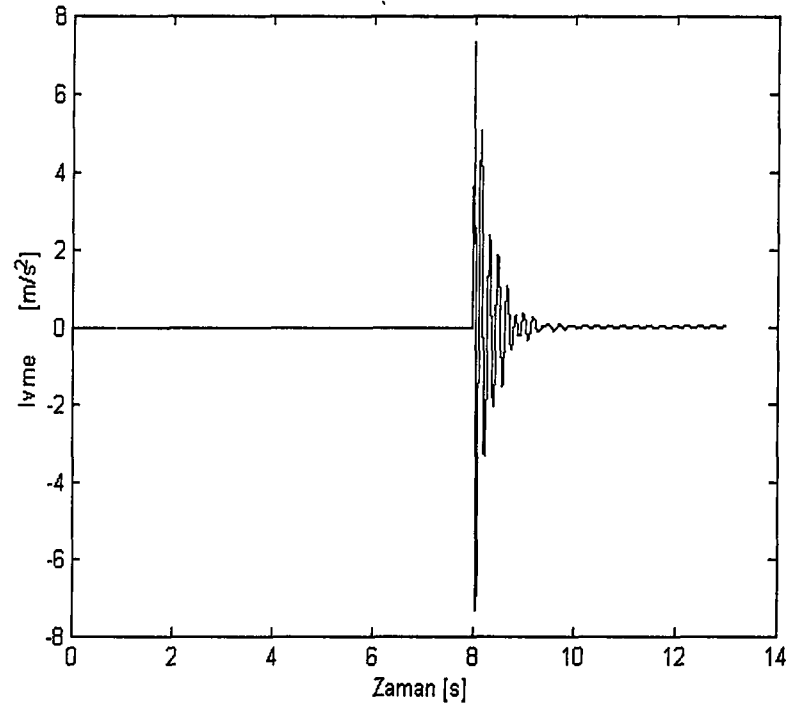
Şekil 2.90 Taşıt ağırlık merkezinin düşey titreşimlerin ivmeleri



Şekil 2.91 Taşıt ağırlık merkezinin z ekseni etrafındaki açısal titreşimleri (Kafa vurma)

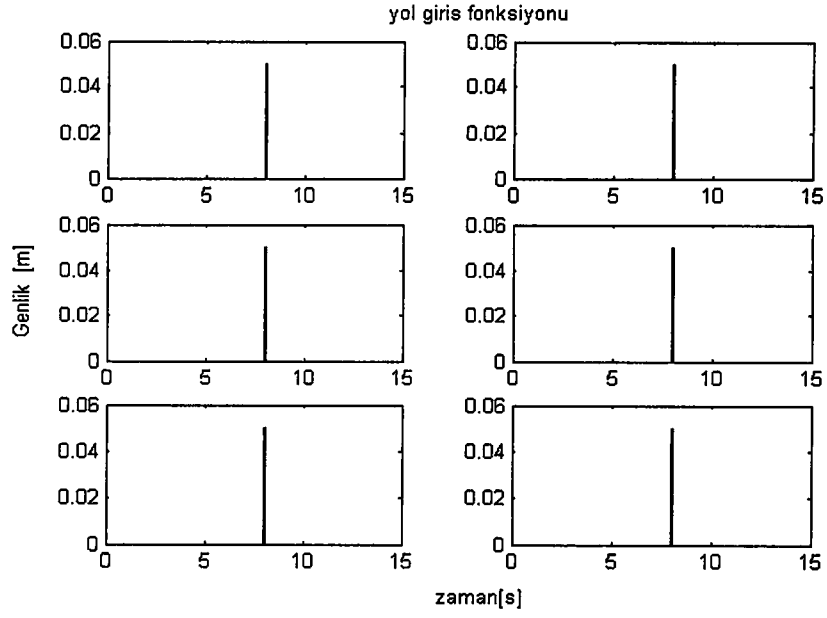


Şekil 2.92 Taşıt ağırlık merkezinin z ekseni etrafındaki açısal titreşim ivmeleri (Kafa vurma)

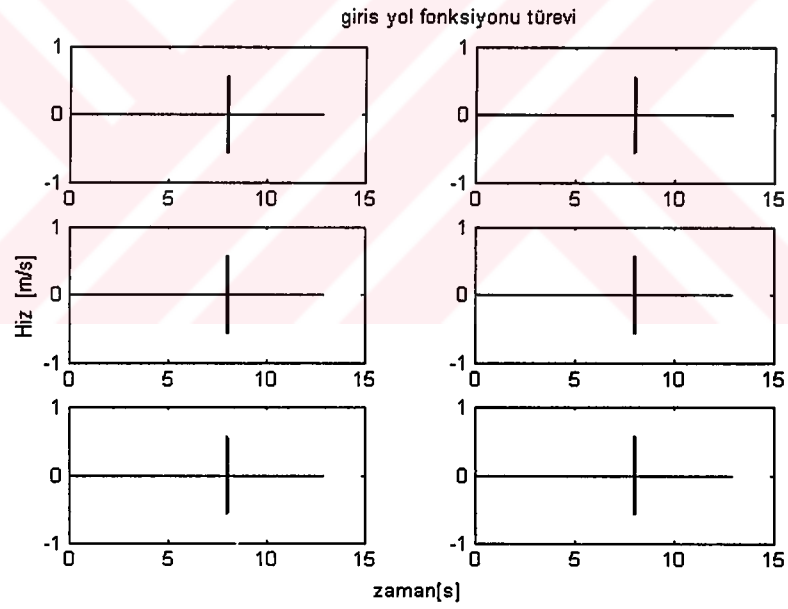


Şekil 2.93 Şöför mahallindeki düşey titreşimlerin ivme grafiği

Üç serbestlik dereceli sistem;

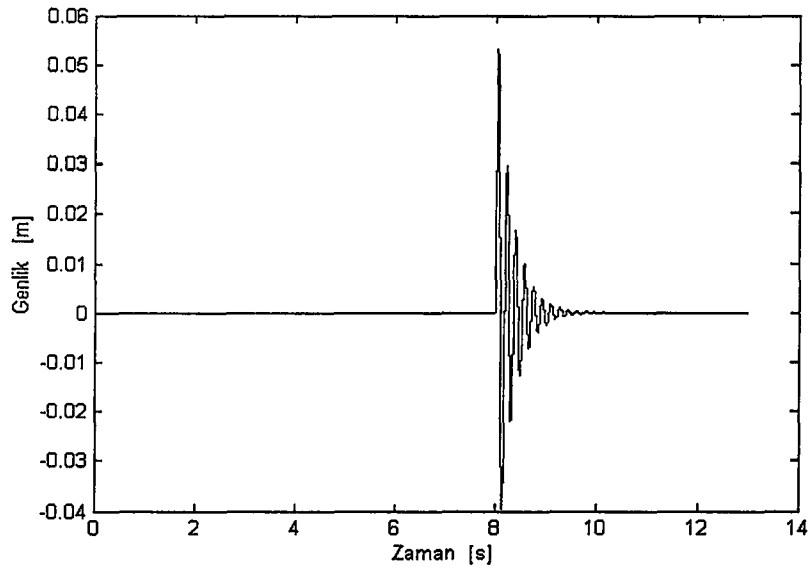


Şekil 2.94 Tam taşıt modeli için giriş fonksiyonları genlik grafiği

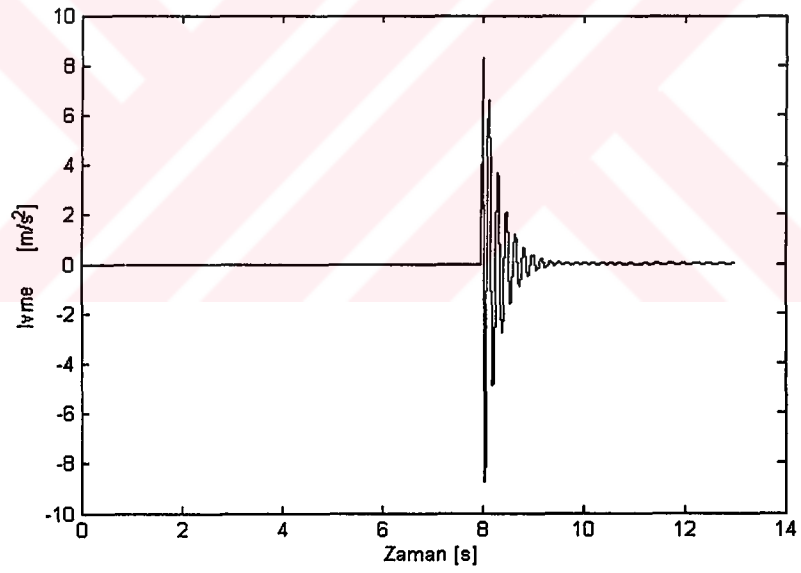


Şekil 2.95 Tam taşıt modeli için sisteme giriş fonksiyonları hız grafiği

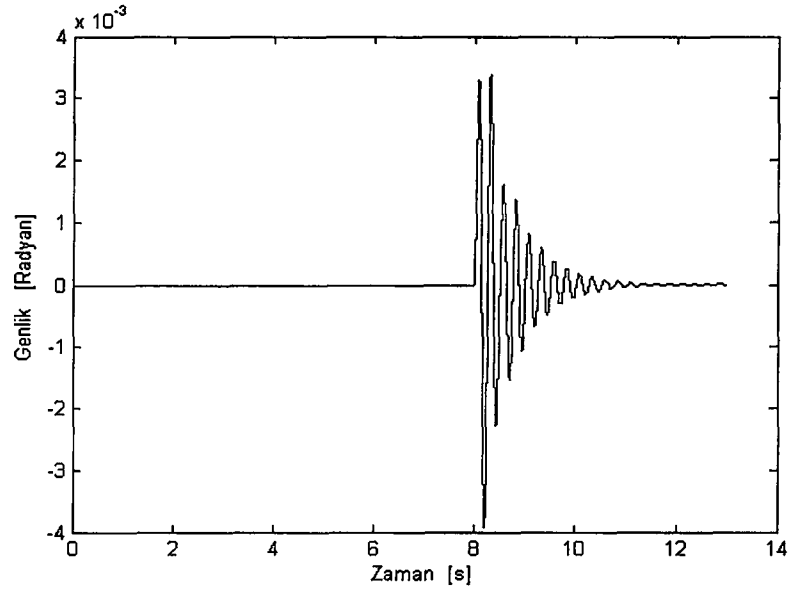
Üç serbestlik dereceli sistem için titreşim cevap eğrileri;



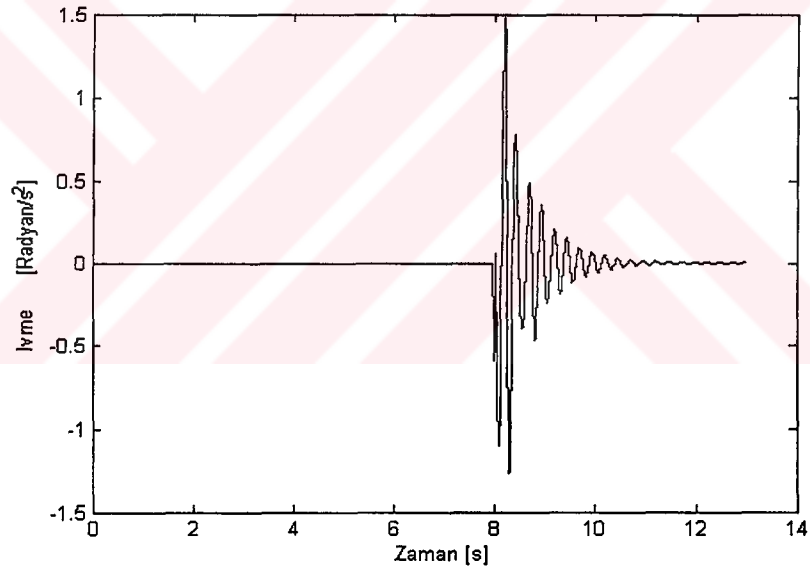
Şekil 2.96 Taşıt ağırlık merkezinin düşey deplasmanları



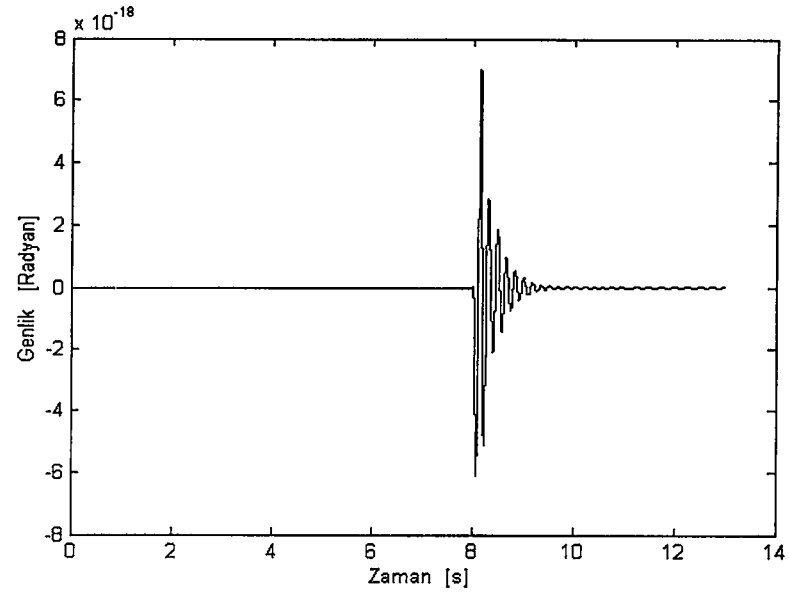
Şekil 2.97 Taşıt ağırlık merkezinin düşey titreşimlerin ivmeleri



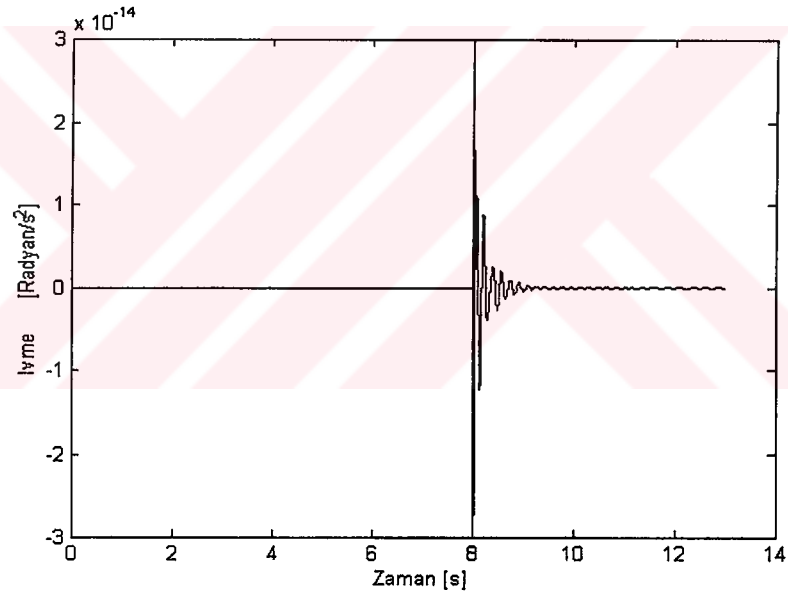
Şekil 2.98 Taşıt ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşimleri (Kafa vurma)



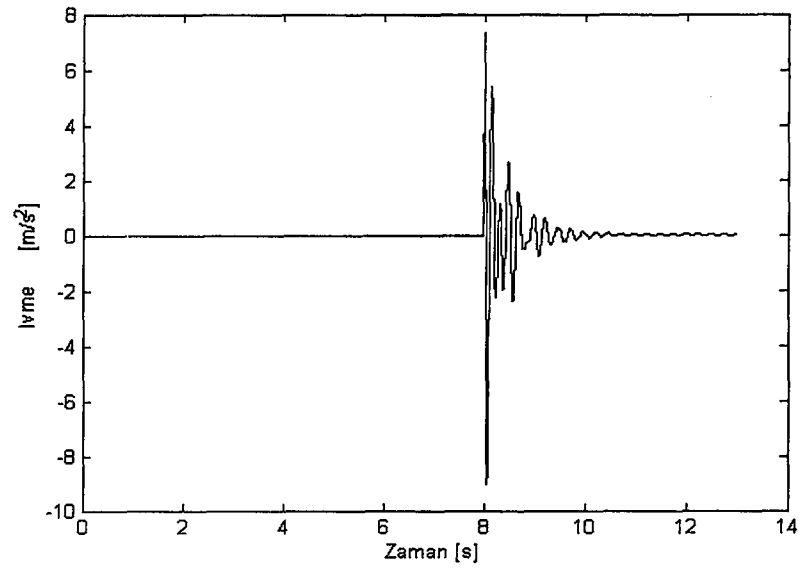
Şekil 2.99 Taşıt ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşim ivmeleri (Kafa vurma)



Şekil 2.100 Taşıt ağırlık merkezinin x eksenini etrafındaki açısal titreşimleri (Yalpa)



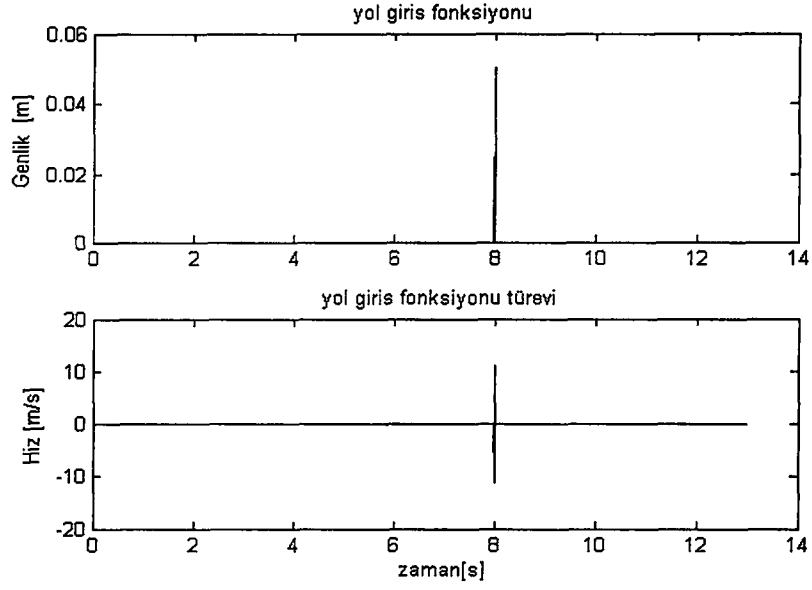
Şekil 2.101 Taşıt ağırlık merkezinin x eksenini etrafındaki açısal titreşim ivmeleri (Yalpa)



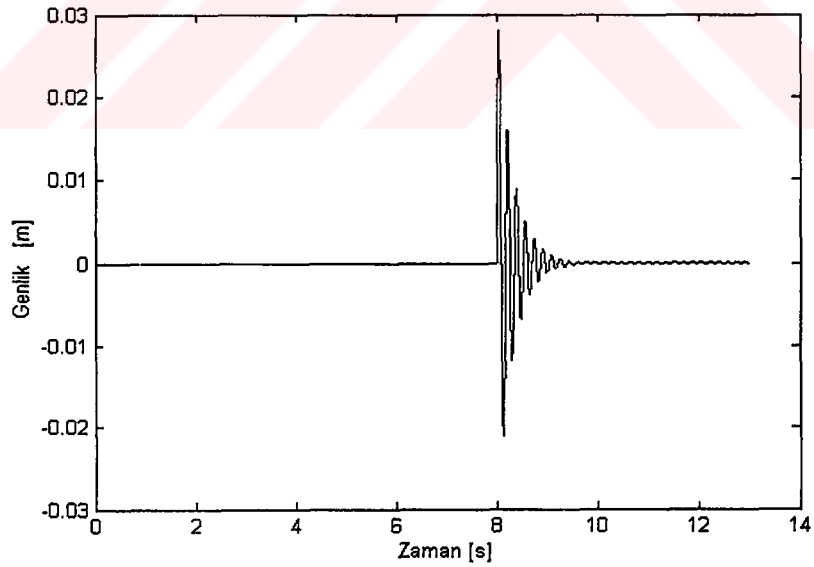
Şekil 2.102 Şöför mahallindeki düşey titreşimlerin ivme grafiği

20 km/h sabit hız için tek engelli yolda, taşıt titreşim cevapları

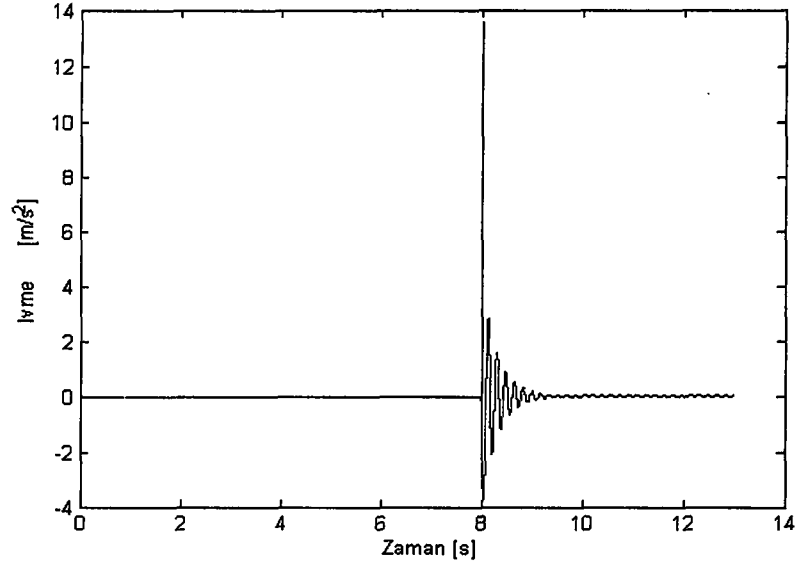
Tek serbestlik dereceli,



Şekil 2.103 Sisteme giriş yol fonksiyonu genlik ve hız grafiği

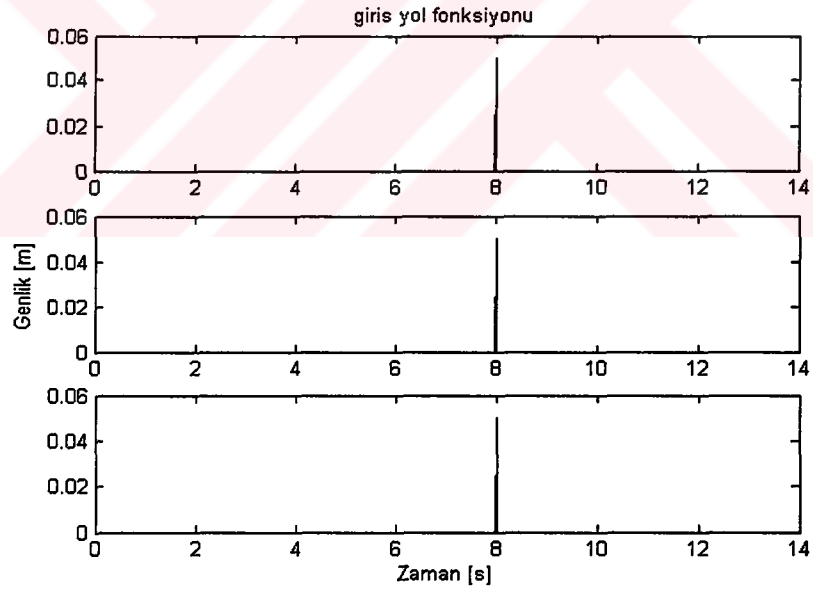


Şekil 2.104 Taşıt ağırlık merkezinin düşey deplasmanları

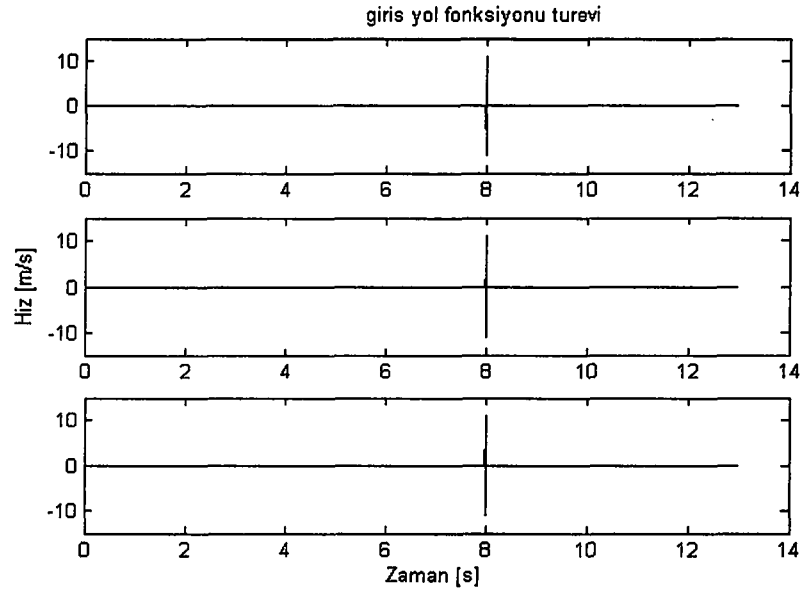


Şekil 2.105 Taşıt ağırlık merkezinin düşey titreşimlerin ivmeleri

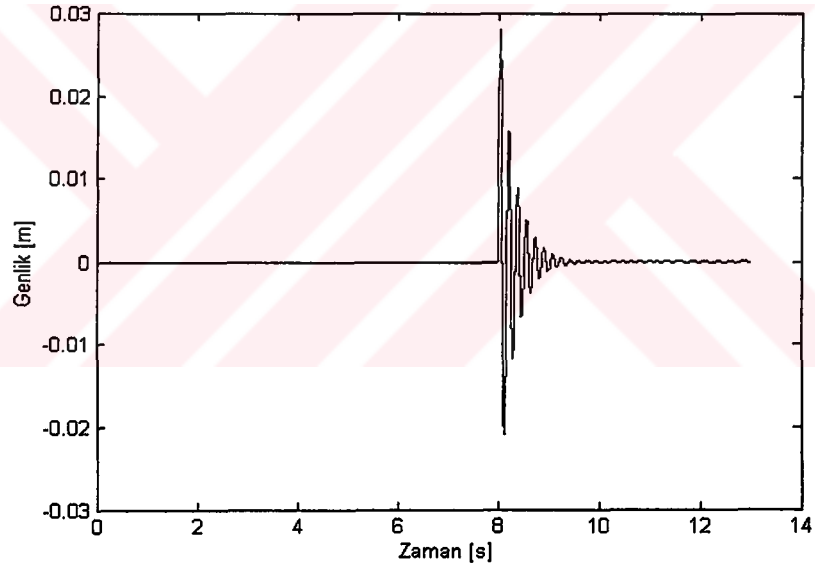
İki serbestlik dereceli;



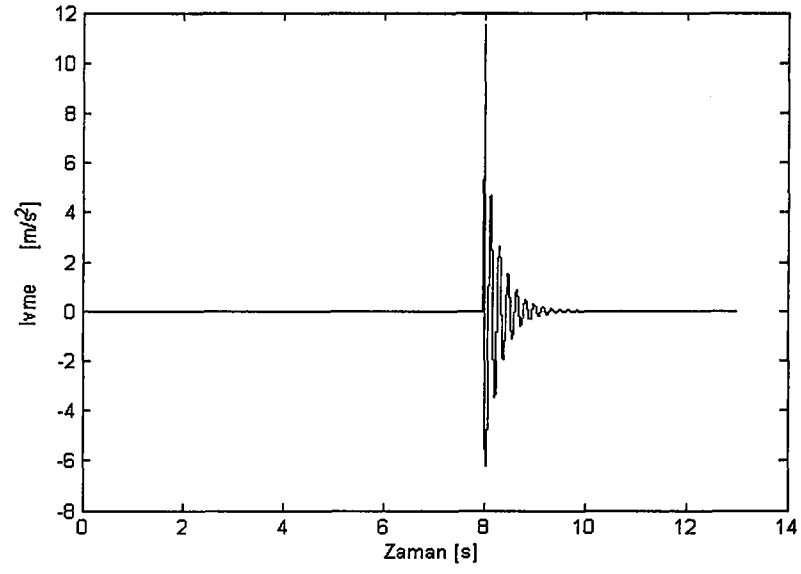
Şekil 2.106 Yarım taşıt modeli için giriş fonksiyonları genlik grafiği



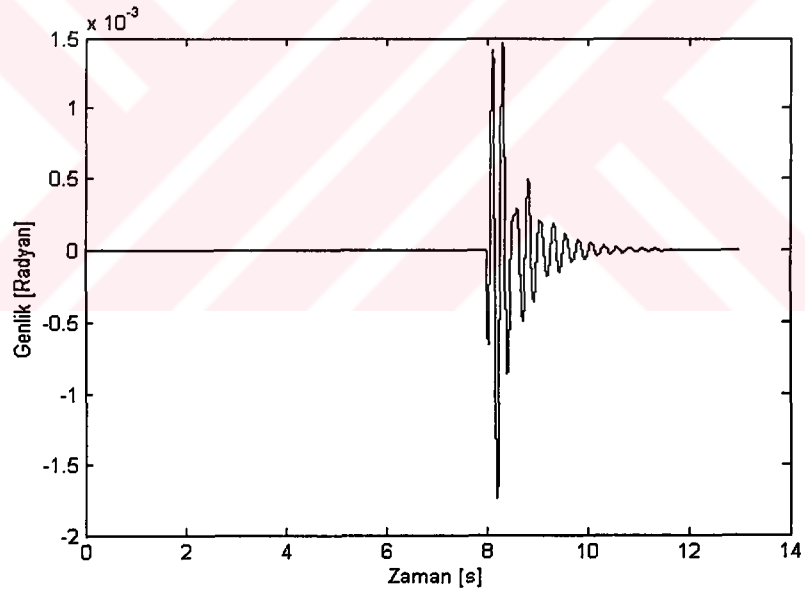
Şekil 2.107 Yarım taşıt modeli için giriş fonksiyonları hız grafiği



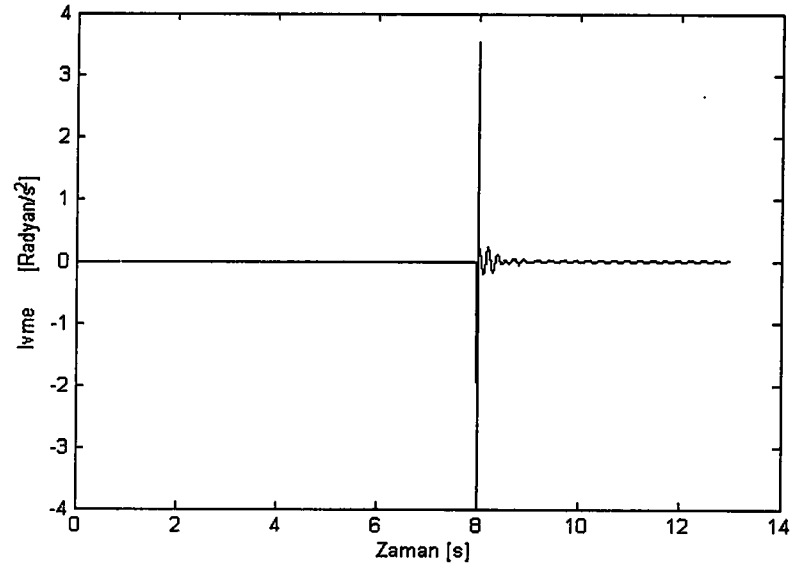
Şekil 2.108 Taşıt ağırlık merkezinin düşey deplasmanları



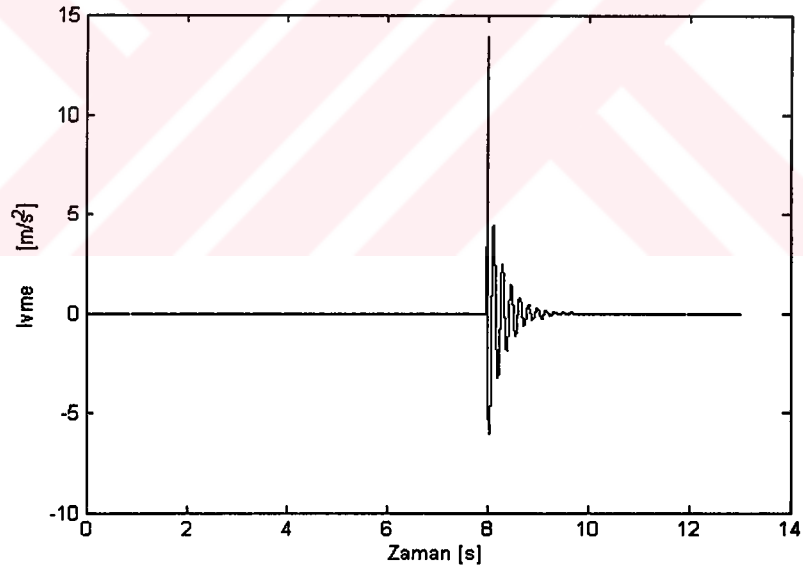
Şekil 2.109 Taşıt ağırlık merkezinin düşey titreşimlerin ivmeleri



Şekil 2.110 Taşıt ağırlık merkezinin z eksenı etrafındaki açısıl titreşimleri (Kafa vurma)

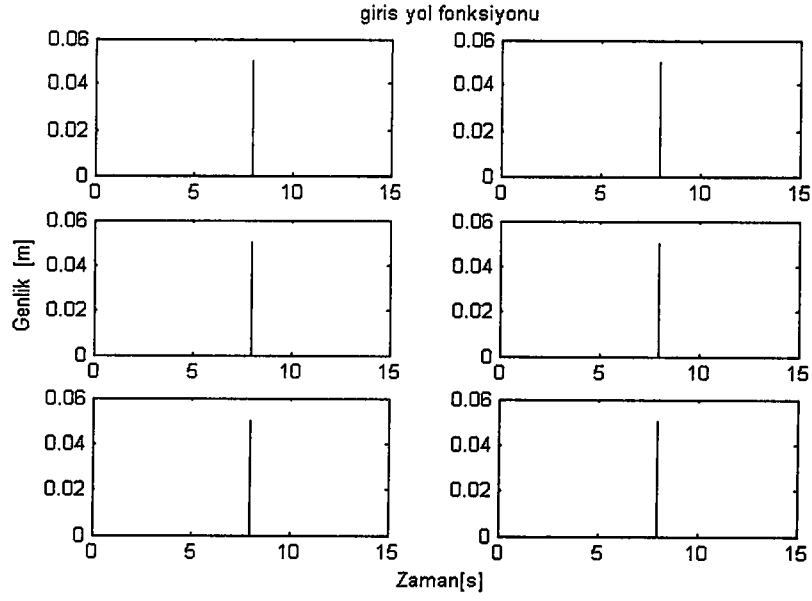


Şekil 2.111 Taşıt ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşim ivmeleri (Kafa vurma)

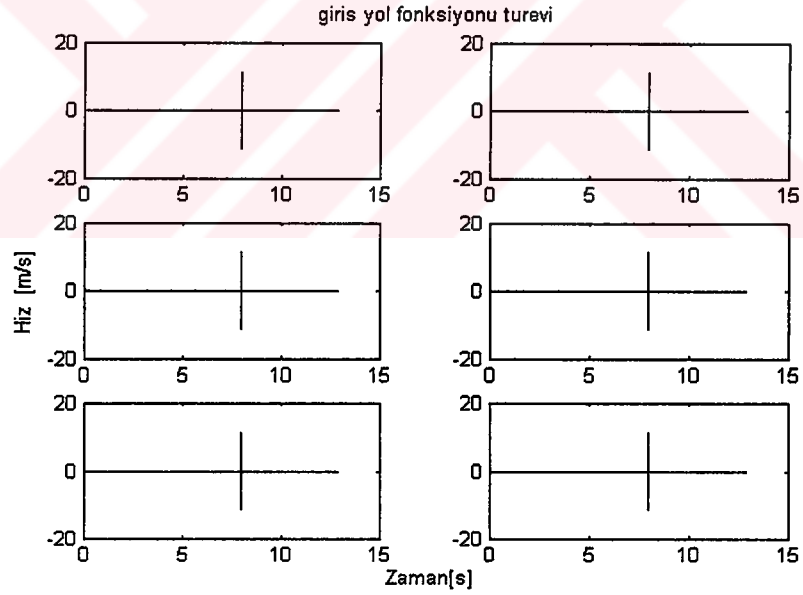


Şekil 2.112 Şöför mahallindeki düşey titreşimlerin ivme grafiği

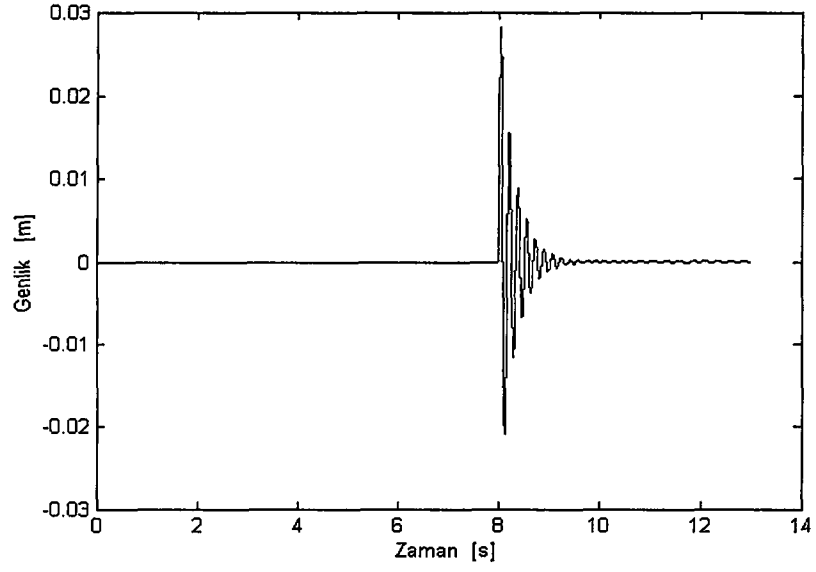
Üç serbestlik dereceli sistem;



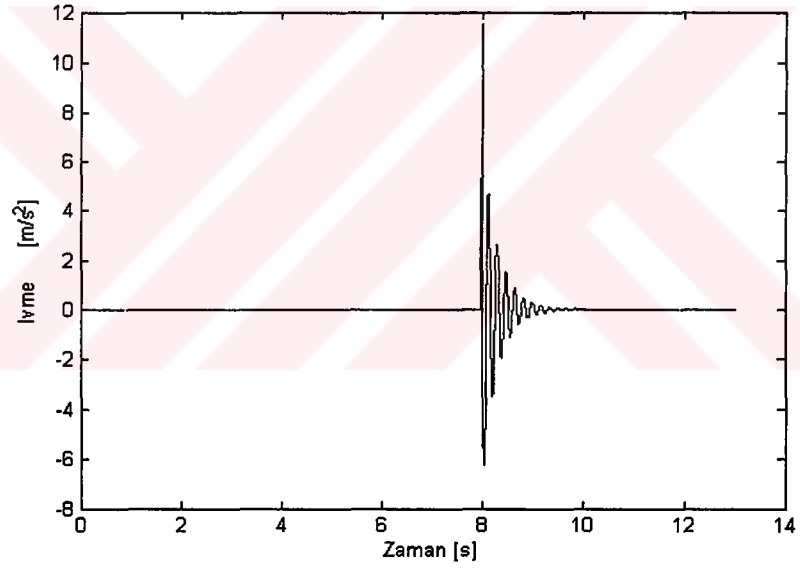
Şekil 2.113 Tam taşıt modeli için giriş fonksiyonları genlik grafiği



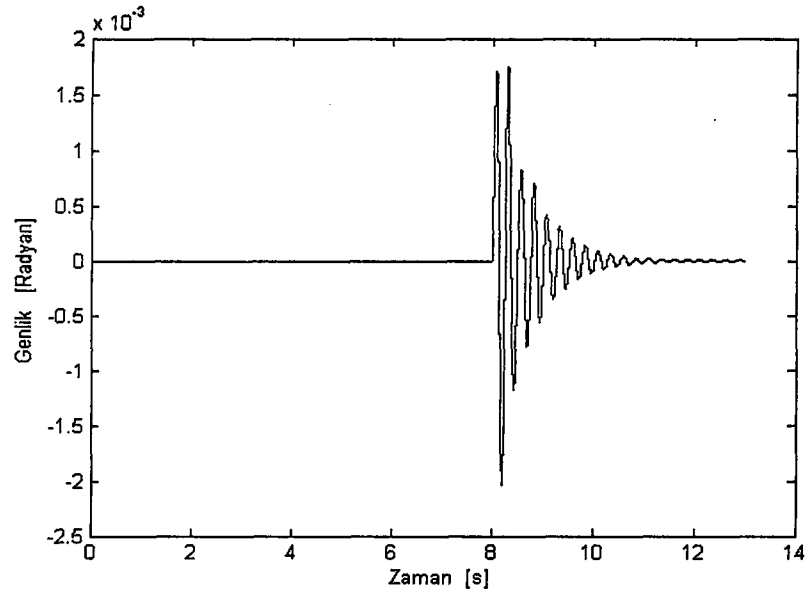
Şekil 2.114 Tam taşıt modeli için sisteme giriş fonksiyonları hız grafiği



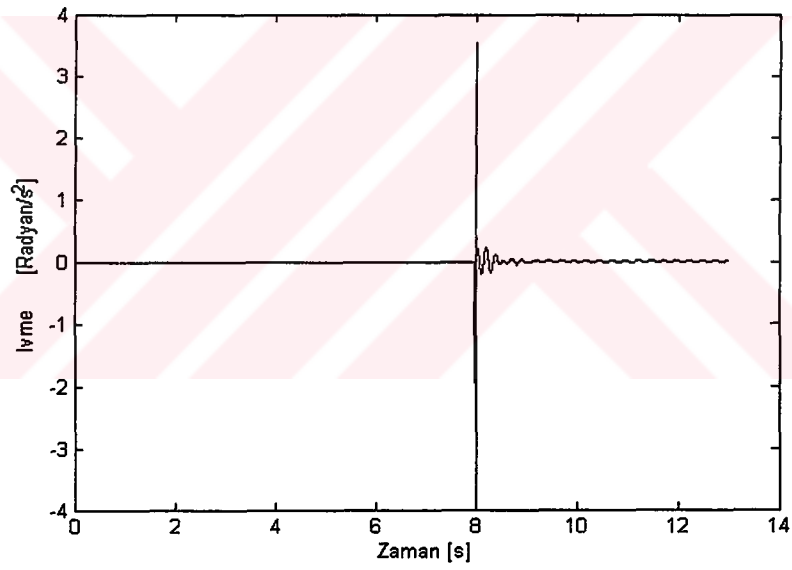
Şekil 2.115 Taşıt ağırlık merkezinin düşey deplasmanları



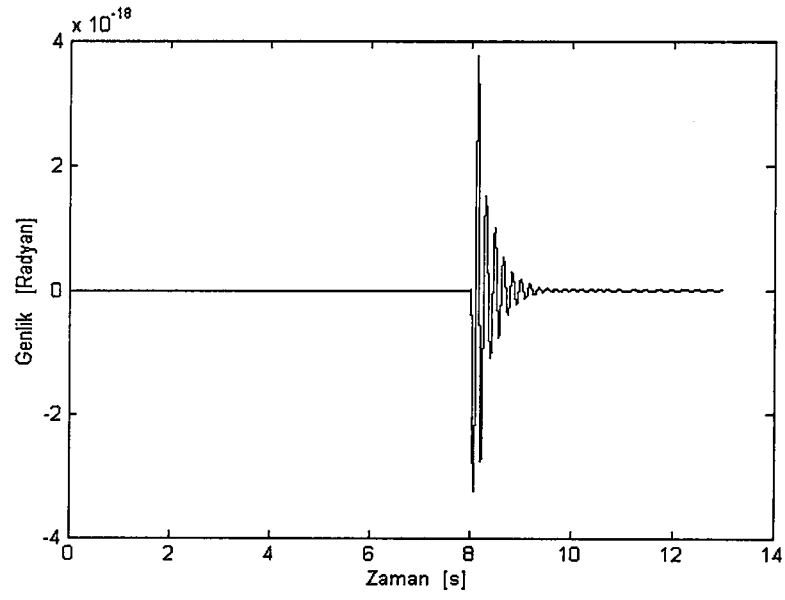
Şekil 2.116 Taşıt ağırlık merkezinin düşey titreşimlerin ivmeleri



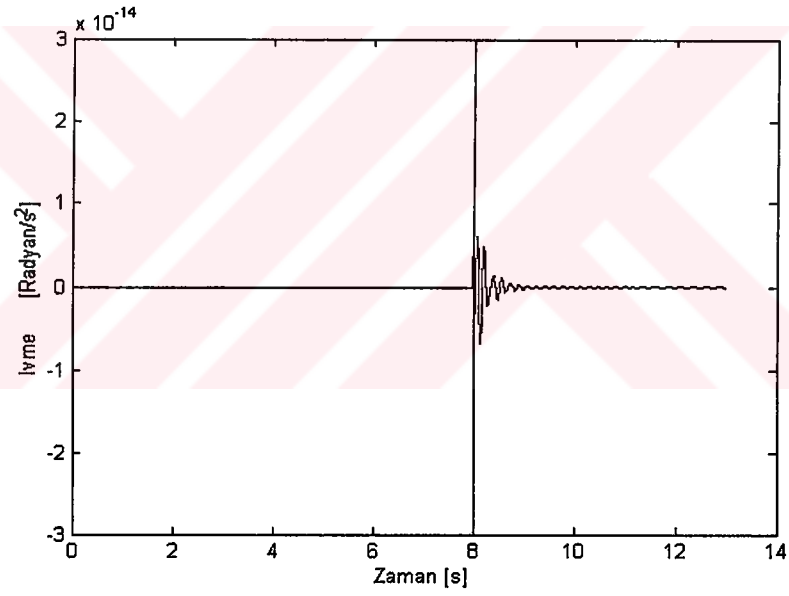
Şekil 2.117 Taşıt ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşimleri (Kafa vurma)



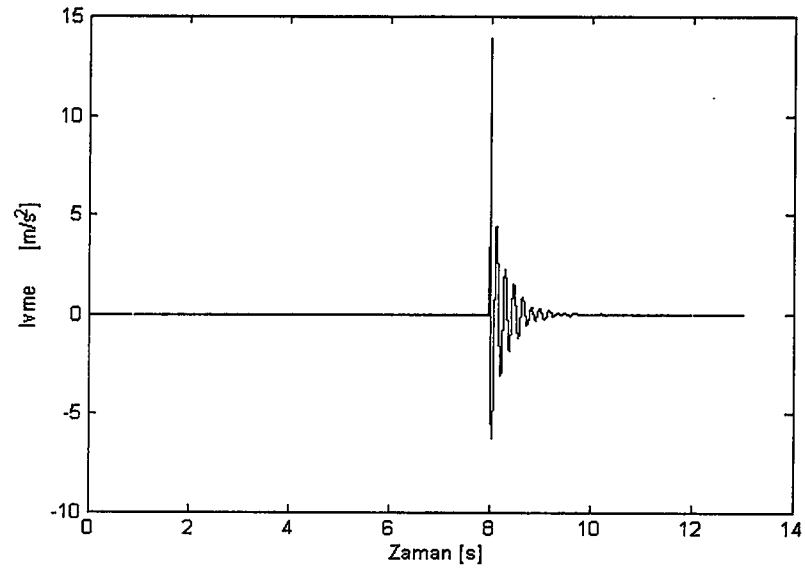
Şekil 2.118 Taşıt ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşim ivmeleri (Kafa vurma)



Şekil 2.119 Taşıt ağırlık merkezinin x eksenini etrafındaki açısal titreşimleri (Yalpa)



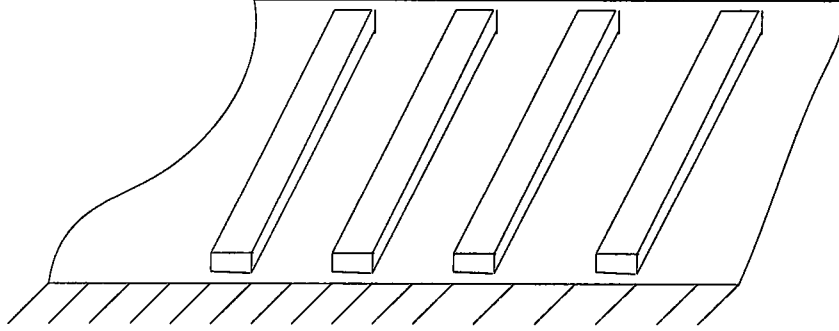
Şekil 2.120 Taşıt ağırlık merkezinin x eksenini etrafındaki açısal titreşim ivmeleri (Yalpa)



Şekil 2.121 Şöför mahallindeki düşey titreşimlerin ivme grafiği

2.9.6 Dört Engelli Yolda Taşıt Titreşim Cevaplarının Simülasyonu Bulunması

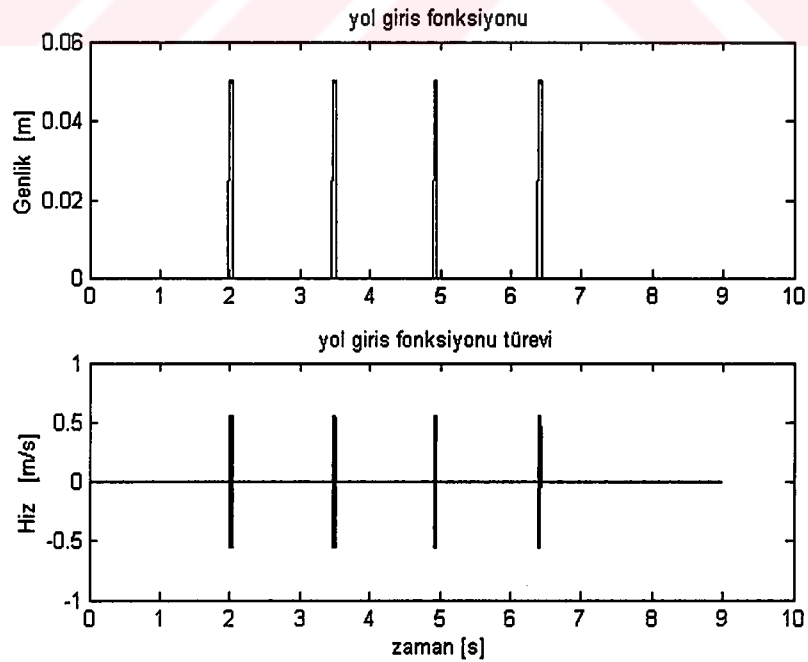
Bu amaçla yol üzerinde **dört adet** $h \times b = 50 \times 100$ ölçülerinde dikdörtgen profilli engeller oluşturularak, taşıta giriş olarak bilinen bir yol fonksiyonu hazırlandı. Böylece çok engelli yol şartlarına benzerlik sağlanmaya çalışıldı (Şekil 2.122). Dikdörtgen giriş fonksiyonu Fourier serileri MATLAB de 3000 adım kullanılarak elde edildi. Elde edilen bu fonksiyon, durum uzayında denklemlerde giriş fonksiyonu olarak kullanıldı. Taşıt titreşim cevapları 10, 20 ve 30 km/h sabit hızlar için grafik olarak aşağıdaki gibi elde edildi.



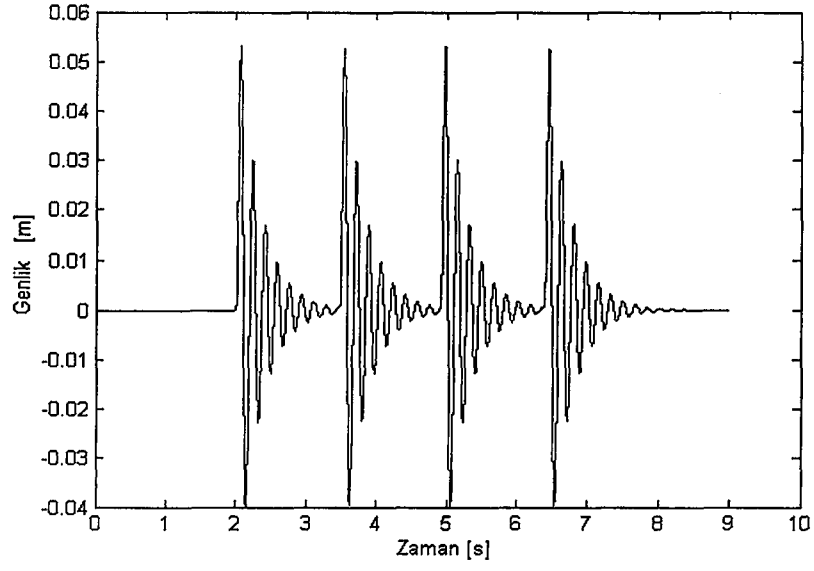
Şekil 2.122 Dört engelli yol profili

10 km/h sabit hız için;

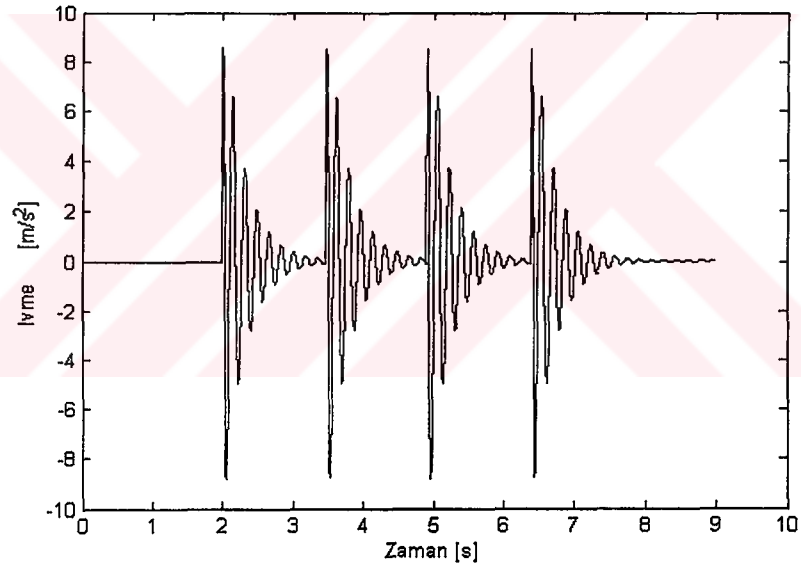
Bir Serbestlik dereceli sisteme giriş fonksiyonu aşağıdaki gibidir.



Şekil 2.123 Bir serbestlik dereceli sistem için giriş fonksiyonu

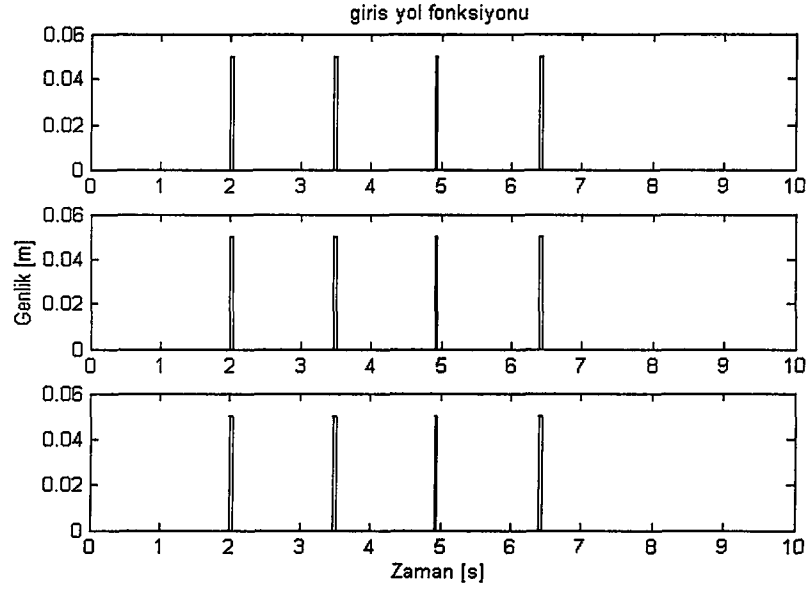


Şekil 2.124 Taşıt ağırlık merkezinin düşey deplasmanları

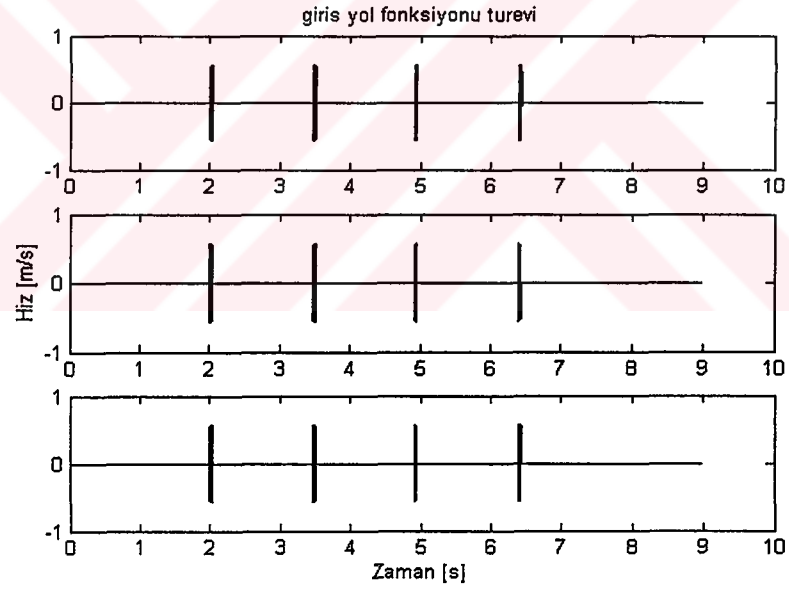


Şekil 2.125 Taşıt ağırlık merkezinin düşey titreşimlerin ivmeleri

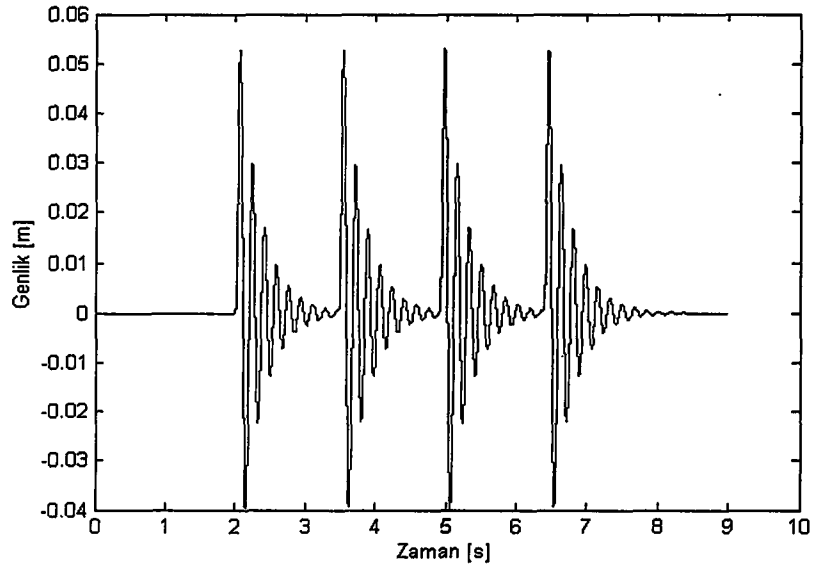
İki serbestlik dereceli sistem



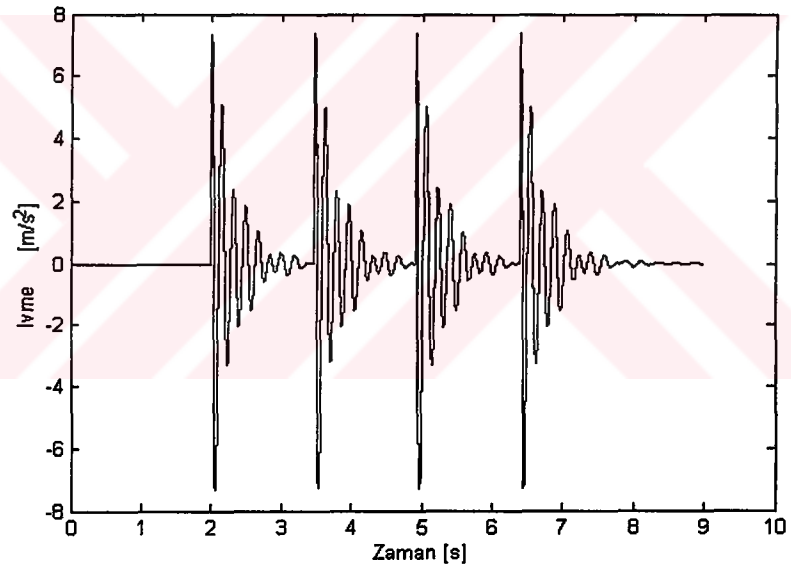
Şekil 2.126 Yarım taşıt modeli için giriş fonksiyonu



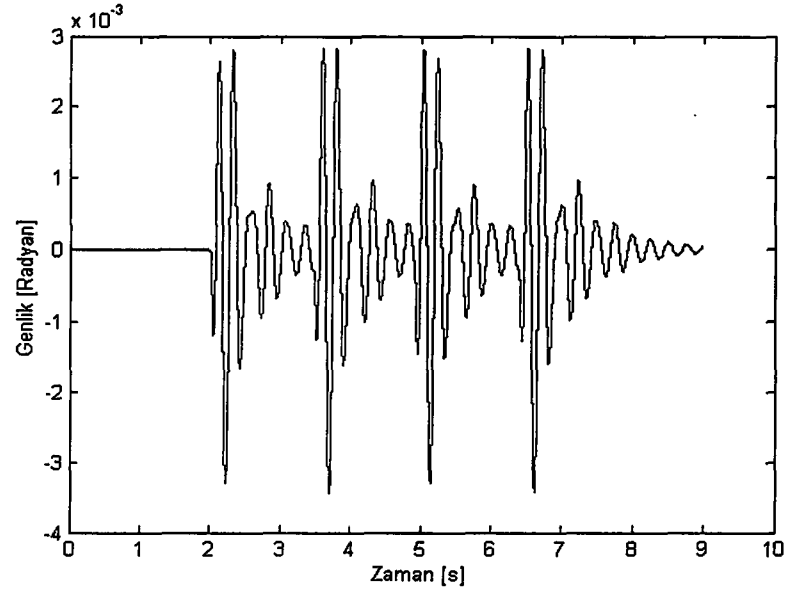
Şekil 2.127 Yarım taşıt modeli için hız fonksiyonu



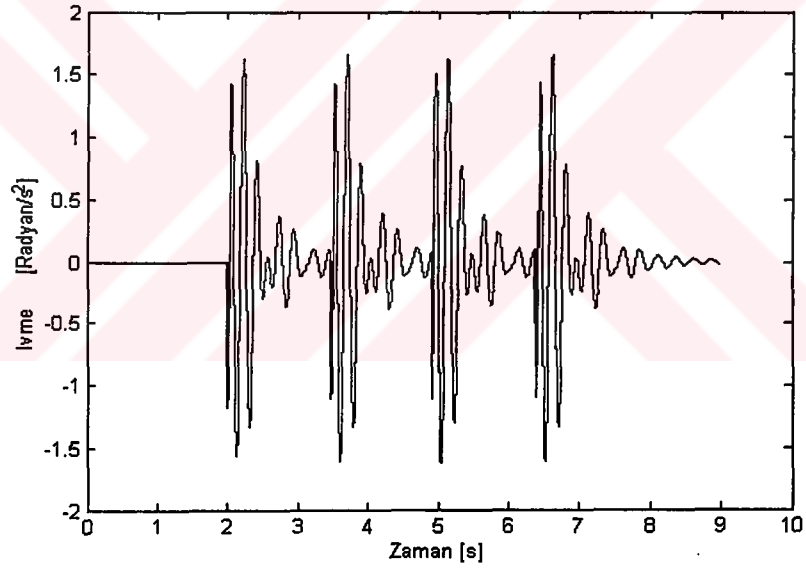
Şekil 2.128 Taşıt ağırlık merkezinin düşey deplasmanları



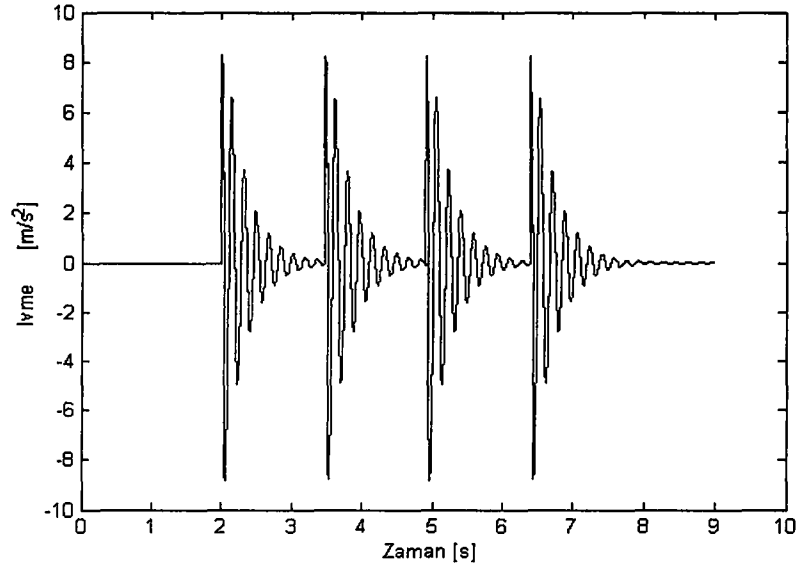
Şekil 2.129 Taşıt ağırlık merkezinin düşey titreşimlerin ivmeleri



Şekil 2.130 Taşıt ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşimleri (Kafa vurma)

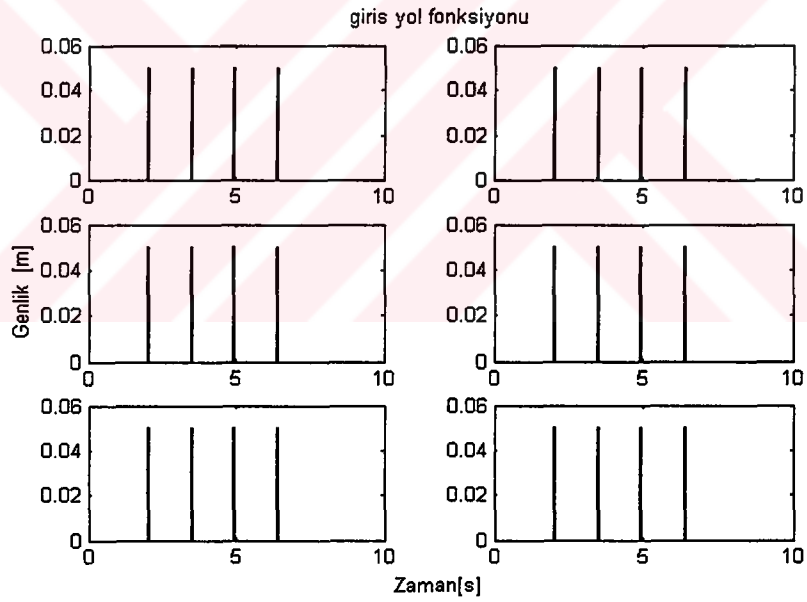


Şekil 2.131 Taşıt ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşim ivmeleri (Kafa vurma)

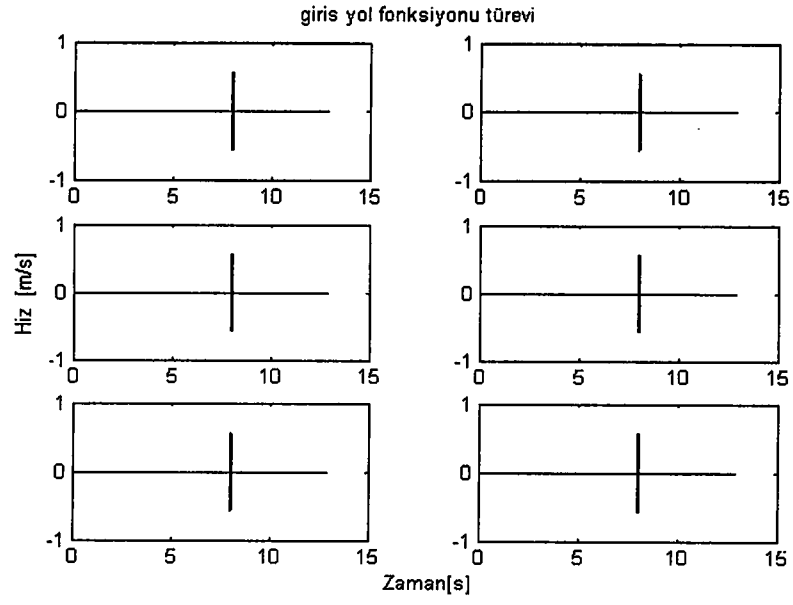


Şekil 2.132 Şöför mahallindeki düşey titreşimlerin ivmeleri

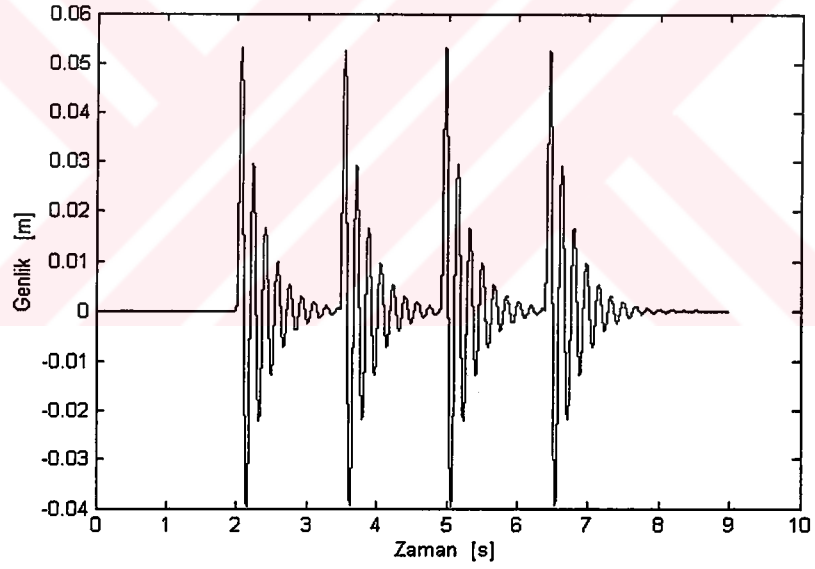
Üç serbestlik dereceli sistem için:



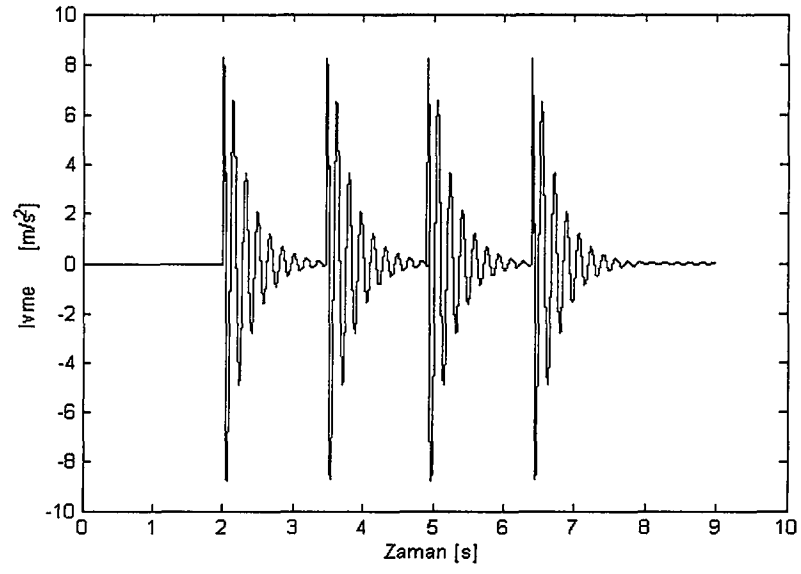
Şekil 2.133 Tam taşıt modeli için giriş fonksiyonu



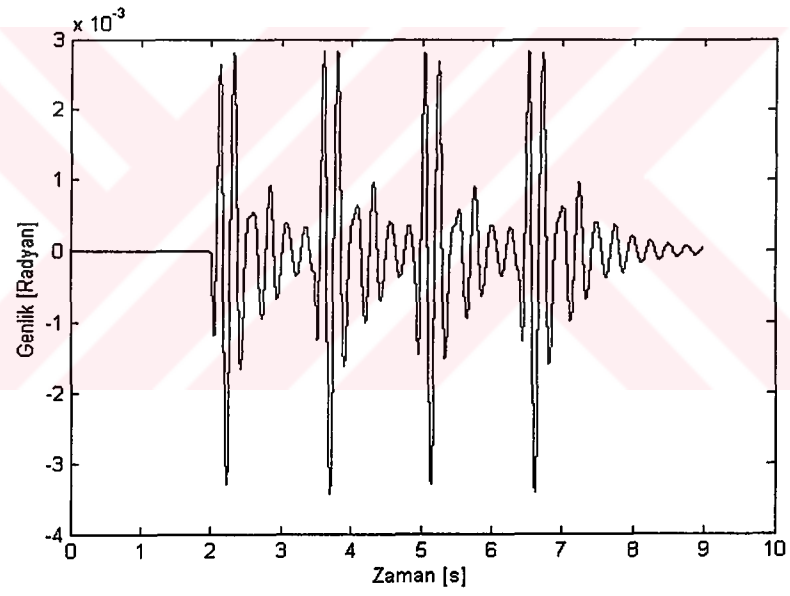
Şekil 2.134 Tam taşıt modeli için hız fonksiyonu



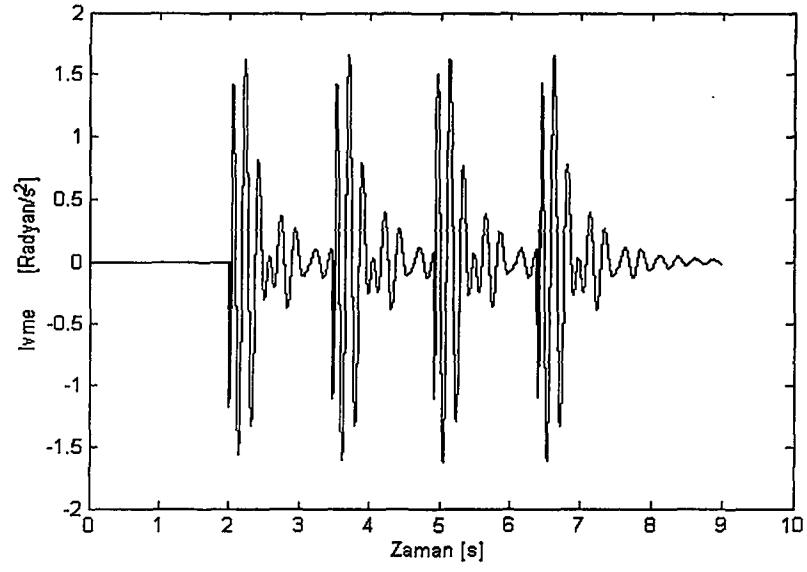
Şekil 2.135 Taşıt ağırlık merkezinin düşey deplasmanları



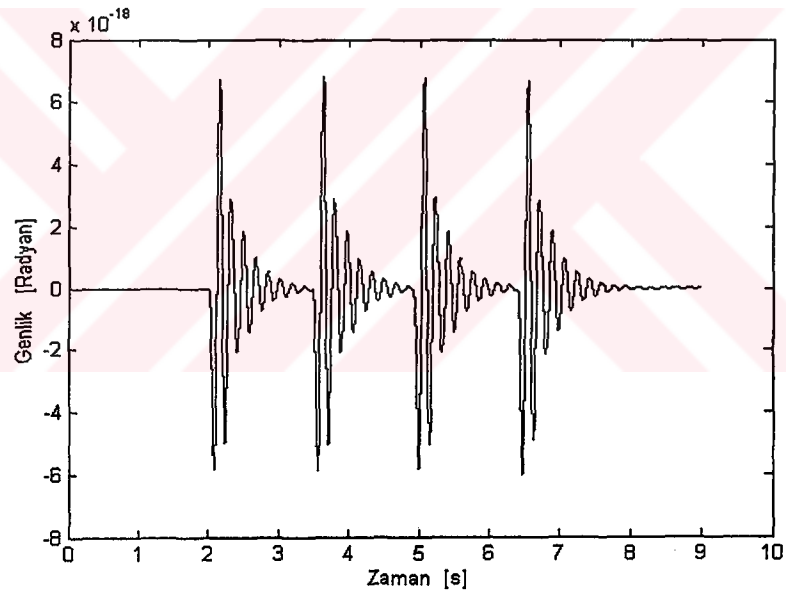
Şekil 2.136 Taşıt ağırlık merkezinin düşey titreşimlerin ivmeleri



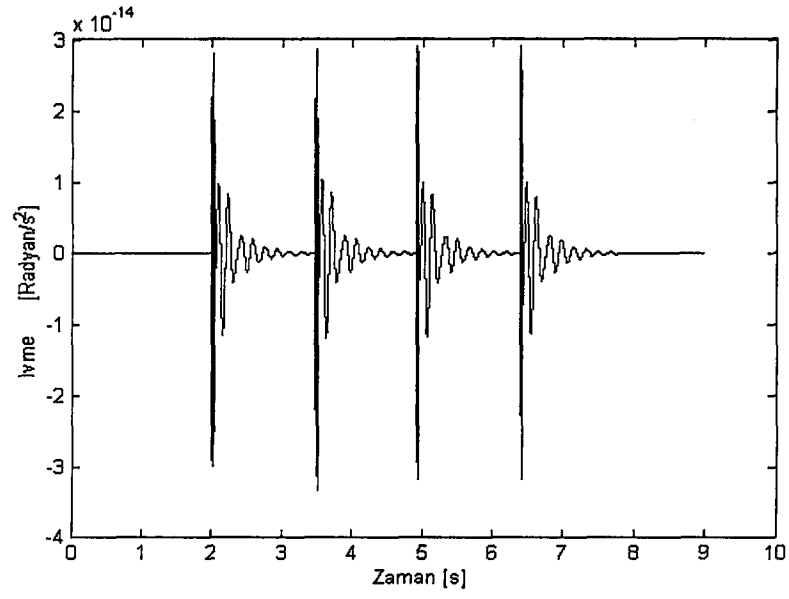
Şekil 2.137 Taşıt ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşimleri (Kafa vurma)



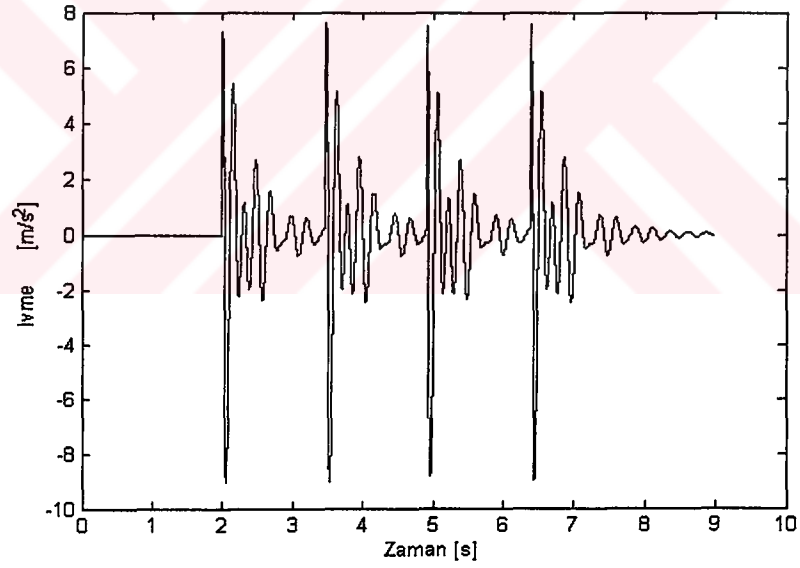
Şekil 2.138 Taşıt ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşim ivmeleri (Kafa vurma)



Şekil 2.139 Taşıt ağırlık merkezinin x eksenini etrafındaki açısal titreşimleri (Yalpa)

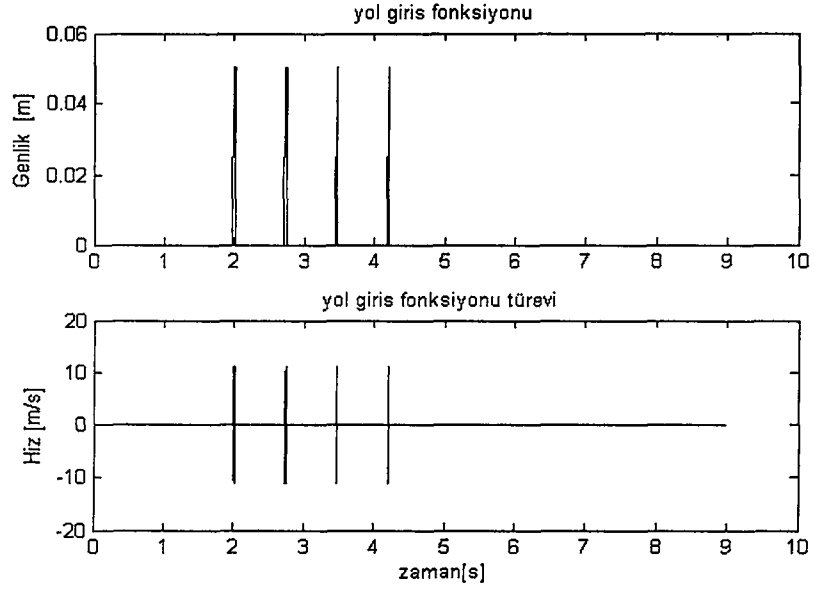


Şekil 2.140 Taşıt ağırlık merkezinin x eksenine etrafındaki açısal titreşim ivmeleri (Yalpa)



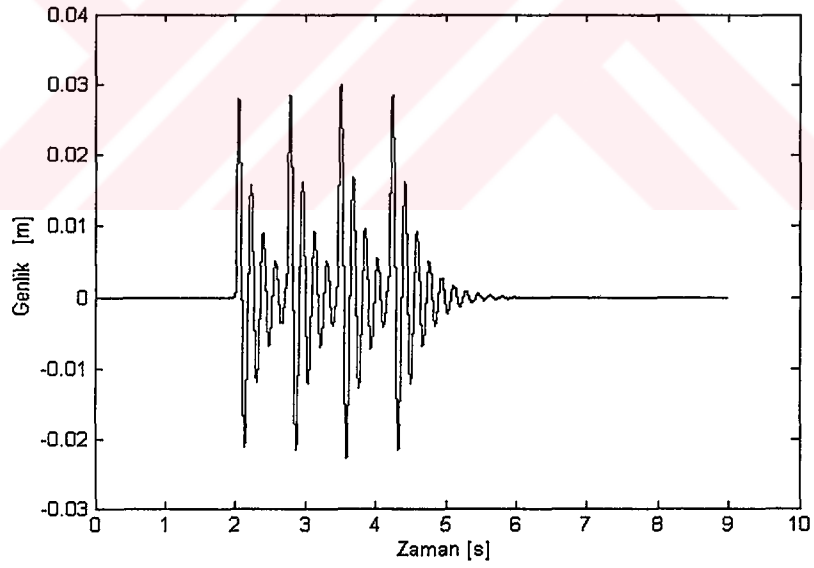
Şekil 2.141 Şöför mahallindeki düşey titreşimlerin ivmeleri

20 km/h sabit hız için

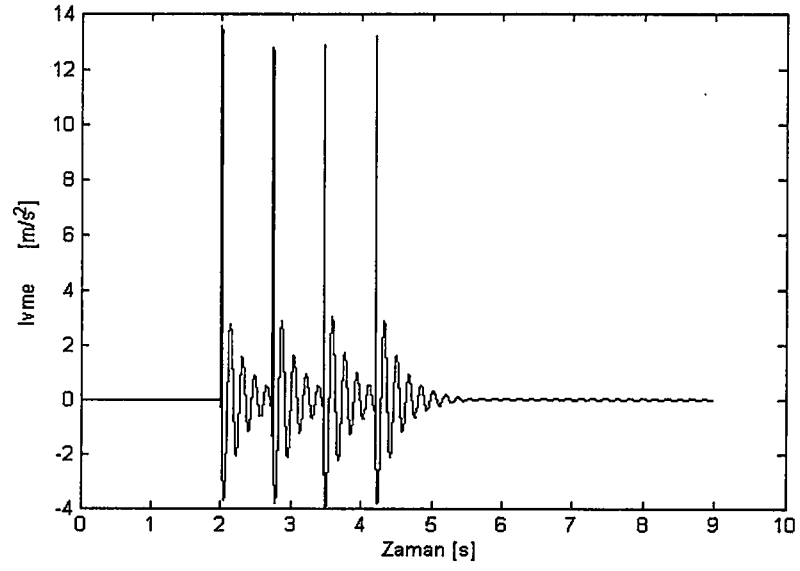


Şekil 2.142 Bir serbestlik dereceli sistem için giriş fonksiyonu

Tek serbestlik dereceli;

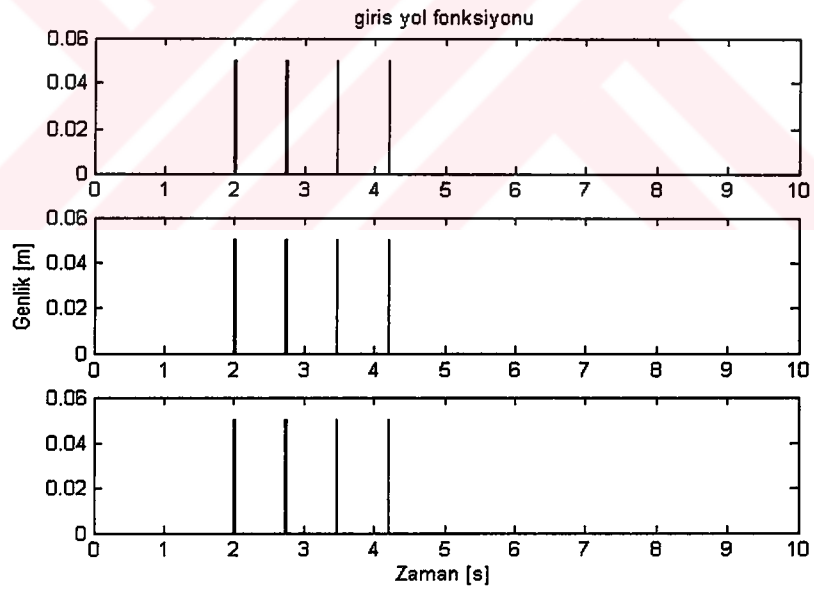


Şekil 2.143 Taşıt ağırlık merkezinin düşey deplasmanları

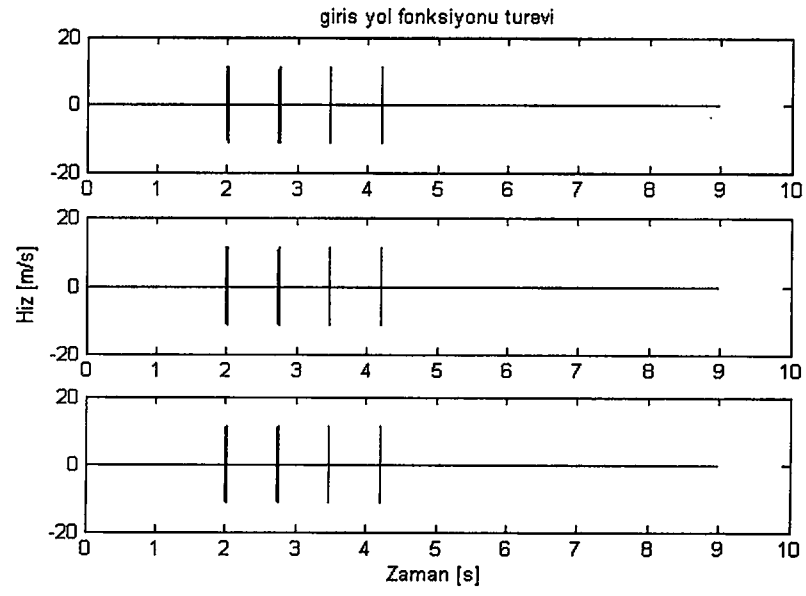


Şekil 2.144 Taşıt ağırlık merkezinin düşey titreşimlerin ivmeleri

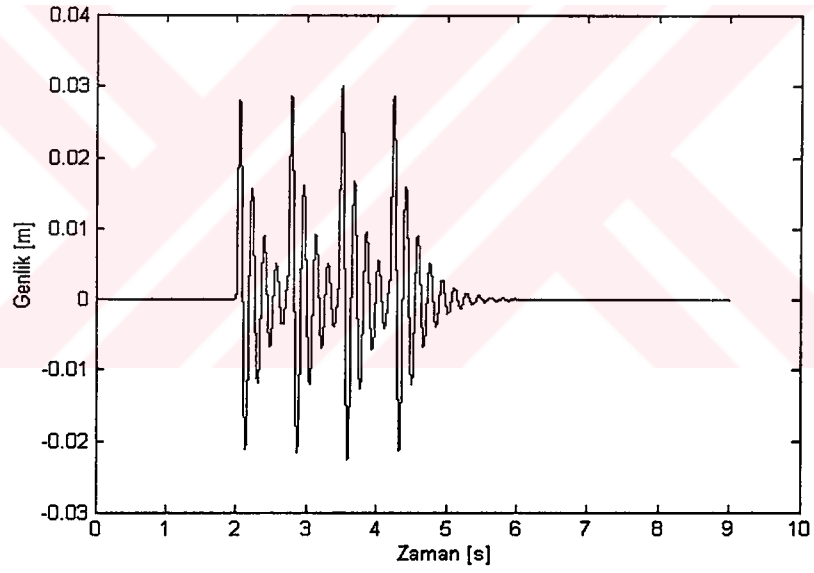
İki serbestlik dereceli



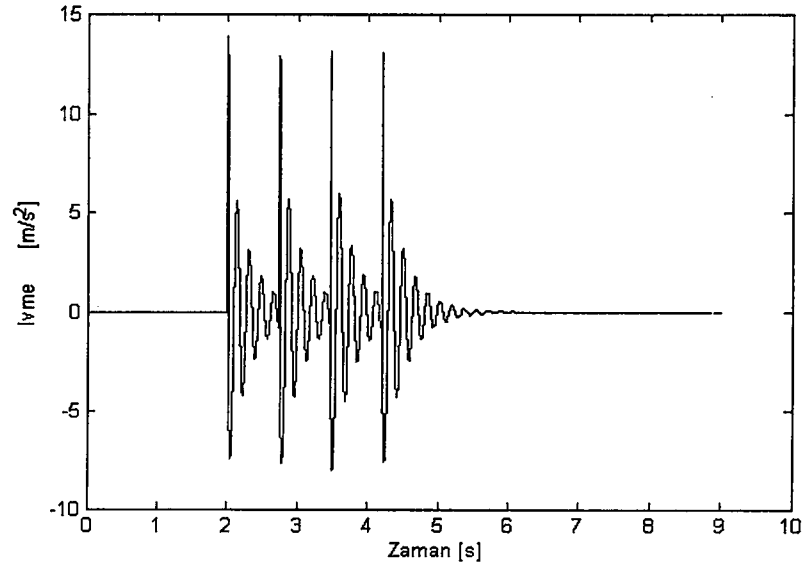
Şekil 2.145 Yarım taşıt modeli için giriş fonksiyonu



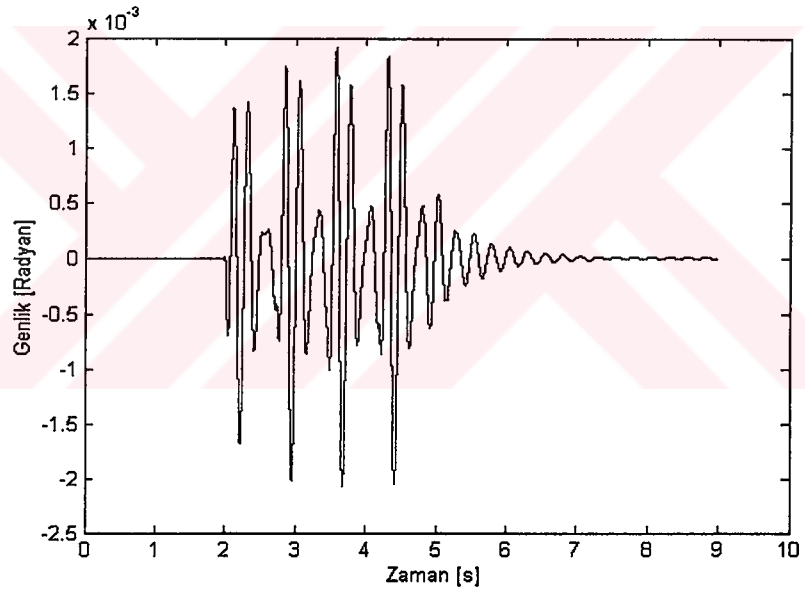
Şekil 2.146 Yarım taşıt modeli için hız fonksiyonu



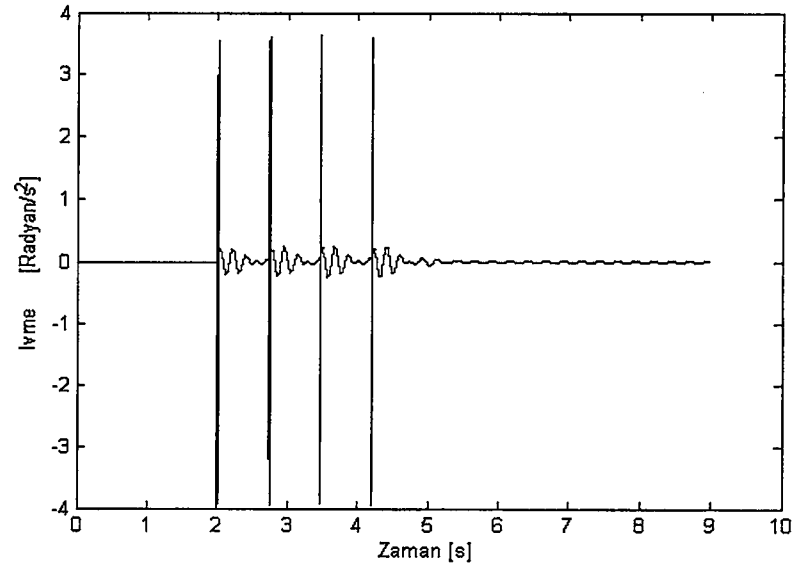
Şekil 2.147 Taşıt ağırlık merkezinin düşey deplasmanları



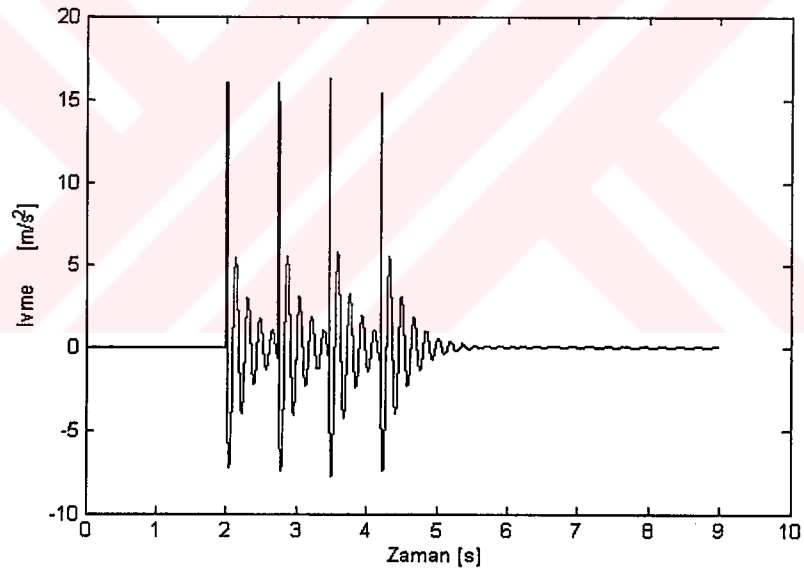
Şekil 2.148 Taşıt ağırlık merkezinin düşey titreşimlerin ivmeleri



Şekil 2.149 Taşıt ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşimleri (Kafa vurma)

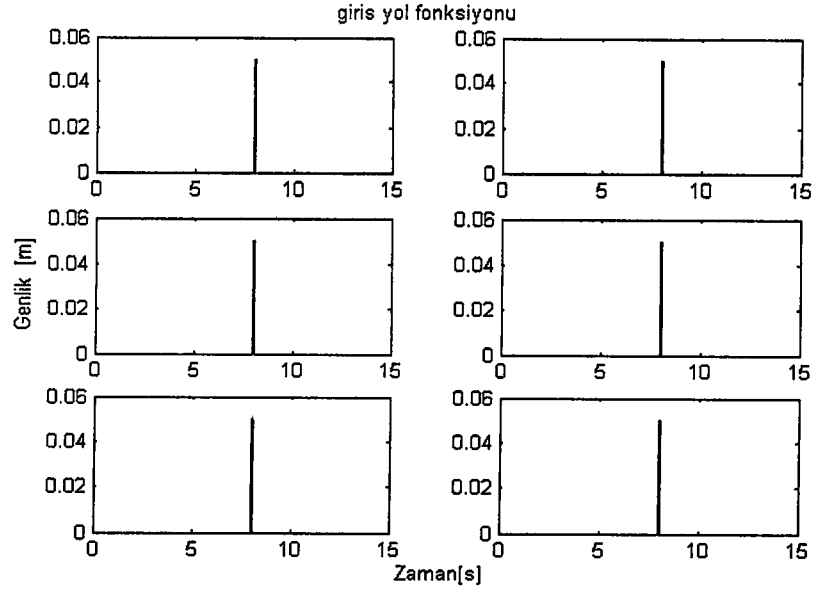


Şekil 2.150 Taşıt ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşim ivmeleri (Kafa vurma)

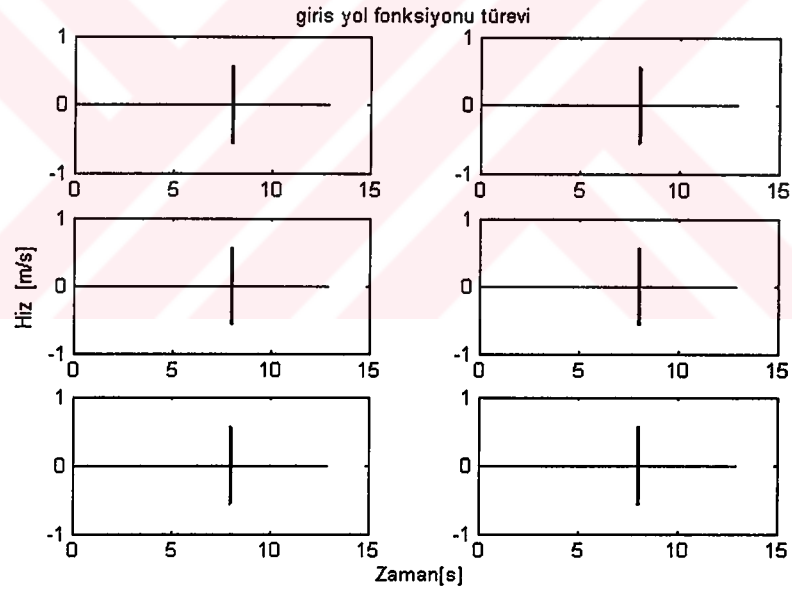


Şekil 2.151 Şöför mahalli düşey titreşimleri ivmeleri

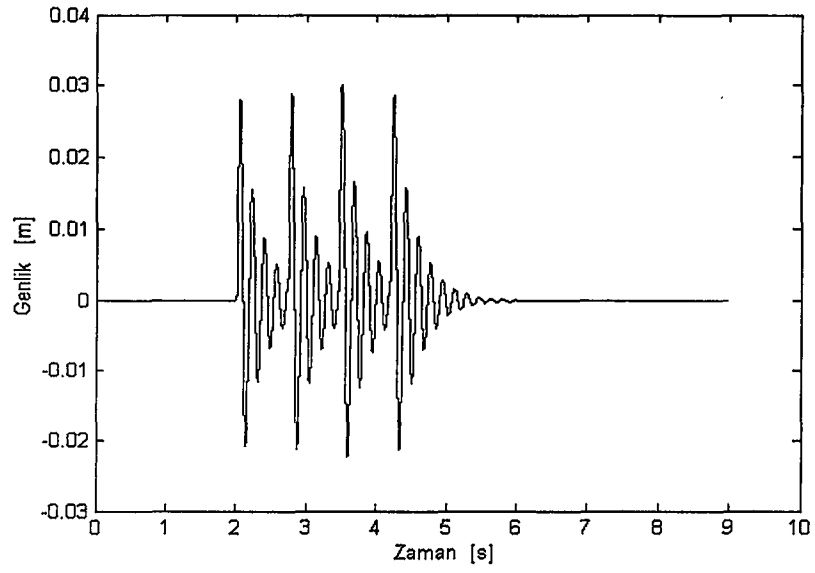
Üç serbestlik dereceli sistem



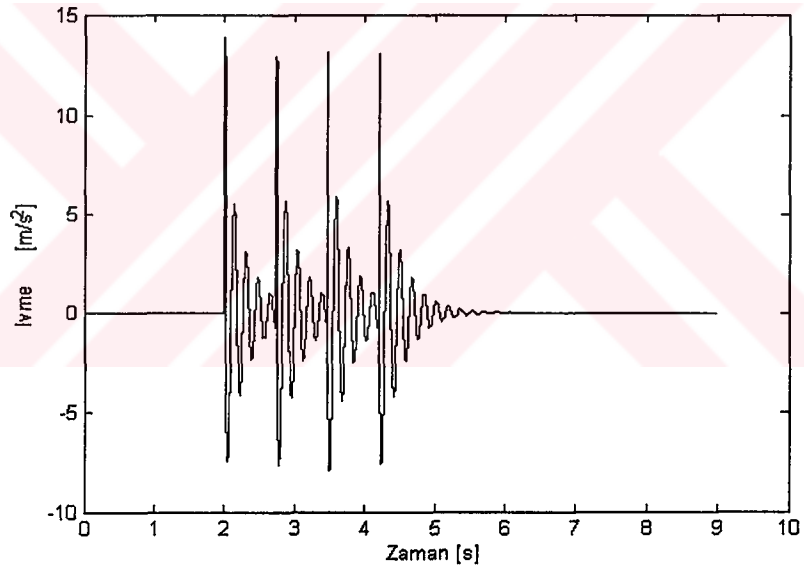
Şekil 2.152 Tam taşıt modeli için giriş fonksiyonu



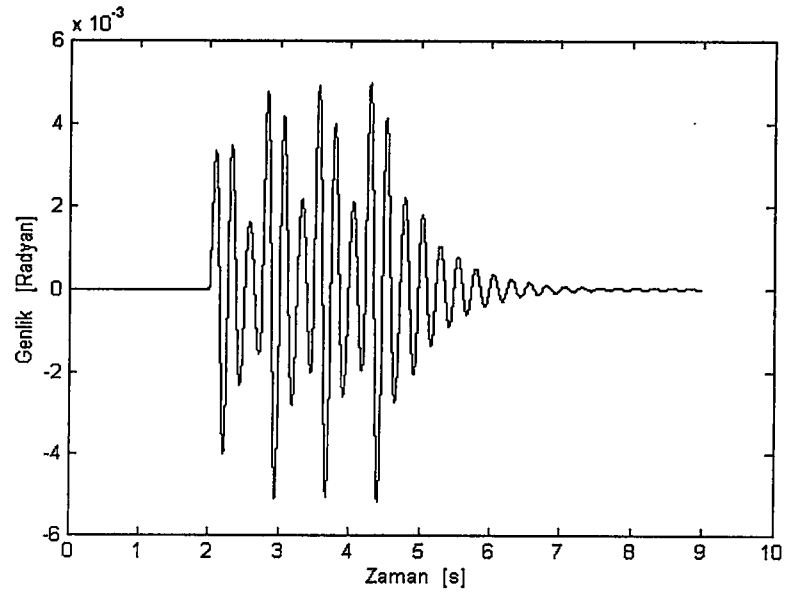
Şekil 2.153 Tam taşıt modeli için hız fonksiyonu



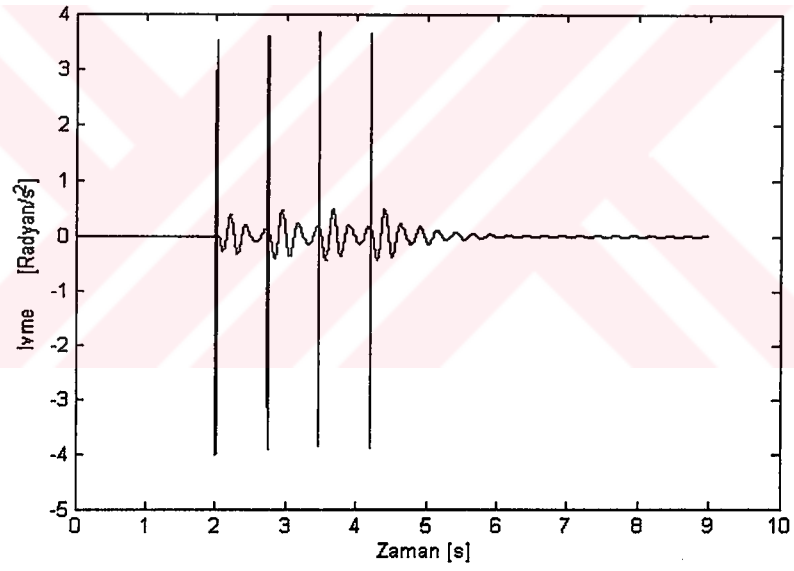
Şekil 2.154 Taşıt ağırlık merkezinin düşey deplasmanları



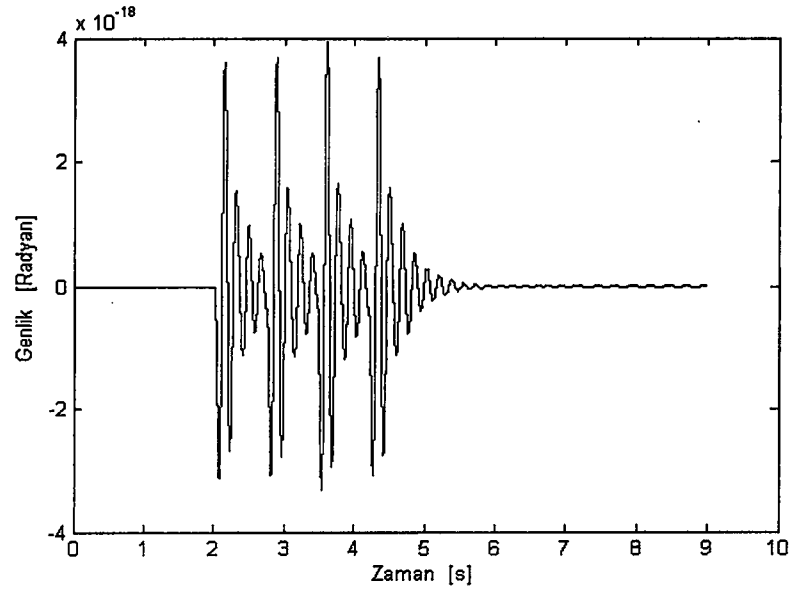
Şekil 2.155 Taşıt ağırlık merkezinin düşey titreşimlerin ivmeleri



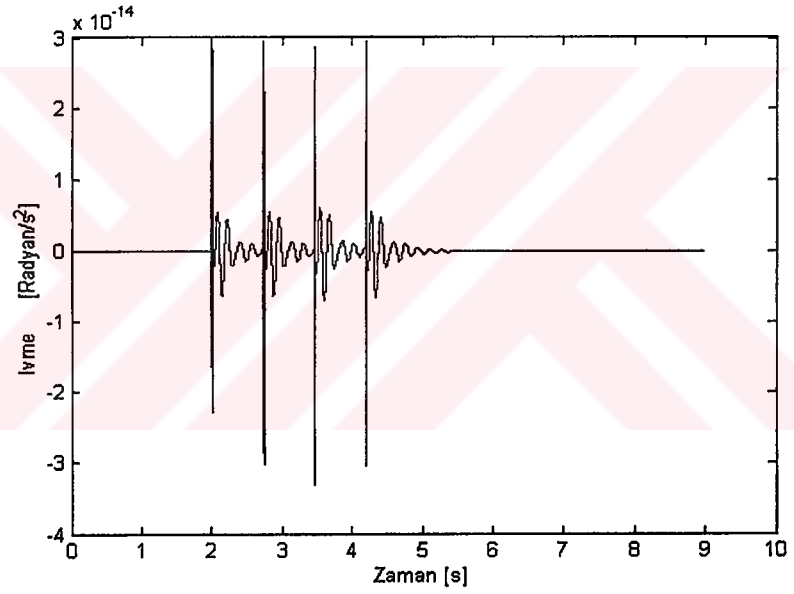
Şekil 2.156 Taşıt ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşimleri (Kafa vurma)



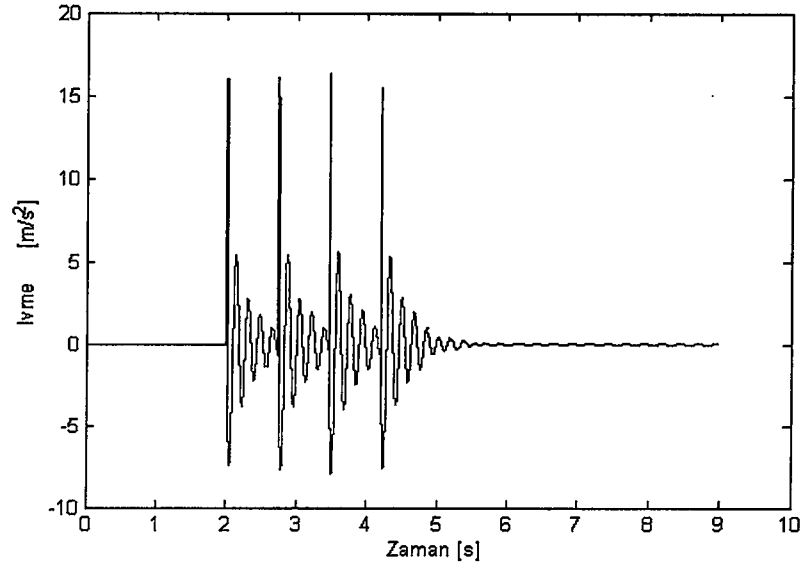
Şekil 2.157 Taşıt ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşim ivmeleri (Kafa vurma)



Şekil 2.158 Taşıt ağırlık merkezinin x eksenini etrafındaki açısal titreşimleri (Yalpa)



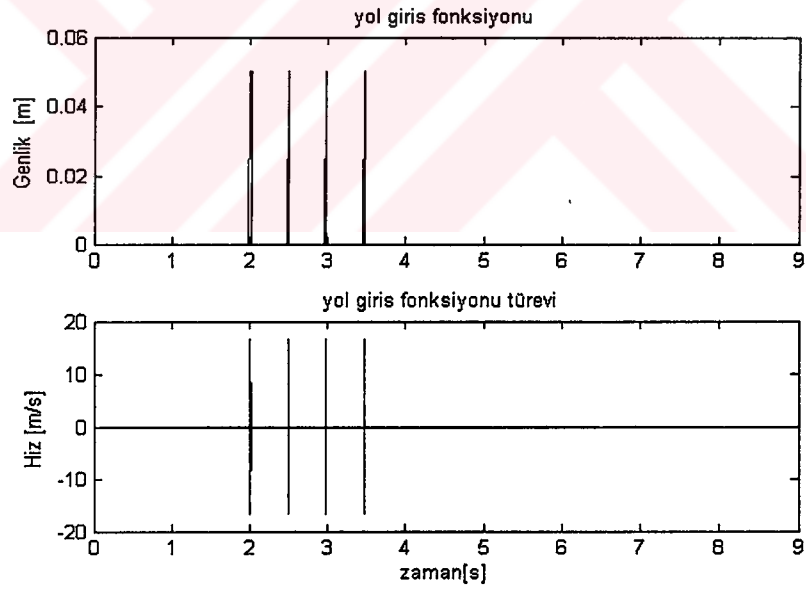
Şekil 2.159 Taşıt ağırlık merkezinin x eksenini etrafındaki açısal titreşim ivmeleri (Yalpa)



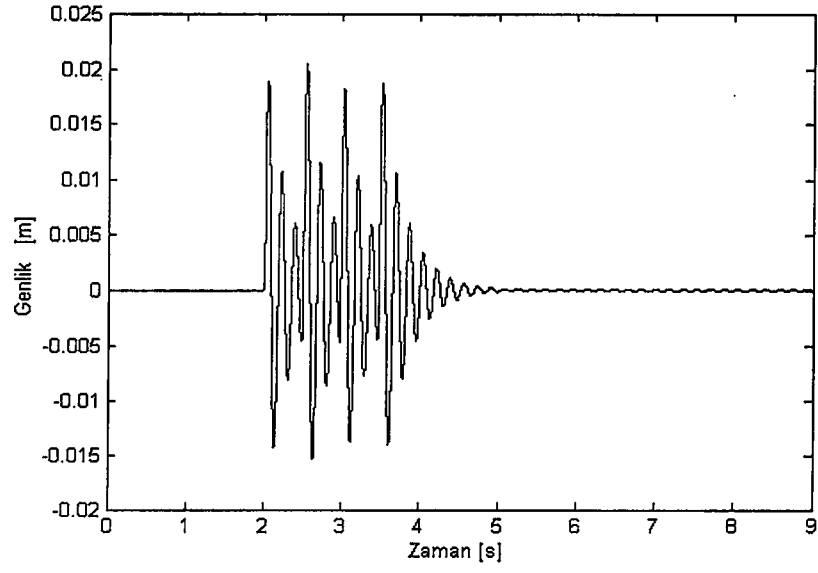
Şekil 2.160 Şöför mahalli düşey titreşim ivmeleri

30 km/h dört engelli yolda

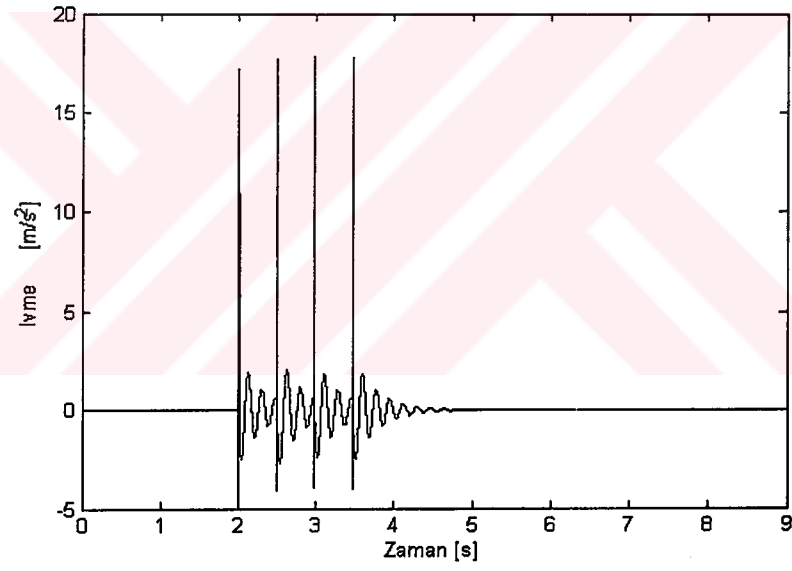
Bir serbestlik dereceli



Şekil 2.161 Bir serbestlik dereceli sistem için giriş fonksiyonu

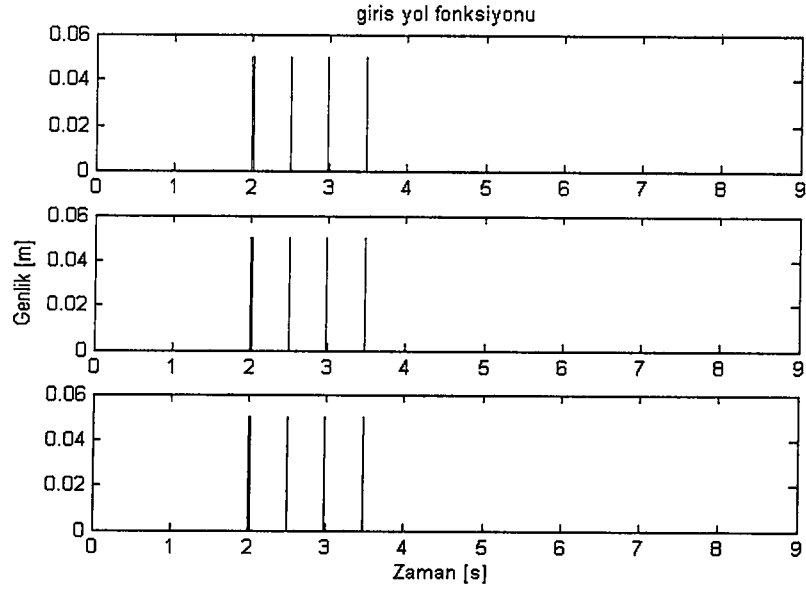


Şekil 2.162 Taşıt ağırlık merkezinin düşey deplasmanları

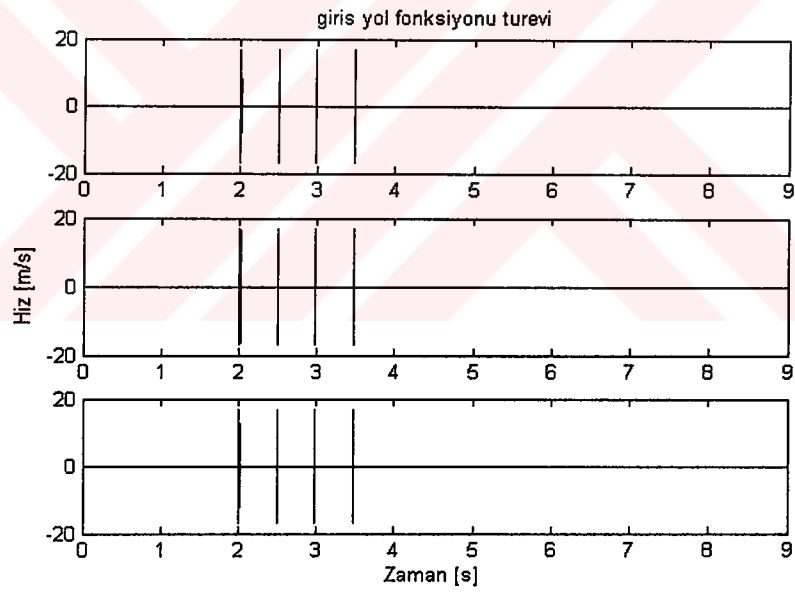


Şekil 2.163 Taşıt ağırlık merkezinin düşey titreşimlerin ivmeleri

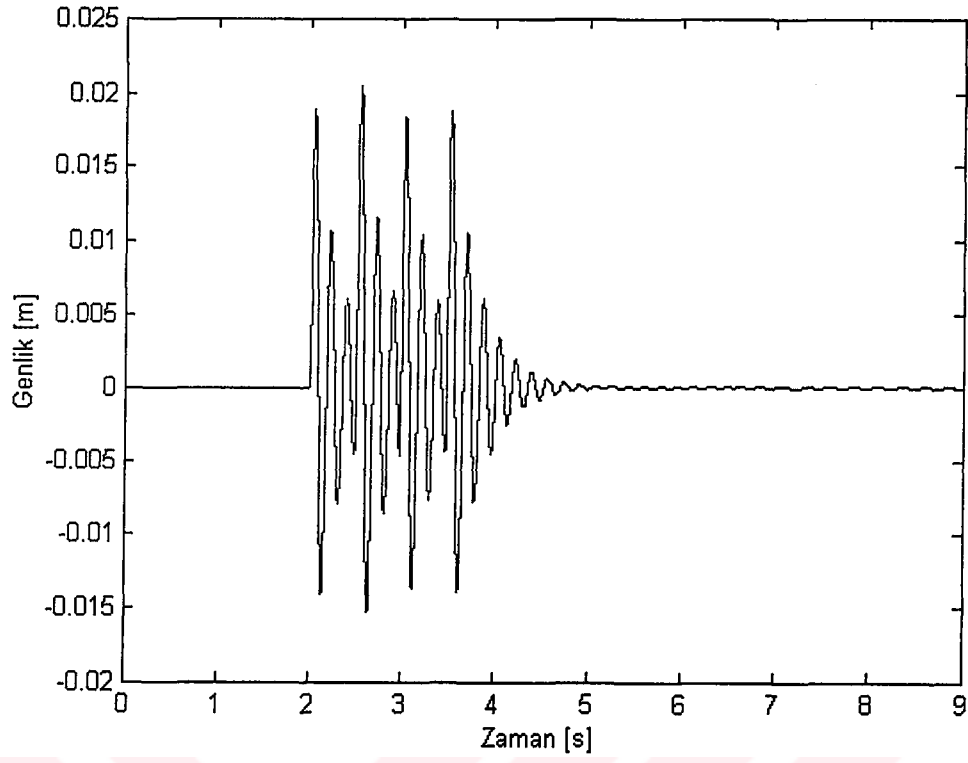
İki serbestlik dereceli sistem



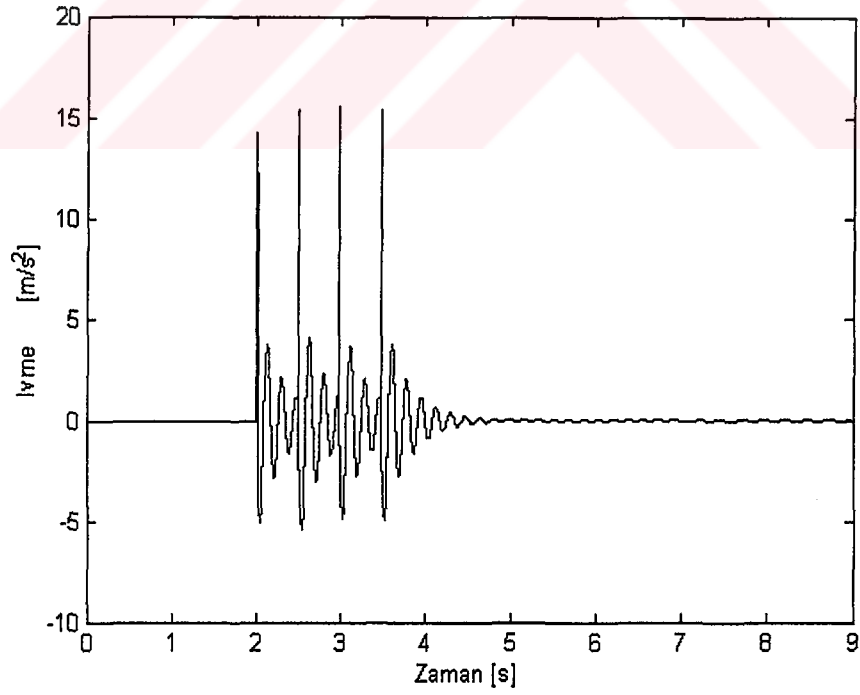
Şekil 2.164 Yarım taşıt modeli için giriş fonksiyonu



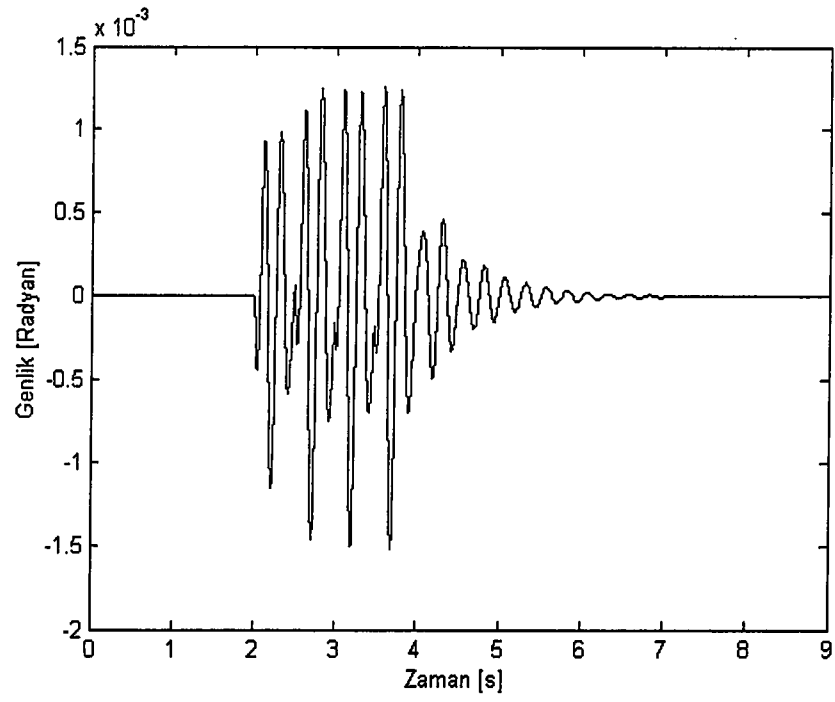
Şekil 2.165 Yarım taşıt modeli için hız fonksiyonu



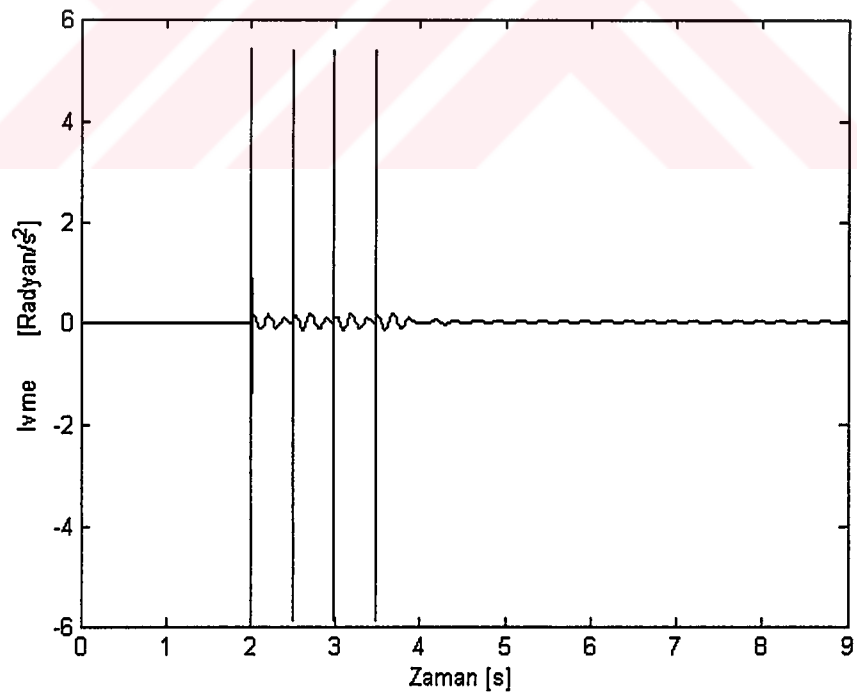
Şekil 2.166 Taşıt ağırlık merkezinin düşey deplasmanları



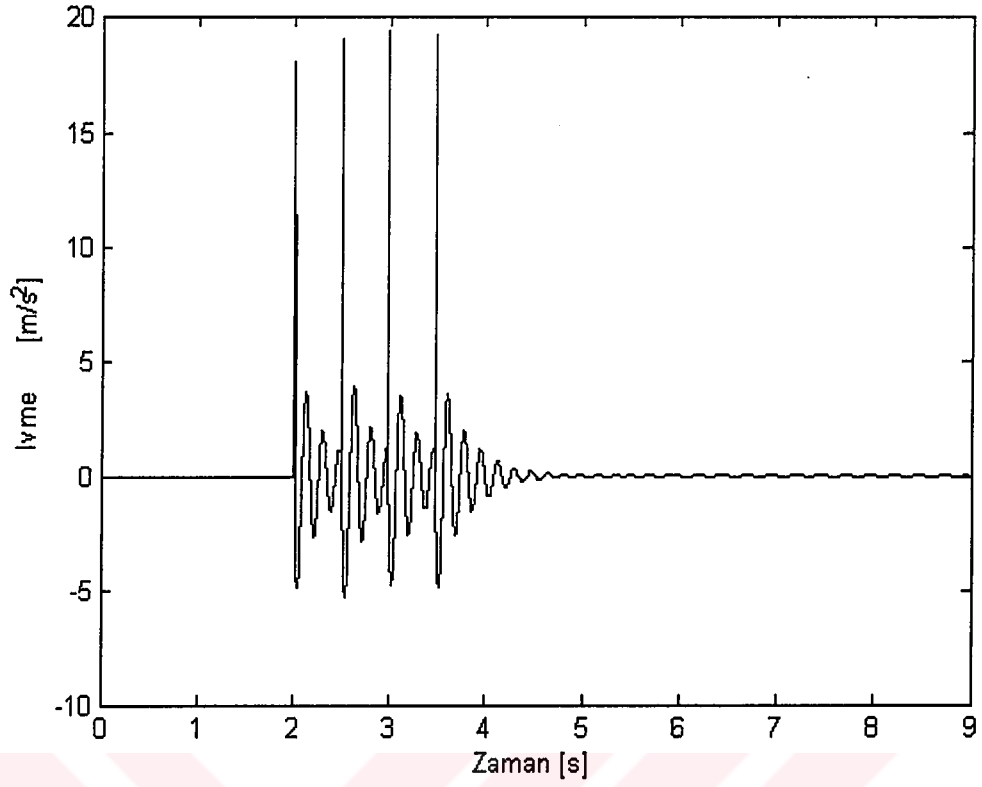
Şekil 2.167 Taşıt ağırlık merkezinin düşey titreşimlerin ivmeleri



Şekil 2.168 Taşıt ağırlık merkezinin z eksenine etrafındaki açısal titreşimleri (Kafa vurma)

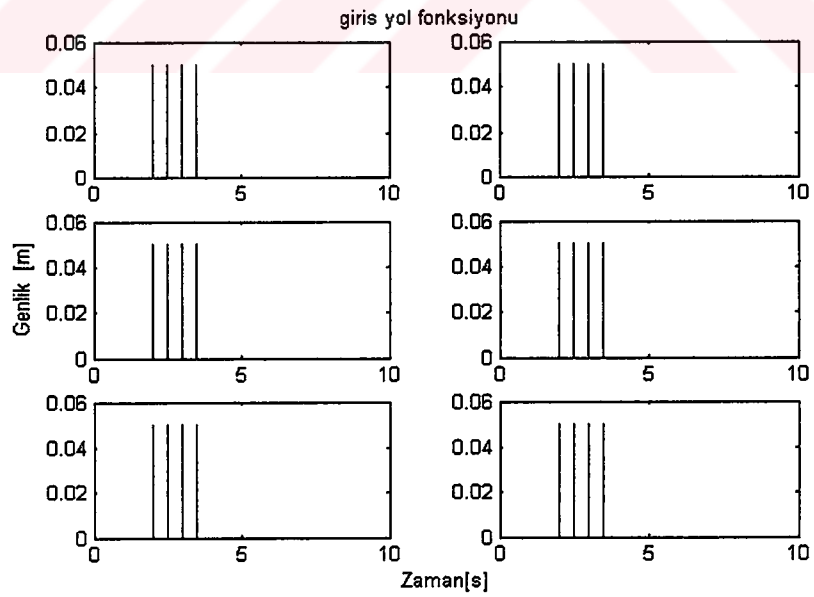


Şekil 2.169 Taşıt ağırlık merkezinin z eksenine etrafındaki açısal titreşim ivmeleri (Kafa vurma)

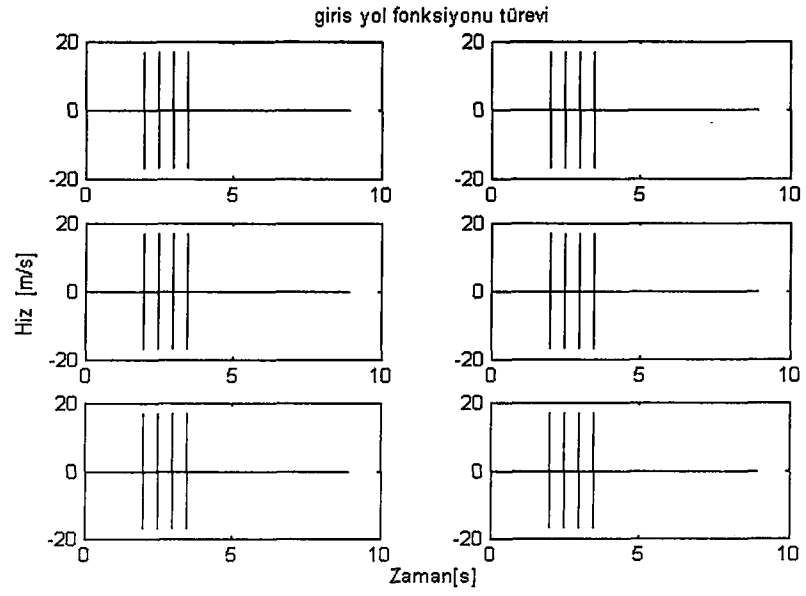


Şekil 2.170 Şöför mahalli düşey titreşim ivmeleri

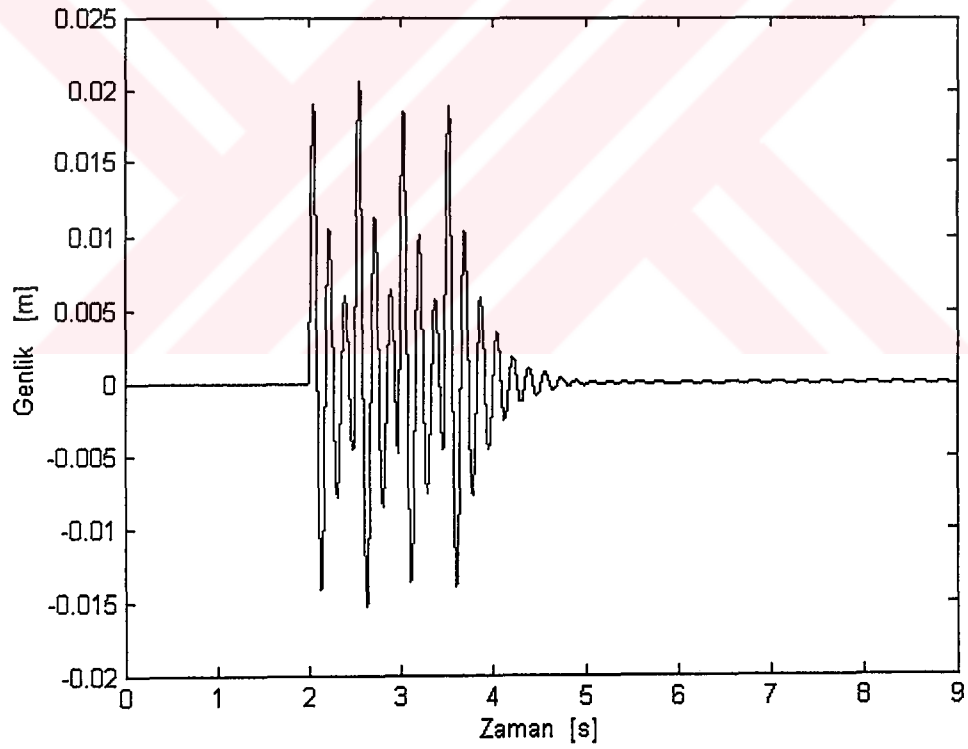
Üç serbestlik dereceli



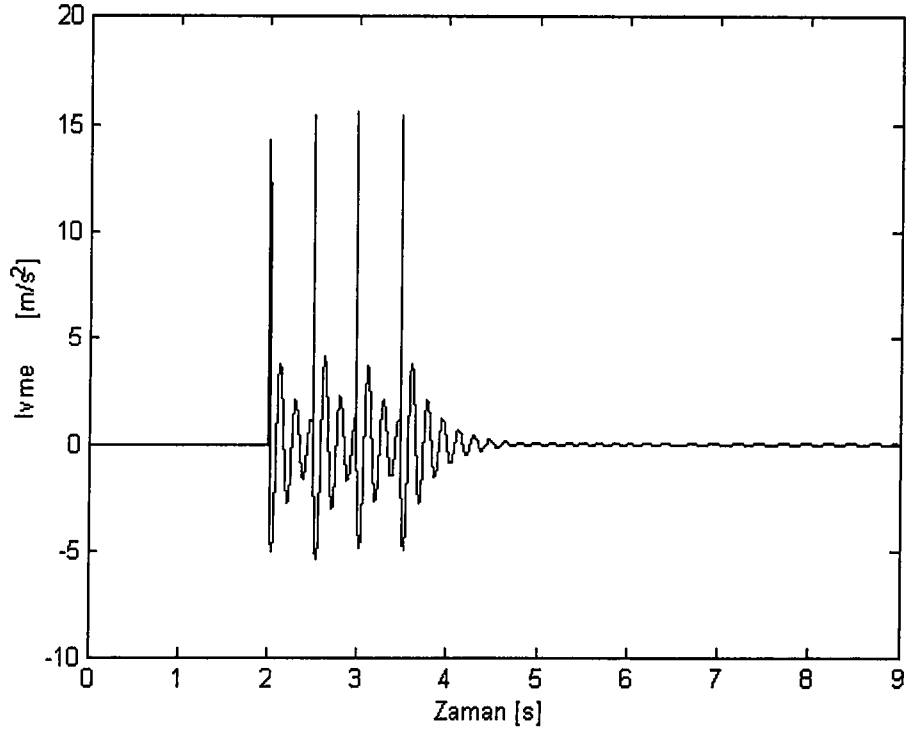
Şekil 2.171 Tam taşıt modeli için giriş fonksiyonu



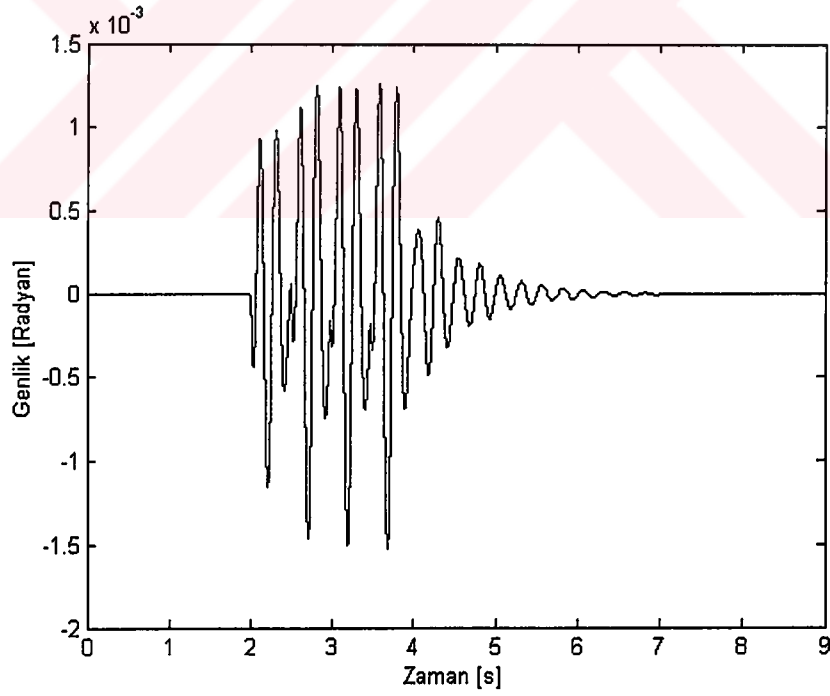
Şekil 2.172 Tam taşıt modeli için hız fonksiyonu



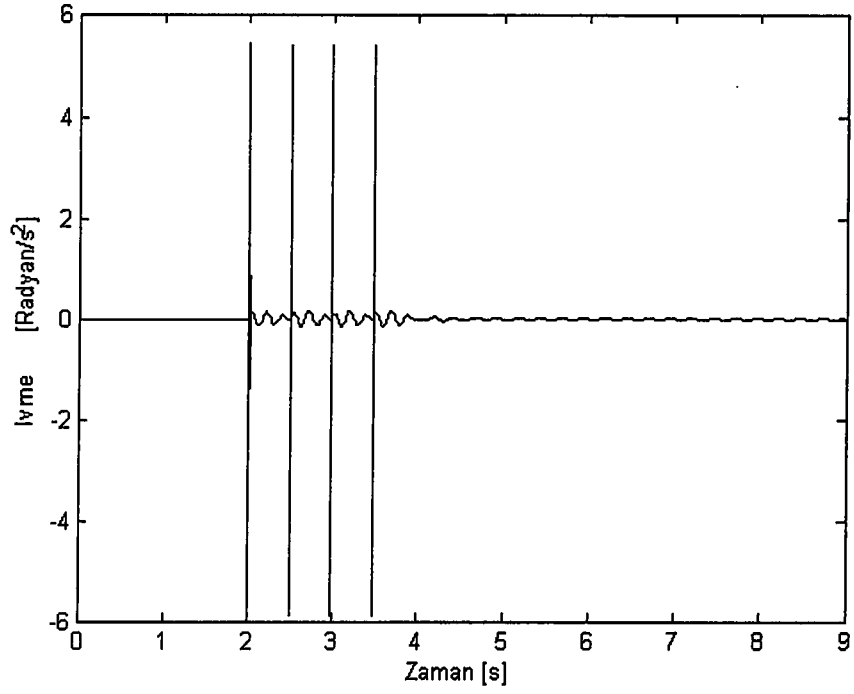
Şekil 2.173 Taşıt ağırlık merkezinin düşey deplasmanları



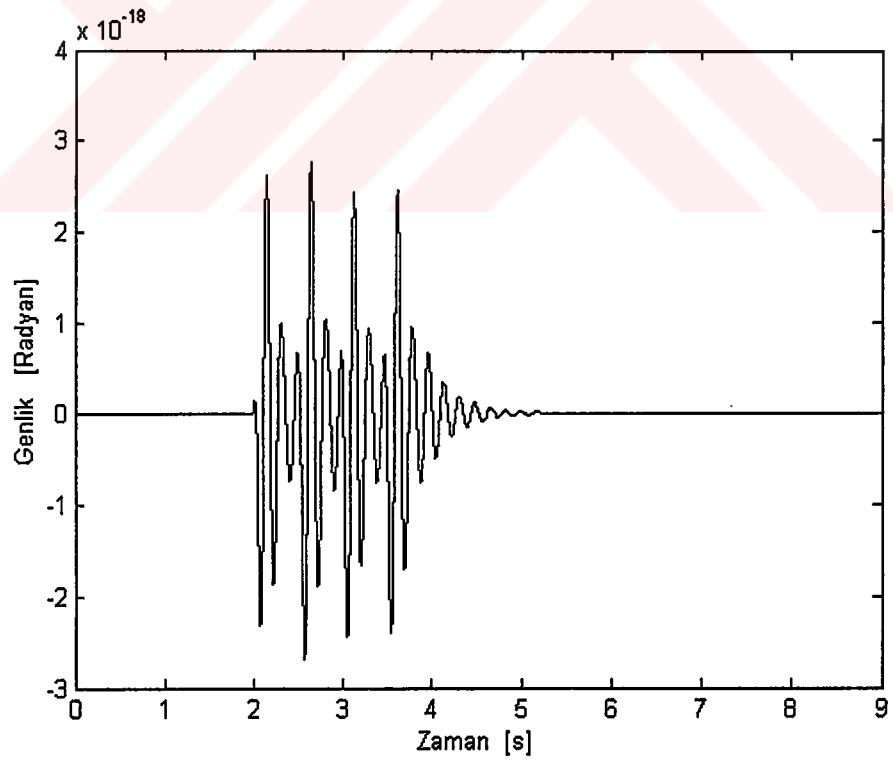
Şekil 2.174 Taşıt ağırlık merkezinin düşey titreşimlerin ivmeleri



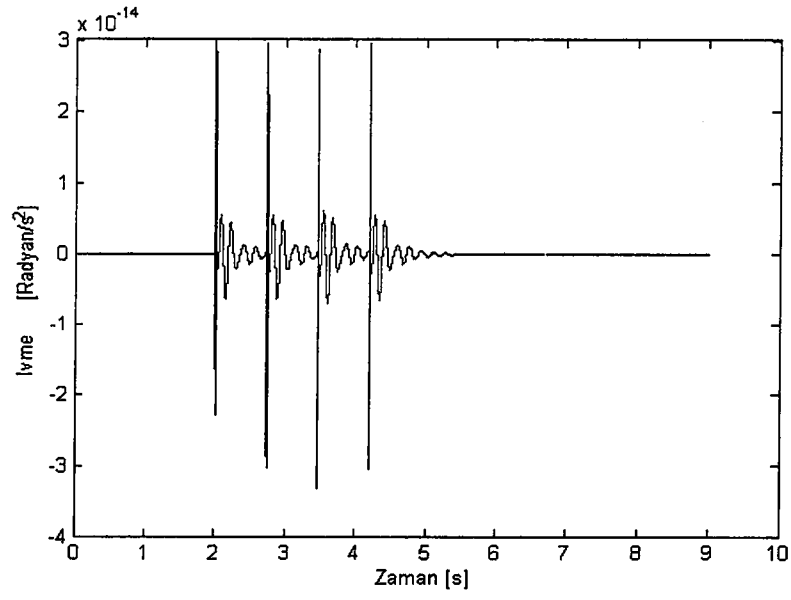
Şekil 2.175 Taşıt ağırlık merkezinin z ekseni etrafındaki açısall titreşimleri (Kafa vurma)



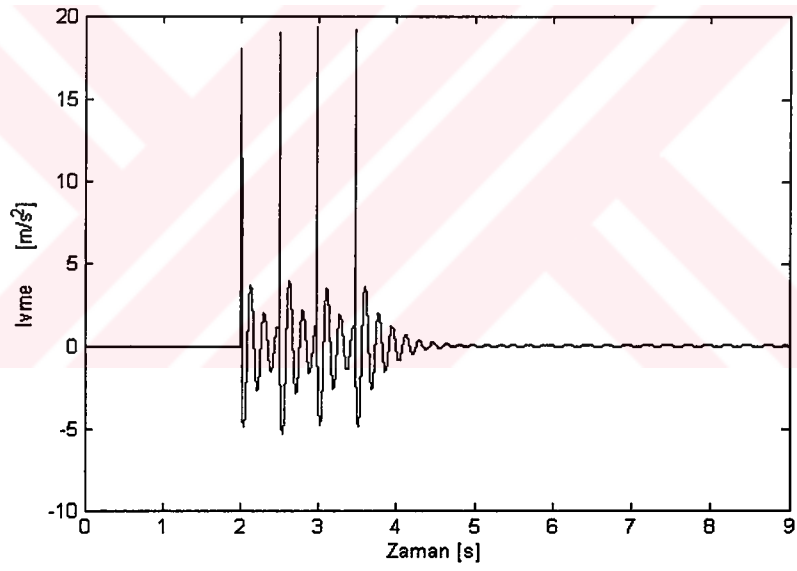
Şekil 2.176 Taşıt ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki açısal titreşim ivmeleri (Kafa vurma)



Şekil 2.177 Taşıt ağırlık merkezinin x eksenini etrafındaki açısal titreşimleri (Yalpa)

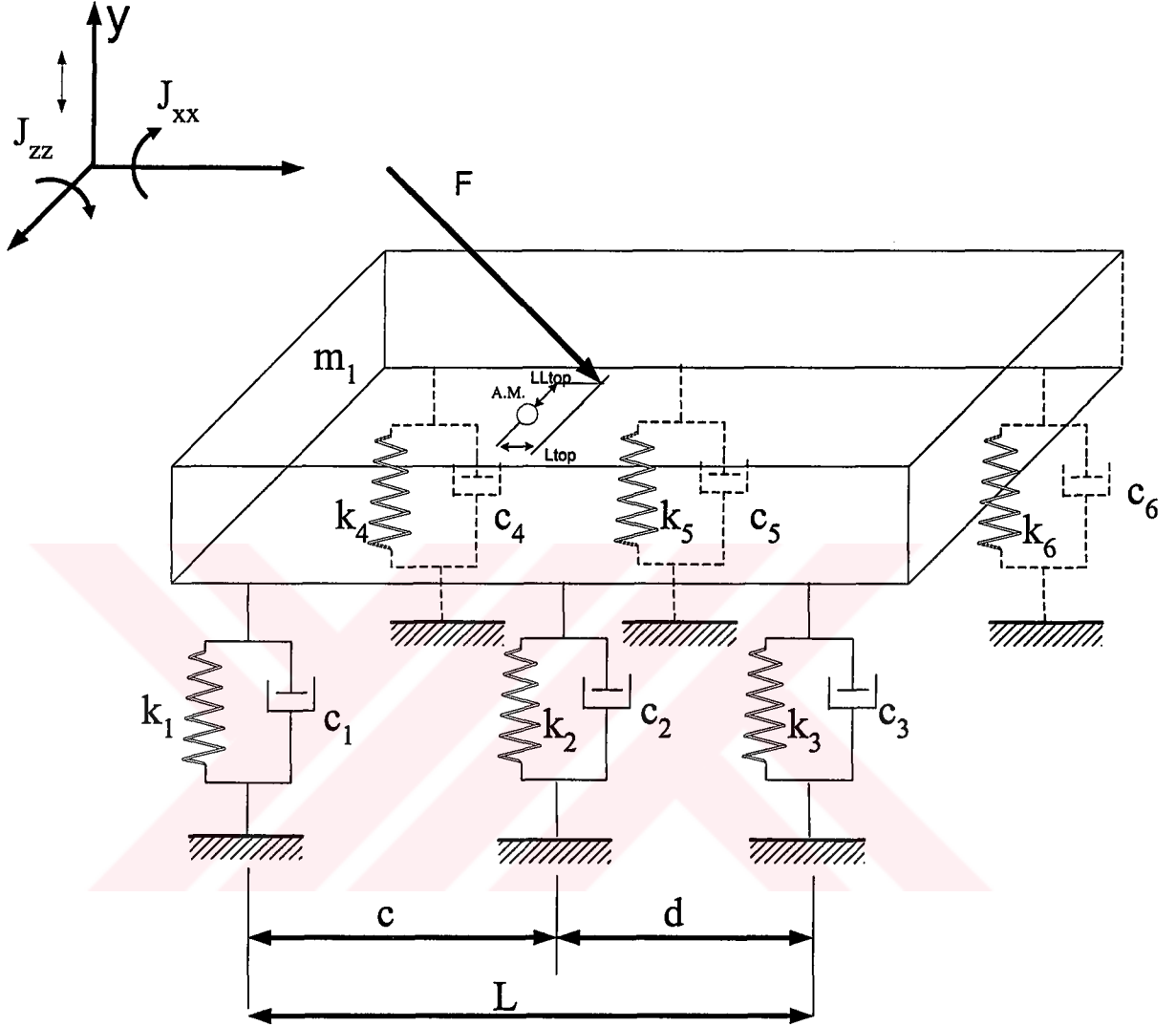


Şekil 2.178 Taşıt ağırlık merkezinin x eksenini etrafındaki açısal titreşim ivmeleri (Yalpa)



Şekil 2.179 Şöför mahalli düşey titreşim ivmeleri

3 HAVAN SİLAHI ATIŞ DURUMUNDA ALTI TEKERLEKLİ TAŞITIN TİTREŞİM SİMÜLASYONLARI



Şekil 3.1 Havan silahı atış durumu için taşıt modeli

Havan silah platformu orta ve arka tekerlek arasındaki bölgededir. Şekil 3.1 de namlu olarak belirtilen noktada silah tespit yeri vardır. Namlu yönü taşıtın arka tarafına doğrudur. Namlu açısı yatayla 0° - 85° arasındadır. Namlu ekseninde 360000 N luk geri tepme kuvveti söz konusudur. Peşpeşe atışlar söz konusu olacağı için taşıt titreşimlerinin namlu açısını değiştirmemesi fevkalade önemlidir. Bundan dolayı kısa sürede taşıtın stabil hale gelmesi gerekmektedir. Bu durum gözönüne alınarak gerekli incelemeler yapıldı.

Sisteme ait diferansiyel denklemler ilk bölümde elde edildi. Bu denklemler kullanılarak durum uzayındaki denklemler aşağıdaki gibi elde edildi.

$$\dot{x}_1 = \dot{x} \ ; \ \dot{\theta}_4 = \dot{\theta}_2 \ ; \ \dot{\theta}_5 = \dot{\theta}_3 \ ; \ \frac{1}{m_1} = d_1 \ ; \ \frac{1}{J_{zz}} = d_2 \ ; \ \frac{1}{J_{yy}} = d_3$$

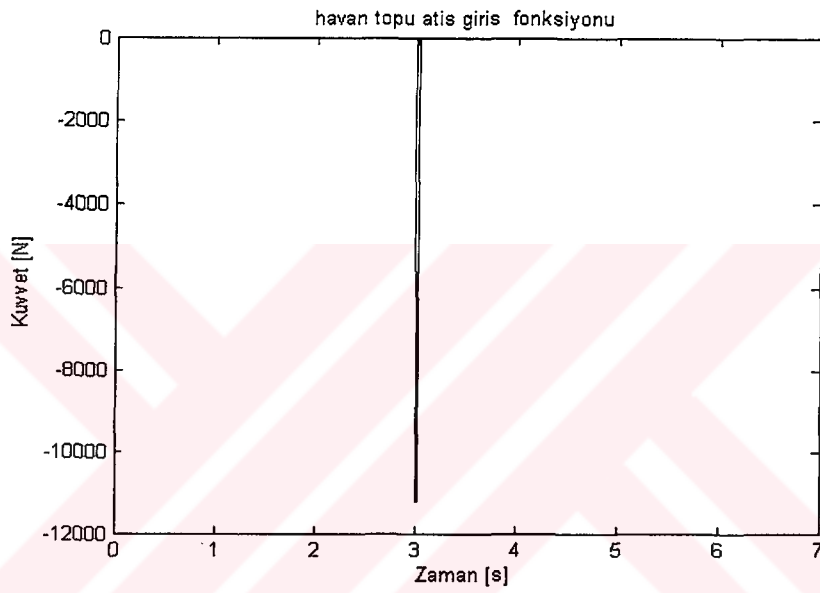
$$\dot{x}_1 = \frac{1}{m_1} \left[\begin{array}{l} -(c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + c_5 + c_6)x_1 - (c_1L_3 - c_2L_1 + c_3L_2 + c_4L_3 - c_5L_1 - c_6L_2)\theta_4 \\ -(-c_1 - c_2 - c_3 + c_4 + c_5 + c_6)\frac{T_e}{2}\theta_5 - (k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5 + k_6)x_1 - (k_1L_3 - k_2L_1 - k_3L_2) \\ + k_4L_3 - k_5L_1 - k_6L_2)\theta_2 - (-k_1 - k_2 - k_3 + k_4 + k_5 + k_6)\frac{T_e}{2}\theta_3 + F(t) \end{array} \right]$$

$$\dot{\theta}_4 = \frac{1}{J_{zz}} \left[\begin{array}{l} -(c_1L_3 - c_2L_1 - c_3(L_1 + L_2) + c_4L_3 - c_5L_1 - c_6(L_1 + L_2))x_1 - (c_1L_3^2 + c_2L_1^2 + c_3(L_1 + L_2)^2 + c_4L_3^2 - c_5L_1^2 \\ + c_6(L_1 + L_2)^2)\theta_4 - (c_1L_3 + c_2L_1 + c_3(L_1 + L_2) + c_4L_3 - c_5L_1 - c_6(L_1 + L_2))\frac{T_e}{2}\theta_5 - (k_1L_3 - k_2L_1 - k_3(L_1 + L_2) \\ + k_4L_3 - k_5L_1 - k_6(L_1 + L_2))x - (k_1L_3^2 + k_2L_1^2 + k_3(L_1 + L_2)^2 + k_4L_3^2 - k_5L_1^2 + k_6(L_1 + L_2)^2)\theta_2 \\ - (k_1L_3 + k_2L_1 + k_3(L_1 + L_2) + k_4L_3 - k_5L_1 - k_6(L_1 + L_2))\frac{T_e}{2}\theta_3 + F(t)*L_T \end{array} \right]$$

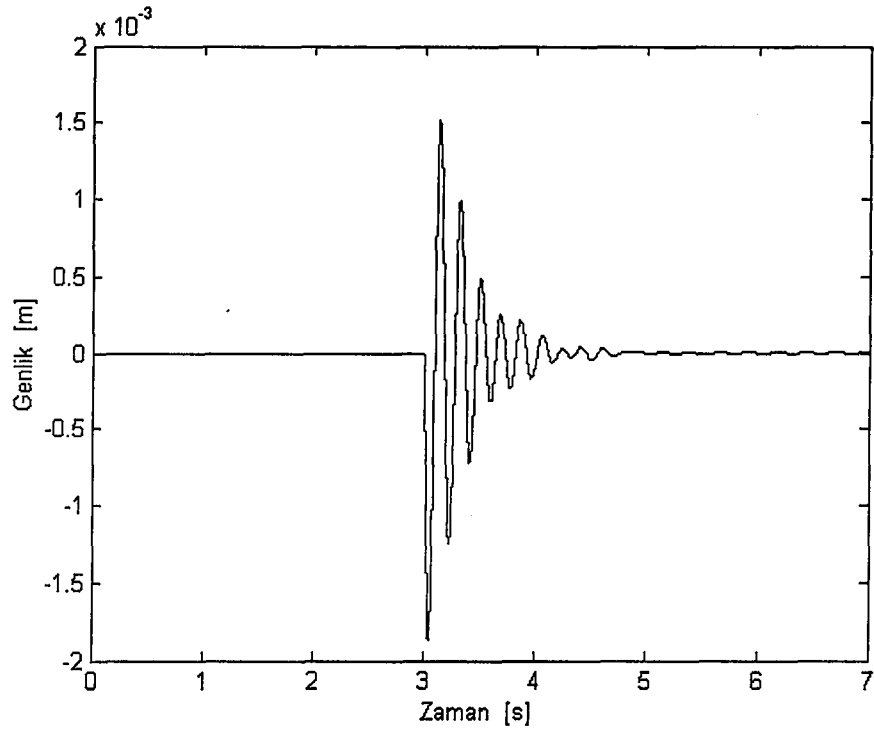
$$\dot{\theta}_5 = \frac{1}{J_{yy}} \left[\begin{array}{l} -(c_1 - c_2 - c_3 + c_4 + c_5 + c_6)\frac{T_e}{2}x_1 - (-c_1L_3 + c_2L_1 + c_3(L_1 + L_2) + c_4L_3 - c_5L_1 + c_6(L_1 + L_2))\frac{T_e}{2}\theta_4 \\ - (c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + c_5 + c_6)\frac{T_e^2}{4}\theta_5 - (-k_1 - k_2 - k_3 + k_4 + k_5 + k_6)\frac{T_e}{2}x - (k_1L_3 + k_2L_1 + k_3(L_1 + L_2) \\ + k_4L_3 - k_5L_1 - k_6(L_1 + L_2))\theta_2 - (k_1 + k_2 + k_3 + k_4 - k_5 + k_6)\theta_3 \frac{Te^2}{4} + F(t)L_{TT} \end{array} \right]$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1/m_1 \\ L_T / J_{ZZ} \\ L_{TT} / J_{YY} \end{bmatrix}$$

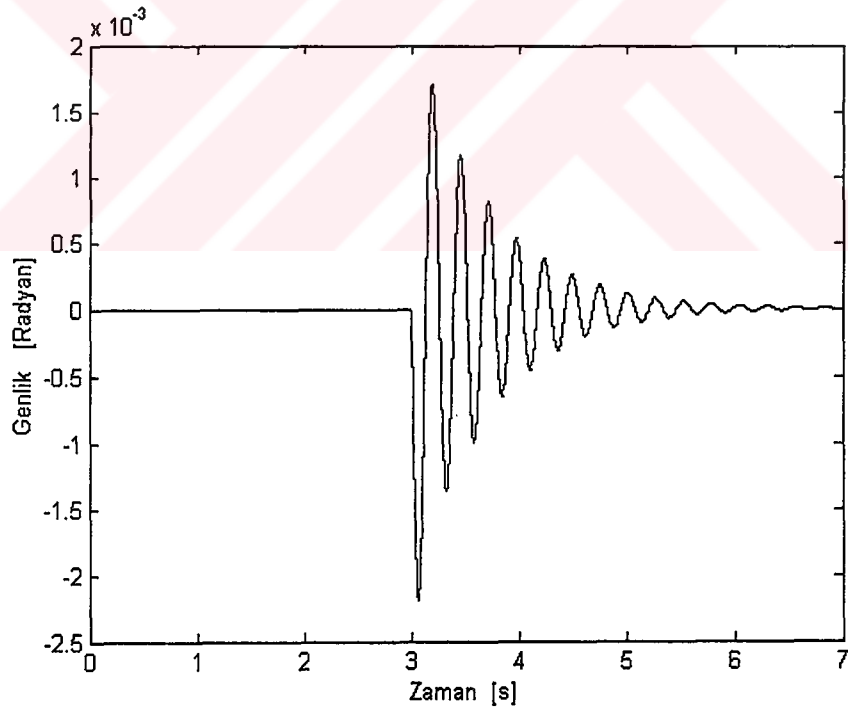
Sisteme giriş olarak 360000 N luk kuvvet darbe olarak etkimektedir. Bu kuvvet sisteme en tehlikeli olarak 85° de etkimektedir. Sisteme giriş olarak bu açıdaki kuvvetin maksimumu şekil 3.2 deki gibidir.



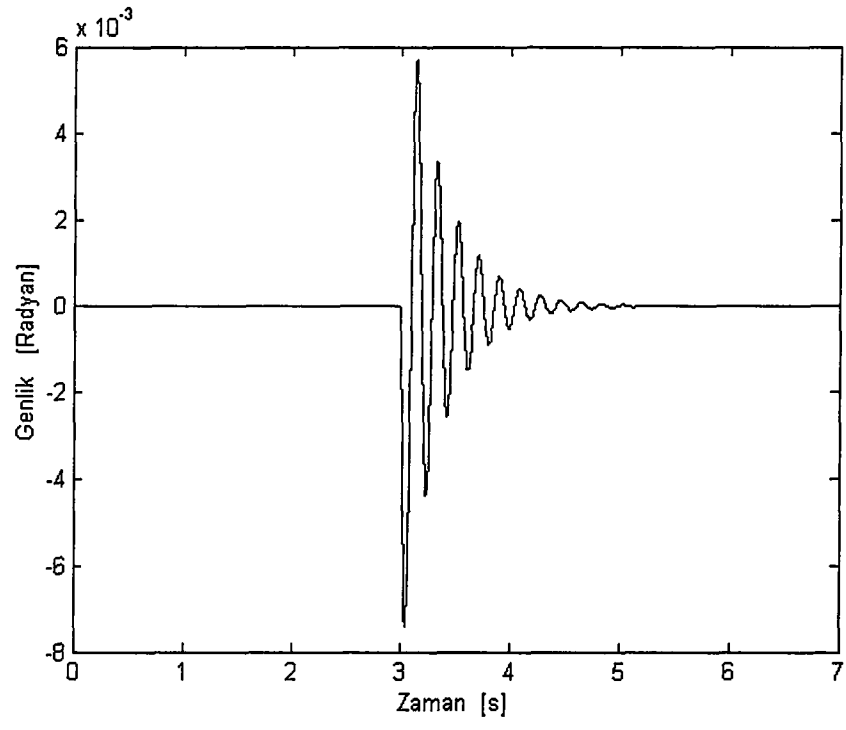
Şekil 3.2 Havan silahı atış durumu için giriş fonksiyonu



Şekil 3.3 Havan silahı atış durumunda taşıt ağırlık merkezinin düşey yer değiştirmeleri

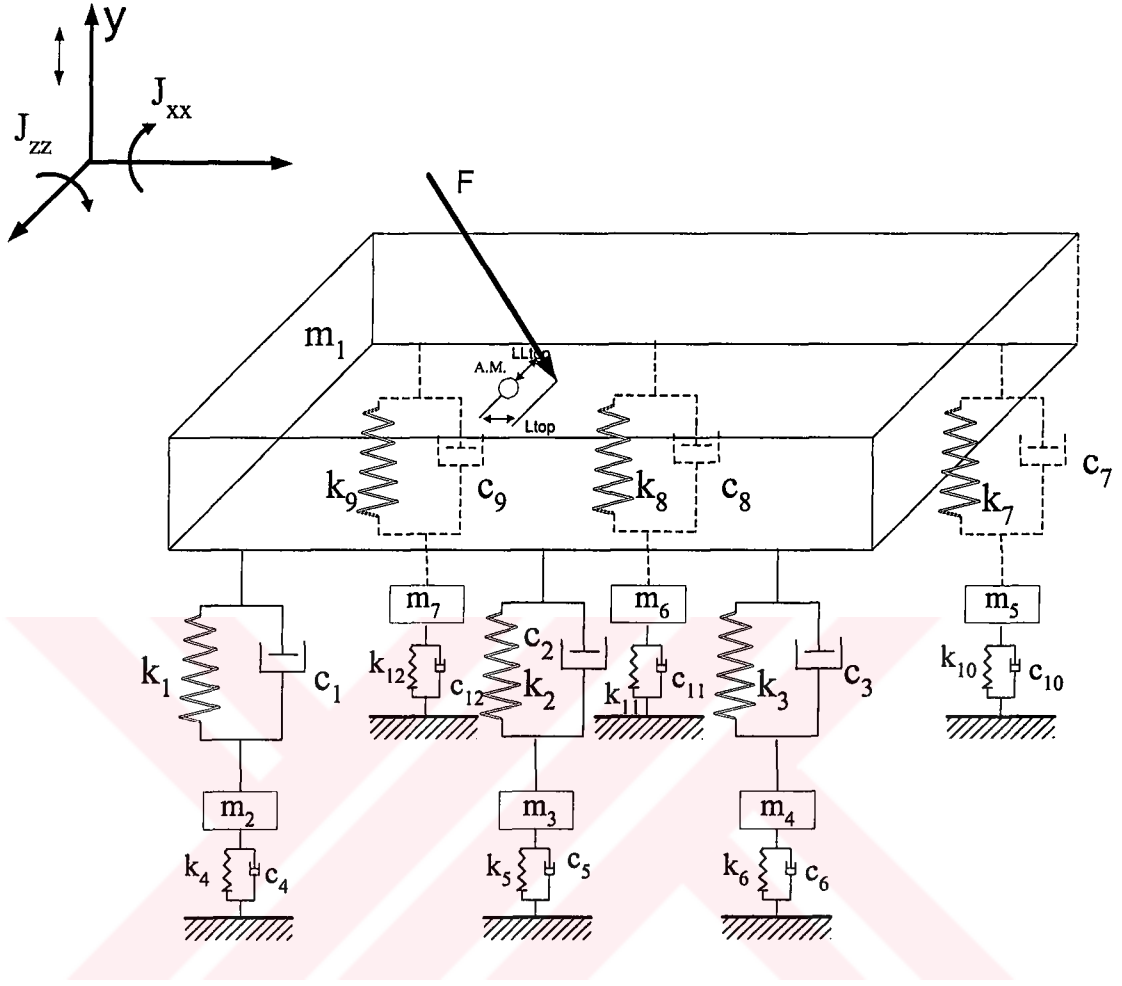


Şekil 3.4 Havan silahı atış durumunda taşıt ağırlık merkezinin z eksenine etrafındaki açısal yer değiştirmeleri (Kafa vurma)



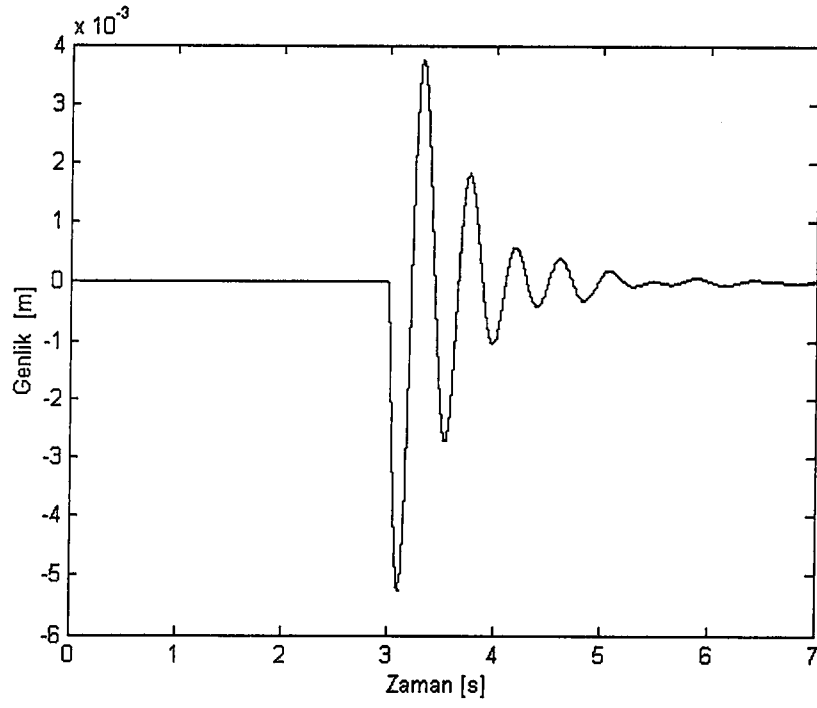
Şekil 3.5 Havan silahı atış durumunda taşıt ağırlık merkezinin x eksenine etrafındaki açısal yer değiştirmeleri (Yalpa)

3.1 Havan Silahı Atışı Durumunda Altı Tekerlekli Suspansiyonlu Taşıtın Titreşim Simülasyonları

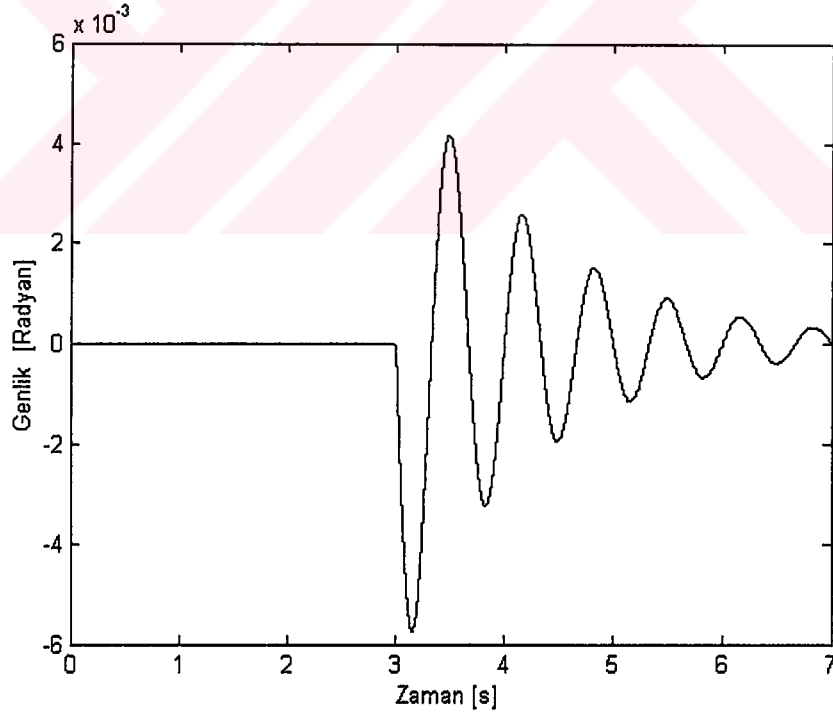


Şekil 3.6 Havan silahı atışı durumu için taşıt modeli

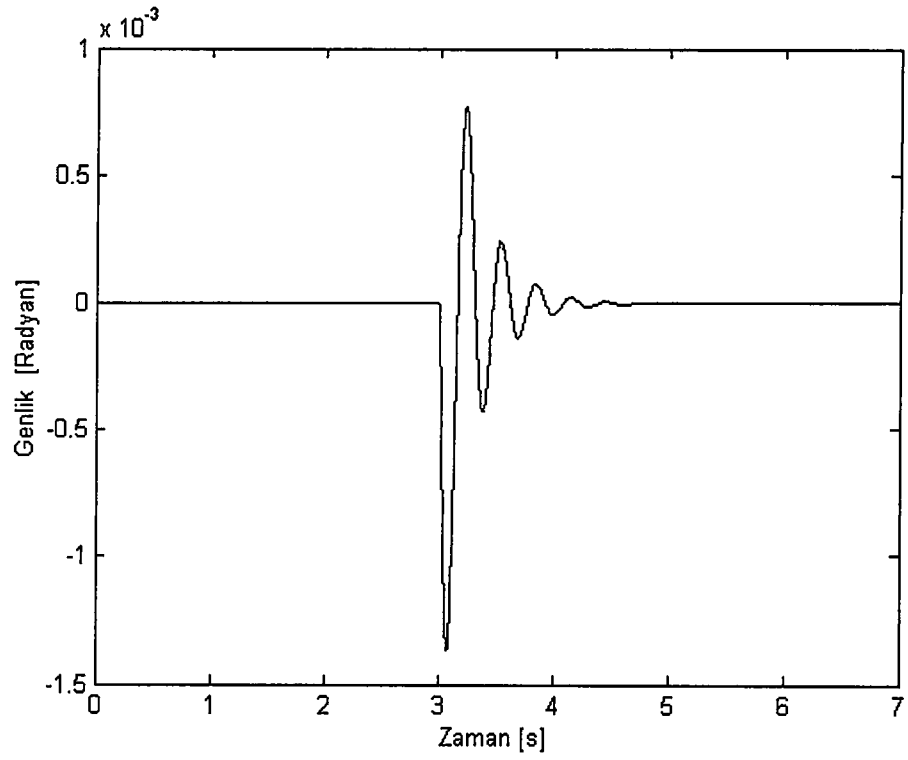
Sistemde süspansiyon sistemi olmamakla beraber, takılması sonucu havan atışı sonucu oluşan titreşimlerin nasıl oluşacağı bu kısımda incelendi.



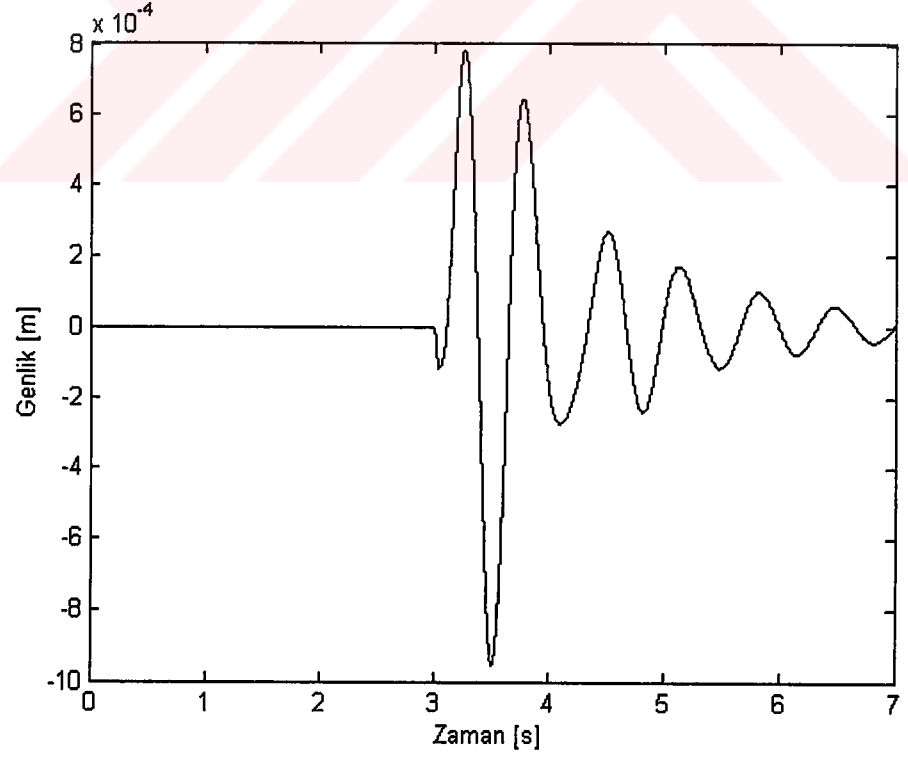
Şekil 3.7 Altı Tekerlekli Askeri taşıtın ağırlık merkezinin(m_1 kütlesi) düşey yer değiştirmeleri



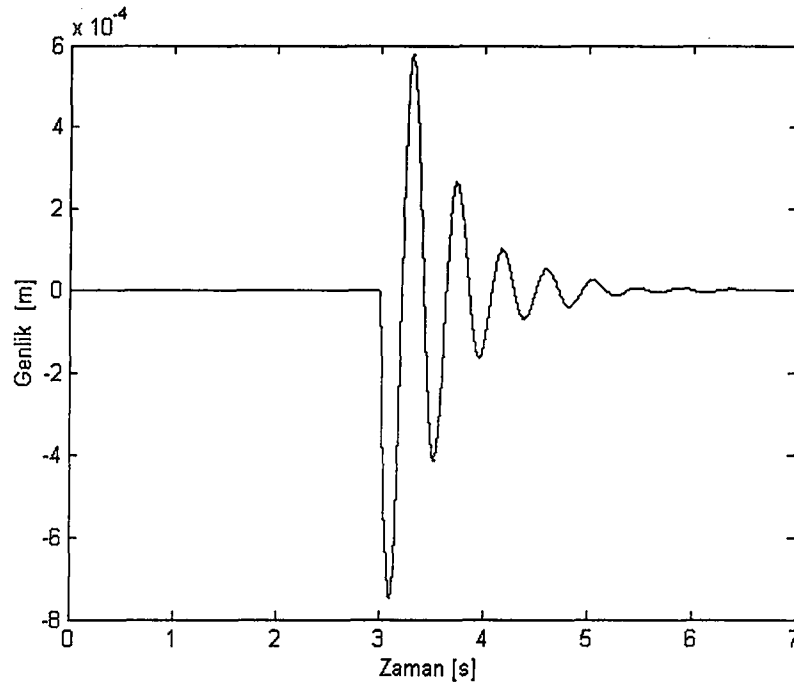
Şekil 3.8 Altı Tekerlekli Askeri taşıtın ağırlık merkezinin (m_1 kütlesi) z eksenini etrafındaki açısal yer değiştirmeleri (Kafa vurma)



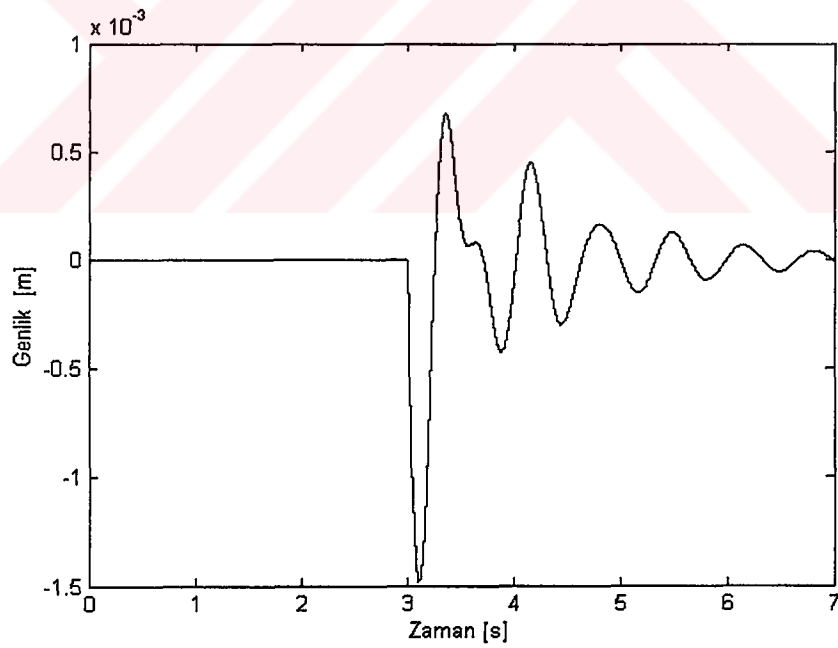
Şekil 3.9 Altı Tekerlekli Askeri taşıtın ağırlık merkezinin (m_1 kütlesi) x eksenini etrafındaki açısal yer değiştirmeleri (Yalpa)



Şekil 3.10 Altı Tekerlekli Askeri taşıtın m_2 kütlesi düşey yer değiştirmeleri



Şekil 3.11 Altı Tekerlekli Askeri taşıtın m_3 kütlesi düşey yer değiştirmeleri



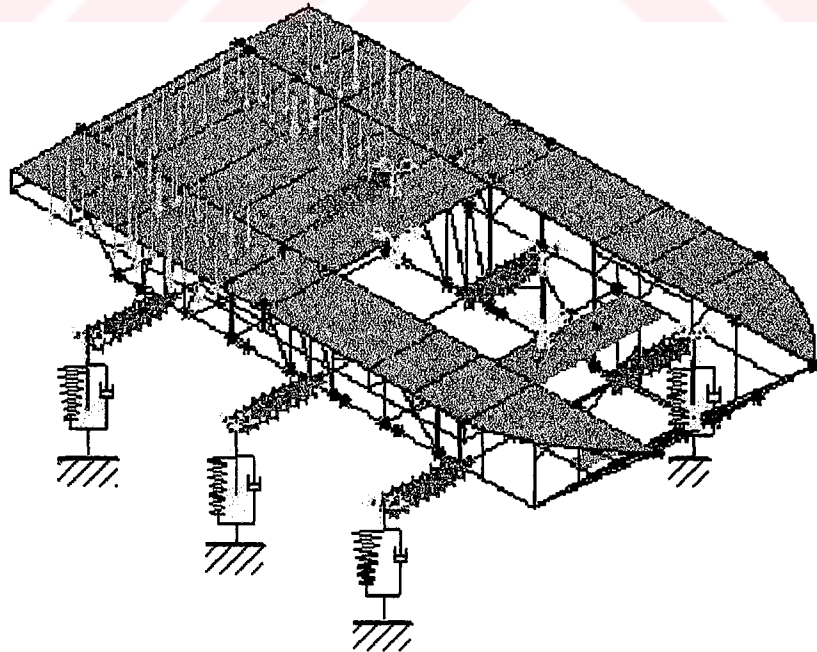
Şekil 3.12 Altı Tekerlekli Askeri taşıtın m_4 kütlesi düşey yer değiştirmeleri

4 ALTI TEKERLEKLİ ASKERİ TAŞITIN SONLU ELEMANLAR MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Klasik rijit gövde analizi çoğu dinamik problemler için yetersiz kalmaktadır. Elastik gövde yaklaşımı ise çok sayıda kısmi türevli diferansiyel denklemin çözümünü gerektirmektedir. Kompleks yapıları, özellikle homojen olmayan yapıya sahip olanları, sonlu elemanlar metoduyla (SEM) çözmek çok kolay olmaktadır. Metod 1950 yılında uçak ve uzay sanayiinde gerilme analizi için kullanılmaya başlanmıştır. Yöntemin esasları üzerine yapılan çalışmalar sonucu kullanım sahası genişlemiş olup ilerleyen bilgisayar teknolojisiyle biomekanikten nükleer teknolojiye farklı sahalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde yapısal analiz için yapılan araştırmalarda sonlu elemanlar metodu çoğunlukla tercih edilmektedir.

Sonlu elemanlar yöntemi aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır;

- Geometrinin elemanlara ayrılması
- Eleman matrislerinin oluşturulması(kütle ve rijitlik)
- Eleman matrislerinin birleştirilmesi
- Sınır şartlarının uygulanması ve sistem denklemlerinin çözülmesi



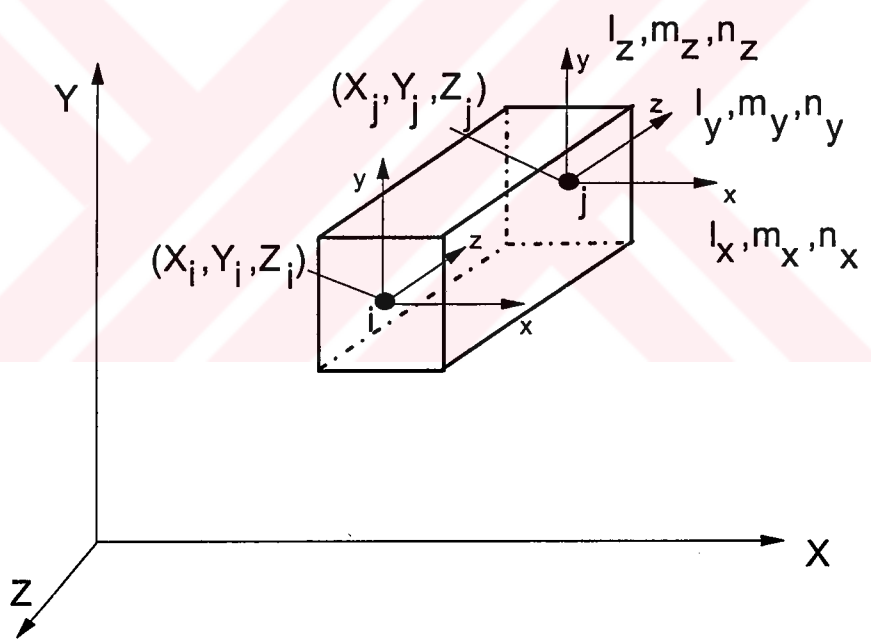
Şekil 4.1 Taşıtın sonlu elemanlar modeli

4.1 Çerçeve Kiriş İçin Rijitlik Ve Kütle Matrislerinin Elde Edilmesi

Modelleme yapılırken akslar rijit olarak kabul edildi. Tekerlekler, yay ve sönüm elemanları kullanarak modellendi. Karkas yapı elemanları, birbirlerine kaynaklı olarak bağlı kiriş elemanlardan oluşmaktadır. Kiriş elemanlar u, l , dikdörtgen profillere sahip olup, kesitlere ait mukavemet değerleri Ek.17 de verildi. Kirişler kaynak bağlantıdan dolayı rijit bağlı olarak kabul edilmiştir. Kirişlerde eksenel ve burulma yerdeğiştirmelerine ilave olarak her iki atalet eksenini etrafında eğilme meydana gelmektedir.

Boyuna yer değiştirme , farklı düzlemlerdeki eğilmeler ve burulma deformasyonları birbirlerinden bağımsızdırlar. Kiriş için eleman matrislerini oluştururken, bütün yer değiştirmeler için ayrı ayrı elde edilen kütle ve rijitlik matrisleri lokal koordinat sistemine göre monte edilir.

Kiriş için her iki düğüm noktasındaki lokal ve global koordinat eksen takımları şekil 4.2 de gösterildi;

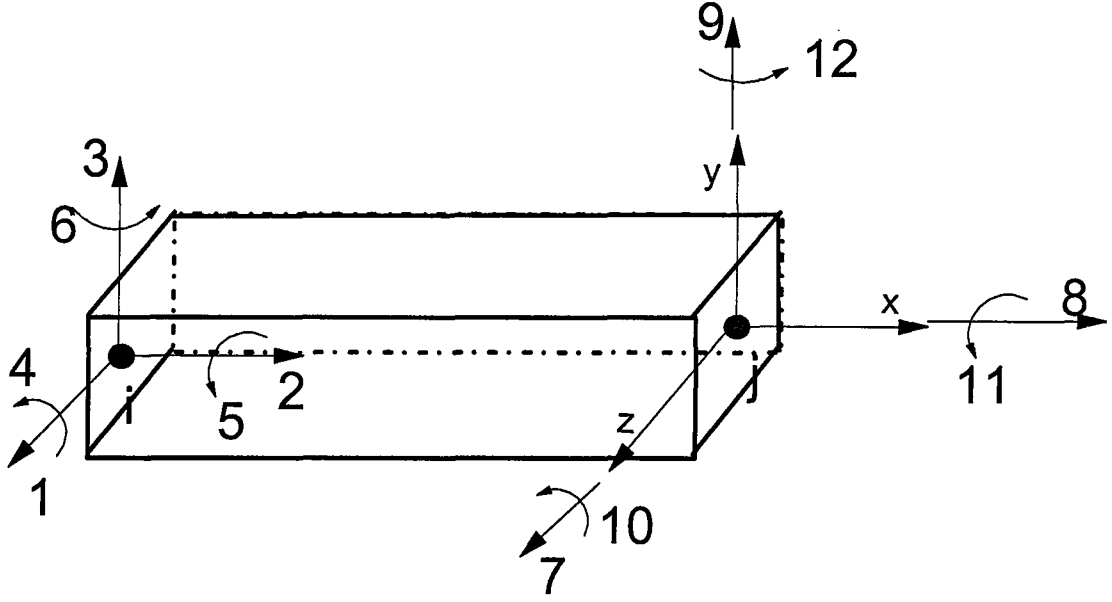


Şekil 4.2 Eksen takımları

X, Y, Z : Global eksen takımı

x, y, z : Lokal eksen takımı

Kiriş eleman her bir düğüm noktasında altı serbestlik derecesine sahip olup i ve j düğüm noktaları (nodları) için toplam oniki serbestlik derecesine sahiptir.



Şekil 4.3 Eleman serbestlik dereceleri

Şekil 4.3 de görülen elemanda; 1,2,3,7,8,9 ötelenme ; 4,5,6,10,11,12 yer değiştirmeleri de dönme' yi göstermektedir.

Yer değiştirmeleri vektör halinde yazılırsa;

$$Q^T = \{w_1, u_1, v_1, \theta_{y1}, \phi_1, \theta_{z1}, w_2, u_2, v_2, \theta_{y2}, \phi_2, \theta_{z2}\} \quad (4.1)$$

4.2 Rijitlik Matrislerinin Elde Edilmesi

4.2.1 Boyuna Yer Değiştirme Etkisi

$X = [x, y, z]^T$ noktasındaki deformasyon bu yer değiştirmenin üç bileşeni tarafından belirlenir.

$$U = [u, v, w]^T$$

$\{\sigma\} = E \{\varepsilon\}$ şeklinde yazılır.

Tek boyutluda yer değiştirme, şekil değiştirme ve gerilme x 'e bağlıdır.

$$U = U(x)$$

$$\sigma = \sigma(x)$$

$$\varepsilon = \varepsilon(x)$$

ve dolayısıyla

$$\sigma = E \varepsilon$$

$$\varepsilon = \frac{du}{dx}$$

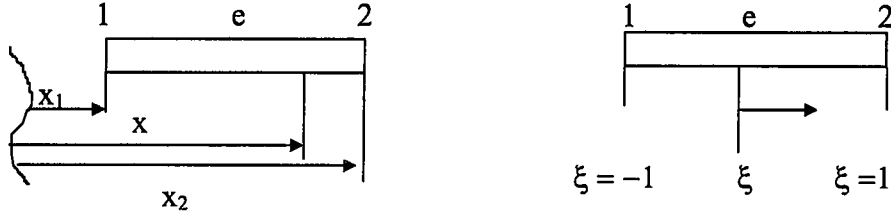
$$dV = A dx$$

şeklinde yazılabilir.

Her eleman iki düğüm noktasına sahiptir ve her düğüm noktası $\pm x$ yönünde hareket edebilir.

Bir eleman iki serbestlik derecelidir. Bir elemandaki düğüm noktalarının deplasmanını lokal deplasman vektörü $\{q\} = [q_1, q_2, q_3, q_4, \dots, q_n]^T$ gösterir. Kiriş boyunca yer değiştirmeler global deplasman vektörü $\{Q\} = [Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, \dots, Q_n]^T$ gösterir.

4.2.1.1 Koordinatlar Ve Şekil Fonksiyonları



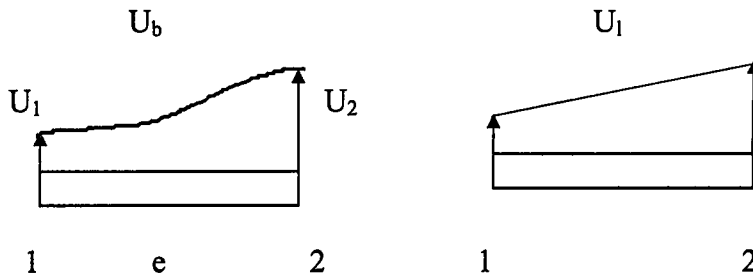
Şekil 4.4 Eleman üzerindeki yer değiştirmeler ve koordinat dönüşümü

Tipik bir sonlu eleman e 'yi düşünülürse (Şekil 4.3) lokal numaralamada ilk düğüm noktası 1, ikinci düğüm noktası 2 ile gösterilir. 1.düğüm noktasında $x_1 = x$ ve ikinci düğüm noktasında ise $x_2 = x$ dir. ξ ile gösterilen doğal koordinat sistemi seçerek (Şekil 3.3), iki koordinat arasındaki dönüşüm (4.2) eşitliği ile sağlanır.

$$\xi = \frac{2}{x_2 - x_1}(x - x_1) - 1 \quad (4.2)$$

Şekildende görülebileceği gibi birinci düğüm noktasında $\xi = -1$, ikinci düğüm noktasında $\xi = 1$ dir. Bir elemanın boyu 0'dan 1'ye değişeceğine ξ 'nin -1 den 1'e değişmesiyle gösterilebilir. Bu koordinat sistemi deplasman alanlarının interpolasyonunda kullanılan şekil fonksiyonlarını belirlemede kullanır.

Bir elemandaki bilinmeyen deplasman alanı lineer interpolasyonla bulunur, bu yaklaşımın doğruluğu eleman sayısı arttıkça artar.

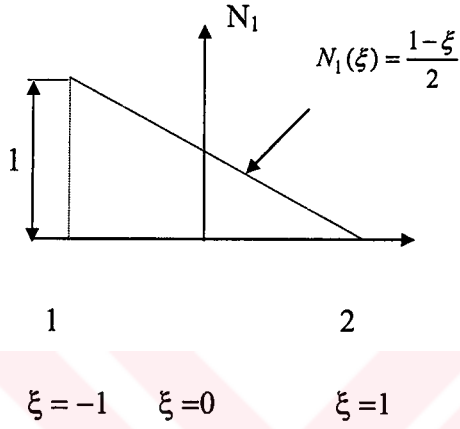


Şekil 4.5 Bir elemandaki deplasman alanının lineer interpolasyonu

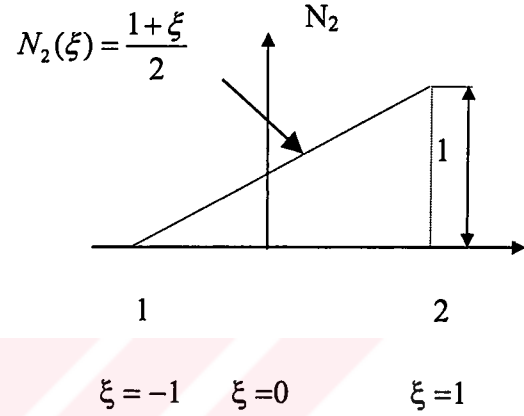
Lineer enterpolasyonu lineer şekil fonksiyonlarına uygulanırsa:

$$N_1(\xi) = \frac{1-\xi}{2}$$

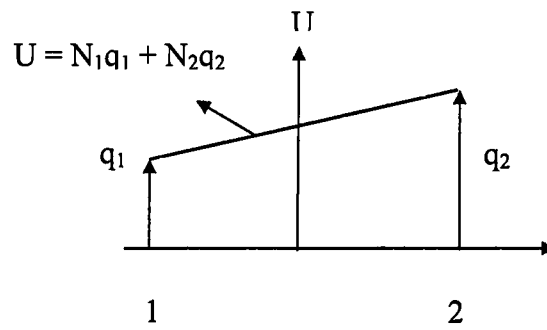
$$N_2(\xi) = \frac{1+\xi}{2}$$



Şekil 4.6 N_1 şekil fonksiyonu



Şekil 4.7 N_2 şekil fonksiyonu



Şekil 4.8 Lineer enterpolasyon

Şekil fonksiyonu için sınır şartları uygulanırsa,

$$\xi = -1 \quad N_1 = 1$$

$$\xi = 1 \quad N_1 = 0$$

elde edilir ve iki nokta arasında doğru çizilir. Aynı şekilde N_2 için hesaplar yapılarak şekil fonksiyonu elde edilir.

Lineer deplasman alanı, düğüm noktaları deplasmanlarına göre aşağıdaki gibi yazılır,

$$U = N_1 q_1 + N_2 q_2$$

matris formunda ise (4.3) de ki gibi yazılırsa

$$\{U\} = [N] \{q\} \quad (4.3)$$

$$N = [N_1, N_2]$$

$$q = [q_1, q_2] \text{ olur.}$$

Şekil değiştirme ve deplasman arasındaki bağıntı

$$\varepsilon = \frac{du}{dx} \text{ dir.}$$

Diferansiyel zincir kuralı uygulanırsa

$$\varepsilon = \frac{du}{d\xi} \frac{d\xi}{dx}$$

$$\frac{d\xi}{dx} = \frac{2}{x_2 - x_1}$$

$$U = N_1 q_1 + N_2 q_2 = \frac{1-\xi}{2} q_1 + \frac{1+\xi}{2} q_2$$

$$\frac{du}{d\xi} = \frac{-q_1 + q_2}{2}$$

$$\varepsilon = \frac{1}{x_2 - x_1} (-q_1 + q_2) \quad (4.4)$$

(4.4) eşitliğin, aşağıdaki formda yazılabilir.

$$\{\varepsilon\} = [B] \{q\}$$

$$B = \frac{1}{x_2 - x_1} \begin{bmatrix} -1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\{\sigma\} = E [B] \{q\} \quad (4.5)$$

$[B]$ = Şekil değiştirme - deplasman matrisi

Gerilme , şekil değiştirme ve deplasman değerleri düğüm noktalarına göre elde edilmiş olur.



4.2.2 Potansiyel Enerji Yaklaşımı

Şekil değiştirme enerjisinde $\{\varepsilon\} = [B] \{q\}$ ve $\{\sigma\} = E [B] \{q\}$ formülleri yerine konulursa,

$$U_e = \frac{1}{2} \int_e \{\sigma\}^T \{\varepsilon\} A dx \quad (4.6)$$

$$U_e = \frac{1}{2} \int_e \{q\}^T [B]^T E [B] \{q\} A dx \quad \text{veya aşağıdaki formda yazılabilir.}$$

$$U_e = \frac{1}{2} \{q\}^T \int_e [B]^T E [B] A dx \{q\}$$

Sonlu eleman modellemede bir elemanın kesit alanı A_e ile gösterildi ve bir sabittir. Aynı zamanda $[B]$ ise sabit bir matrisdir. x 'den ξ 'ye dönüşüm yapılırsa 2.26 eşitliği aşağıdaki sonucu verir;

$$dx = \frac{x_2 - x_1}{2} d\xi$$

veya

$$dx = \frac{l}{2} d\xi$$

$$-1 \leq \xi \leq 1$$

l : eleman boyudur.

$$l = |x_2 - x_1|$$

Bir eleman için şekil değiştirme enerjisi U_e aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$U_e = \frac{1}{2} \{q\}^T \left[A_e \frac{l}{2} E [B]^T [B] \int_{-1}^1 d\xi \right] q$$

E : Elastiklik modülü

$$\int_{-1}^1 d\xi = 2$$

Yukardaki integral değeri ve [B] değeri yerine konulursa şekil değiştirme enerjisi:

$$U_e = \frac{1}{2} \{q\}^T A_e l E \frac{1}{l^2} \begin{Bmatrix} -1 \\ 1 \end{Bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & 1 \end{bmatrix} \{q\}$$

$$U_e = \frac{1}{2} \{q\}^T \frac{A_e E}{l} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \{q\}$$

olur.

Yukardaki eşitlik

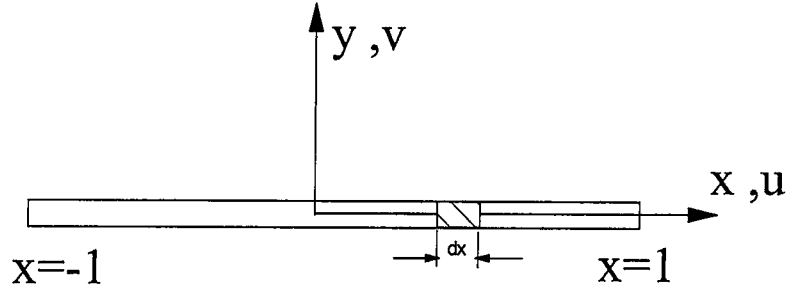
$$U_e = \frac{1}{2} \{q\}^T k^e \{q\} \text{ formundadır.}$$

k : eleman rijitlik matrisidir.

$$k = \frac{EA_e}{l} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

4.2.3 Eğilme Rijitliği

Kirişlerin eğilme analizi, Euler – Bernoulli kiriş teorisine göre yapıldı. Bu teoriye göre, kiriş kesit düzlemi eğilmeden sonra da kiriş eksenine dik kalmaktadır. Rijitlik matrisini elde etmek için ise potansiyel enerji metodu kullanıldı.



Şekil 4.9 Eğilme elemanı

Bir kiriş üzerinde , dx uzunluğundaki bir elamandaki gerilme enerjisi ;

$$dU = \frac{1}{2} \int_A \{\sigma\} \{\varepsilon\} dA dx \quad (4.8)$$

Küçük deplasmanlar için ;

$$\sigma = -\frac{M}{I} y \quad (4.9)$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

$$\frac{d^2 V}{dx^2} = -\frac{M}{EI} \quad (4.10)$$

bağıntıları geçerlidir. Bu bağıntılar yerine yazılırsa;

$$dU = \frac{1}{2} \int_A \left(-\frac{M}{I} y\right) \left(-\frac{M}{EI} y\right) dA dx$$

$$dU = \frac{1}{2} \left(\frac{M^2}{EI^2} \int_A y^2 dA \right) dx$$

$$I = \int_A y^2 dA$$

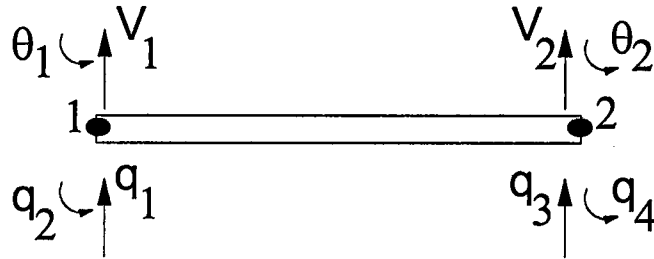
$$M = \frac{d^2 V}{dx^2}$$

$$dU = \frac{1}{2} \frac{M^2}{EI} dx \quad \text{olur.}$$

l uzunluğundaki bir kiriş için gerilme enerjisini (4.11) denklemiyle elde edilir.

$$U = \frac{1}{2} \int_0^L EI \left(\frac{d^2 V}{dx^2} \right)^2 dx \quad (4.11)$$

Kiriş elemanlara bölünerek lokal ve global yer değiştirmeler yazılır. Şekil 3.9 da bir eleman için lokal ve global numaralandırılmalar görülmektedir.



Şekil 4.10 Sonlu eleman numaralandırılması

$q = [q_1, q_2, q_3, q_4]^T$ ve $V = [V_1, \theta_1, V_2, \theta_2]^T$ vektörleri aynı yer değiştirmeleri ifade etmektedir.

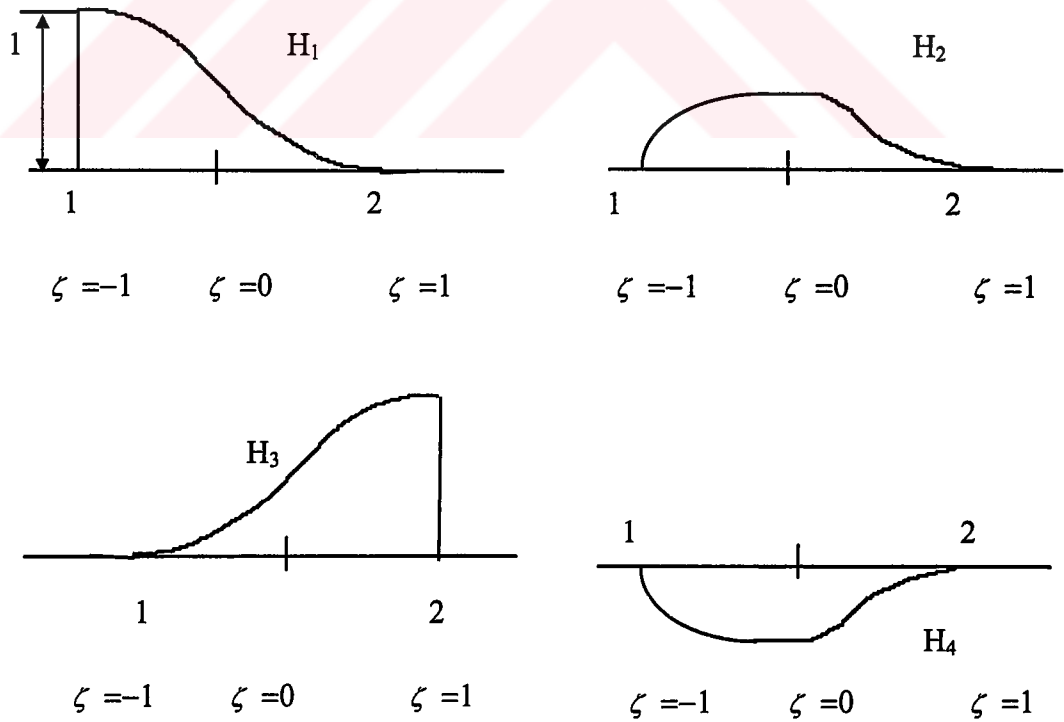
V yer değiştirmesinin enterpolasyonu için kullanılacak olan şekil fonksiyonları ζ 'ye göre ifade edilir. Düğüm noktası değerleri ve düğüm noktası eğrileri mevcut olduğundan sınır şartlarını sağlayacak kübik şekil fonksiyonları seçilmiştir.

Her bir şekil fonksiyonu aşağıdaki genel nc mertebeden fonksiyonla gösterilir

$$H = a_i + b_i\zeta + c_i\zeta^2 + d_i\zeta^3 \quad i=1,2,3,4 \quad (4.12)$$

Çizelge 4.1 Sınır koşulları

	H_1	H'_1	H_2	H'_2	H_3	H'_3	H_4	H'_4
$\zeta = -1$	1	0	0	1	0	0	0	0
$\zeta = 1$	0	0	0	0	1	0	0	1



şekil 4.11 Hermetik şekil fonksiyonları

Bir örnek olarak sadece H_1 fonksiyonunun katsayılarının bulunuşu gösterilirse,

$$\zeta = -1 \quad H_1 = 1 \quad 1 = a_1 - b_1 + c_1 - d_1$$

$$\zeta = 1 \quad H_1 = 0 \quad 0 = a_1 + b_1 + c_1 + d_1$$

$$H'_1 = b_1 + 2\zeta c_1 + 3\zeta^2 d_1$$

$$\zeta = -1 \quad H'_1 = 1 \quad 0 = b_1 + 2c_1 + 3d_1$$

$$\zeta = 1 \quad H'_1 = 0 \quad 0 = b_1 - 2c_1 + 3d_1$$

Buradan yukardaki denklemler çözülerek katsayılar elde edilir.

$$H_1 = \frac{1}{4}(1-\zeta)^2(2+\zeta) \quad \text{veya} \quad \frac{1}{4}(2-3\zeta+\zeta^3)$$

$$H_2 = \frac{1}{4}(1-\zeta)^2(1+\zeta) \quad \text{veya} \quad \frac{1}{4}(1-\zeta-\zeta^2+\zeta^3)$$

$$H_3 = \frac{1}{4}(1+\zeta)^2(2-\zeta) \quad \text{veya} \quad \frac{1}{4}(2+3\zeta-\zeta^3)$$

$$H_4 = \frac{1}{4}(1+\zeta)^2(\zeta-1) \quad \text{veya} \quad \frac{1}{4}(-1-\zeta+\zeta^2+\zeta^3)$$

Hermit şekil fonksiyonları kullanılarak V yer değıştirmeleri

$$V(\zeta) = H_1 V_1 + H_2 \left(\frac{\partial V}{\partial \zeta} \right)_1 + H_3 V_2 + H_4 \left(\frac{\partial V}{\partial \zeta} \right)_2$$

formunda yazılır.

Koordinat dönüşümü aşağıdaki formüllerle sağlanır;

$$x = \frac{1-\zeta}{2} x_1 + \frac{1+\zeta}{2} x_2$$

$$x = \frac{x_1 + x_2}{2} + \frac{x_2 - x_1}{2} \zeta$$

Zincir kuralı uygulanarak

$$\frac{dV}{d\xi} = \frac{dV}{dx} \frac{dx}{d\xi}$$

dV / dx 1. ve 2. düğüm noktalarındaki q_2 ve q_4 için oluşturulur.

$$V(\xi) = H_1 q_1 + \frac{l}{2} H_2 q_2 + H_3 q_3 + \frac{l}{2} H_4 q_4$$

Vektörel olarak aşağıdaki gibi yazılır.

$$\{V\} = [H] \{q\} \quad (4.13)$$

$$[H] = \begin{bmatrix} H_1 & \frac{l}{2} H_2 & H_3 & \frac{l}{2} H_4 \end{bmatrix}$$

Eleman için şekil değiştirme enerjisi (4.14) bağıntısı ile elde edilir ;

$$U_e = \frac{1}{2} \int_0^l EI \left(\frac{d^2 V}{dx^2} \right) dx \quad (4.14)$$

eşitlikden

$$\frac{dV}{dx} = \frac{2}{l} \frac{dV}{d\xi} \quad \text{ve} \quad \frac{d^2 V}{dx^2} = \frac{4}{l^2} \frac{d^2 V}{d\xi^2}$$

(4.13) eşitliğini yerine koyarak

$$\left(\frac{d^2 V}{dx^2} \right)^2 = \{q\}^T \frac{16}{l^4} \left(\frac{d^2 H}{d\xi^2} \right)^T \left(\frac{d^2 H}{d\xi^2} \right) \{q\}$$

$$\left(\frac{d^2 H}{d\xi^2} \right) = \begin{bmatrix} \frac{3}{2} \zeta & \frac{-1+3\zeta}{2} \frac{l}{2} & -\frac{3}{2} \zeta & \frac{1+3\zeta}{2} \frac{l}{2} \end{bmatrix}$$

şekil değıştirme enerji bağıntısı aşağıdaki forma döner.

$$U_e = \int_0^l EI \{q\}^T \frac{16}{l^4} \left(\frac{d^2 H}{d\zeta^2} \right)^T \left(\frac{d^2 H}{d\zeta^2} \right) \{q\} d\zeta \quad (4.15)$$

Yukarıdaki (4.15) nolu bağıntıda $dx = (l/2)d\zeta$ yazılırsa aşağıdaki son şekli alır.

$$U_e = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 EI \{q\}^T \frac{16}{l^4} \begin{bmatrix} \frac{3}{2}\zeta \\ \frac{-1+3\zeta}{2} \frac{l}{2} \\ -\frac{3}{2}\zeta \\ \frac{1+3\zeta}{2} \frac{l}{2} \end{bmatrix} \left[\frac{3}{2}\zeta \quad \frac{-1+3\zeta}{2} \frac{l}{2} \quad -\frac{3}{2}\zeta \quad \frac{1+3\zeta}{2} \frac{l}{2} \right] \frac{l}{2} d\zeta \{q\}$$

Eleman şekil değıştirme enerjisi aşağıdaki forma getirilirse;

$$U_e = \frac{1}{2} \{q\}^T k^e \{q\} \quad (4.16)$$

$$U_e = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 EI \{q\}^T [A] d\zeta \{q\}$$

[A] matrisi aşağıda gösterildiği gibidir.

$$A = \begin{bmatrix} 18 \frac{\zeta^2}{l^3} & 3 \frac{\zeta}{l^2} (-1+3\zeta) & -18 \frac{\zeta^2}{l^3} & 3 \frac{\zeta}{l^2} (1+3\zeta) \\ 3 \frac{\zeta}{l^2} (-1+3\zeta) & \frac{1}{2l} (-1+3\zeta)^2 & -3 \frac{\zeta}{l^2} (-1+3\zeta) & \frac{1}{2l} (-1+3\zeta)(1+3\zeta) \\ -18 \frac{\zeta^2}{l^3} & -3 \frac{\zeta}{l^2} (-1+3\zeta) & 18 \frac{\zeta^2}{l^3} & -3 \frac{\zeta}{l^2} (1+3\zeta) \\ -3 \frac{\zeta}{l^2} (1+3\zeta) & \frac{1}{2l} (-1+3\zeta)(1+3\zeta) & -3 \frac{\zeta}{l^2} (1+3\zeta) & \frac{1}{2l} (1+3\zeta)^2 \end{bmatrix}$$

Matris içindeki her bir elemanı ζ 'ye göre integre edilirse;

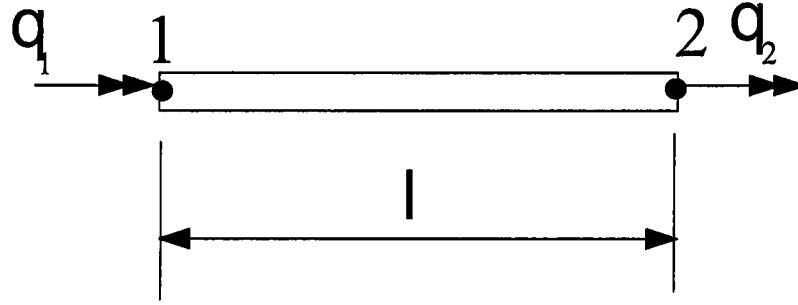
$$\int_{-1}^1 \zeta^2 d\zeta = \frac{2}{3} \quad \int_{-1}^1 \zeta d\zeta = 0 \quad \int_{-1}^1 d\zeta = 2$$

Bir eleman için eğilme rijitlik matrisi aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$k = EI \begin{bmatrix} \frac{12}{l^3} & \frac{6}{l^2} & -\frac{12}{l^3} & \frac{6}{l^2} \\ \frac{6}{l^2} & \frac{4}{l} & -\frac{6}{l^2} & \frac{2}{l} \\ -\frac{12}{l^3} & -\frac{6}{l^2} & \frac{12}{l^3} & -\frac{6}{l^2} \\ \frac{6}{l^2} & \frac{2}{l} & -\frac{6}{l^2} & \frac{4}{l} \end{bmatrix} \quad (4.17)$$

Eğilme iki farklı atalet ekseninde olduğundan x ve y eksenleri için k eleman rijitlik matrisi ayrı ayrı global rijitlik matrisinde yerine yazılmaktadır.

4.2.4 Burulma Yer Değiştirmesinin Etkisi



Şekil 4. 12 Burulma elemanı

Burulma elemanı için rijitlik matrisi (4.18) daki gibi elde edilir.

$$k = \frac{GJ}{l} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.18)$$

4.3 Kütle Matrislerinin Elde Edilmesi

Katı bir gövde için kinetik enerji (4.19) formülü ile elde edilir;

$$T = \frac{1}{2} \int_V \left\{ \dot{U} \right\}^T \left\{ \dot{U} \right\} \rho dV \quad (4.19)$$

$\dot{U}$: x noktasındaki hız vektörü

$$\{\dot{U}\} = \{\dot{u} \quad \dot{v} \quad \dot{w}\}^T$$

Sonlu eleman metodunda gövdeyi elemanlara bölüp Şekil fonksiyonları kullanılarak düğüm noktalarının yer değiştirmeleri genelleştirilmiş koordinatlara (q) göre ifade edilebilir.

$$\{u\} = [N] \{q\}$$

hız bağıntısı da aynı şekilde yazılabilir,

$$\{\dot{U}\} = [N] \{\dot{q}\}$$

$$T_e = \frac{1}{2} \left\{ \dot{q} \right\}^T \left[\int_e [N]^T [N] \rho dV \right] \left\{ \dot{q} \right\}$$

.Eleman kütle matrisi

$$m^e = \int_e \rho [N]^T [N] dV \quad (4.20)$$

olarak elde edilir.

4.3.1 Boyuna Titreşimden Oluşan Kütle Matrisi

Boyuna yer değiştirme için genelleştirilmiş koordinatlar ve şekil fonksiyonları matris formunda aşağıdaki gibi yazılır,

$$m = \int_e \rho [N]^T [N] dV$$

$$\{q\}^T = \{q_1 \ q_2\}$$

$$[N] = [N_1 \ N_2]$$

$$N_1(\zeta) = \frac{1-\zeta}{2}$$

$$N_2(\zeta) = \frac{1+\zeta}{2}$$

$dV = A \, dx$ ve $dx = (l/2) \, d\zeta$ olduğu göz önüne alınırsa aşağıdaki sonuca varılır.

$$m^e = \int_{-1}^1 \rho \begin{bmatrix} \frac{1-\zeta}{2} \\ \frac{1+\zeta}{2} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \frac{1-\zeta}{2} & \frac{1+\zeta}{2} \end{bmatrix} A_e \frac{l}{2} d\zeta$$

Burada ζ 'ye göre integre edersek kütle matrisini (4.21) de ki gibi buluruz.

$$m = \frac{\rho A l}{6} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \quad (4.21)$$

4.3.2 Eğilmeden Dolayı Meydana Gelen Kütle Matrisi

Eğilme elemanı için rijitlik matrisinin oluşturulmasında kübik şekil fonksiyonları kullanılarak kütle matrisi elde edilir,

$$\{V\} = [H] \{q\}$$

$$m = \int_{-1}^1 [H]^T [H] \rho A \frac{l}{2} d\zeta$$

$$m = \int_{-1}^1 \begin{bmatrix} \frac{1}{4}(2-3\zeta+\zeta^3) \\ \frac{1}{4}(1-\zeta-\zeta^2+\zeta^3)\frac{l}{2} \\ \frac{1}{4}(2+3\zeta-\zeta^3) \\ \frac{1}{4}(1-\zeta-\zeta^2+\zeta^3)\frac{l}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{4}(2-3\zeta+\zeta^3) & \frac{1}{4}(1-\zeta-\zeta^2+\zeta^3)\frac{l}{2} & \frac{1}{4}(2+3\zeta-\zeta^3) & \frac{1}{4}(1-\zeta-\zeta^2+\zeta^3)\frac{l}{2} \end{bmatrix} \frac{l}{2} \rho A d\zeta$$

Eğilmeden dolayı meydana gelen kütle matrisi aşağıdaki şekilde elde edilmiş olur.

$$m = \rho \begin{bmatrix} \frac{13}{35}lA & \frac{11}{210}l^2A & \frac{9}{70}lA & -\frac{13}{420}l^2A \\ \frac{11}{210}l^2A & \frac{1}{105}l^3A & \frac{13}{420}l^2A & -\frac{1}{140}l^3A \\ \frac{9}{70}lA & \frac{13}{420}l^2A & \frac{13}{35}lA & -\frac{11}{210}l^2A \\ -\frac{13}{420}l^2A & -\frac{1}{140}l^3A & -\frac{11}{210}l^2A & \frac{1}{105}l^3A \end{bmatrix} \quad (4.22)$$

4.3.3 Burulmadan Dolayı Gelen Kütle Matrisi

Boyuna yer değıştirmeden meydana gelen kütle matrisinin elde edilişindeki aynı yol izlenerek kütle matrisi

$$m = \frac{Jl}{6} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}$$

olarak elde edilir.

4.4 Eleman İçin Toplam Kütle Matrisi

Her bir deformasyon için ayrı ayrı elde edilen kütle ve rijitlik matrisleri Şekil 3.2 deki numaralandırmaya göre ana matrise monte edilir

$$= \begin{bmatrix} \frac{156\rho Al}{420} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{22\rho Al^2}{420} & \frac{54\rho Al}{420} & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{13\rho Al^2}{420} \\ 0 & \frac{2\rho Al}{6} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\rho Al}{6} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{156\rho Al}{420} & \frac{22\rho Al^2}{420} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{54\rho Al}{420} & -\frac{13\rho Al^2}{420} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{22\rho Al^2}{420} & \frac{4\rho Al^3}{420} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{13\rho Al^2}{420} & -\frac{3\rho Al^3}{420} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{2Jl}{6} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{2Jl}{6} & 0 \\ \frac{22\rho Al^2}{420} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{4\rho Al^3}{420} & \frac{13\rho Al^2}{420} & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{3\rho Al^3}{420} \\ \frac{54\rho Al}{420} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{13\rho Al^2}{420} & \frac{156\rho Al}{420} & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{22\rho Al^2}{420} \\ 0 & \frac{2\rho Al}{6} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\rho Al}{6} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{54\rho Al}{420} & \frac{13\rho Al^2}{420} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{156\rho Al}{420} & -\frac{22\rho Al^2}{420} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{13\rho Al^2}{420} & -\frac{3\rho Al^3}{420} & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{22\rho Al^2}{420} & \frac{4\rho Al^3}{420} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{2Jl}{6} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{Jl}{6} & 0 \\ -\frac{13\rho Al^2}{420} & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{3\rho Al^3}{420} & -\frac{22\rho Al^2}{420} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{4\rho Al^3}{420} \end{bmatrix}$$

4.5 Eleman İçin Toplam Rijitlik Matrisi

$$k = \begin{bmatrix} \frac{EI_{yy}}{L^3} & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{EI_{yy}}{L^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{EI_{yy}}{L^2} \\ 0 & \frac{AE}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{EI_{zz}}{L^3} & \frac{EI_{zz}}{L^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{EI_{zz}}{L^3} & \frac{EI_{zz}}{L^2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{EI_{zz}}{L^2} & \frac{EI_{zz}}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{EI_{zz}}{L^2} & \frac{EI_{zz}}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{GJ}{L} & 0 \\ -\frac{EI_{yy}}{L^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{EI_{yy}}{L} & \frac{EI_{yy}}{L^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{EI_{yy}}{L} \\ -\frac{EI_{yy}}{L^3} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{EI_{yy}}{L} & \frac{EI_{yy}}{L^3} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{EI_{yy}}{L^2} \\ 0 & -\frac{AE}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{AE}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{EI_{zz}}{L^3} & -\frac{EI_{zz}}{L^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{EI_{zz}}{L^3} & -\frac{EI_{zz}}{L^2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{EI_{zz}}{L^2} & \frac{EI_{zz}}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{EI_{zz}}{L^2} & \frac{EI_{zz}}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{GJ}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 \\ -\frac{EI_{yy}}{L^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{EI_{yy}}{L} & \frac{EI_{yy}}{L^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{EI_{yy}}{L} \end{bmatrix}$$

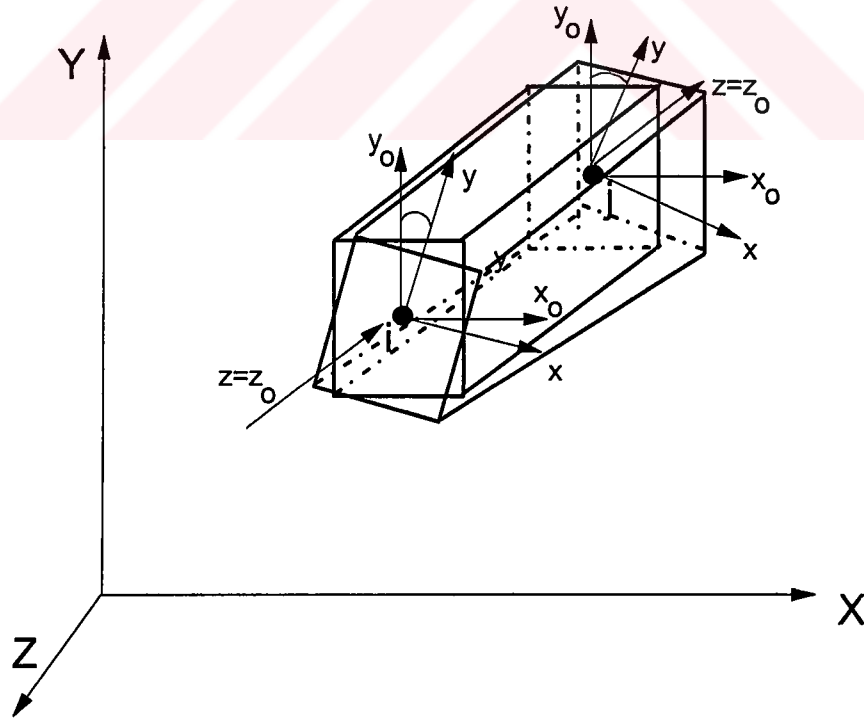
4.6 Eksen Takımlarının Transformasyonu

Önceki bölümlerde karkas yapıda kullanılan kiriş eleman için rijitlik ve kütle matrisi oluşturuldu. Takip eden bölümde, global ve lokal koordinatlar arasında dönüşümü sağlayacak transformasyon matrisi oluşturuldu. Sonlu elemanlar modelinin oluşturulması sırasında izlenen yol;

- Eleman bağlantılılık tablosu oluşturulur.
- Her bir eleman için atalet, alan ve doğrultu cosinüsleri bu tablodan hesaplanır
- Lokal ve global koordinatlar arasında transformasyon yapılır.
- Global kütle ve rijitlik matrisinde bağlantılılık tablosuna göre yerine konulur.

olarak kısaca yazılabilir.

Çubuğun atalet eksenleri (x ve y), kiriş boyu eksen (z) etrafında 360° dönerek herhangi bir konumda olabilir. Bu durumda eksen takımlarının transformasyonu gereklidir. Kiriş için, sabit bir eksen takımı (özel eksen takımı) tanımlanarak global ve lokal eksen takımı arasında transformasyonu için kullanılır. Özel eksen takımı, çubuğun x ekseninin global XZ düzlemine paralel olduğu durumdaki eksen takımıdır.



Şekil 4.13 Eksen takımları

XYZ : Global eksen takımları

xyz : Kiriş eksenleri

$x_0y_0z_0$: Özel kiriş eksenleri

XYZ sabit global eksenler alınarak her kiriş için farklı doğrultuda olabilecek xyz kiriş eksenlerinin doğrultu kosinüsleri hesaplanır. Doğrultu kosinüsleri , bir doğrultunun verilen bir eksen takımına göre eğriliğini ifade eder. Doğrultu kosinüsleri kiriş uç koordinatlarını kullanarak yapılan hesaplar neticesinde elde edilir. Bir uzay çubuğunun dokuz doğrultu kosinüsü vardır ve bu dokuz değer birbirinden bağımsız değildir.

$$[t] = \begin{bmatrix} l_x & l_y & l_z \\ m_x & m_y & m_z \\ n_x & n_y & n_z \end{bmatrix} \quad (4.23)$$

Lokal ve global eksen takımı arasındaki dönüşüm (4.24) denklemi ile yapılır

$$\{d\}_{XYZ} = [t]\{d\}_{xyz} \quad (4.24)$$

Yapılacak işlem sırasına göre;

- Çubuğun boyuna ekseninin l_x, m_x, n_x doğrultu kosinüsleri, çubuğun i ve j uçlarının koordinatları vasıtasıyla bulunur.

$$l_x = \frac{X_j - X_i}{L} ; m_x = \frac{Y_j - Y_i}{L} ; n_x = \frac{Z_j - Z_i}{L} \quad (4.25)$$

Kiriş boyu,

$$L = \sqrt{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2 + (Z_j - Z_i)^2} \quad (4.26)$$

- Eleman matrisi önce kiriş eksenlerinden , özel kiriş eksenlerine, daha sonrada özel kiriş eksenlerinden global eksenlere transfer edilir.

$$\{d\}_{xyz} = [t_1]\{d\}_{x_0y_0z_0}$$

$[t_1]$ matrisi kiriş eksenlerinin özel kiriş eksenlerine göre doğrultu kosinüsleri matrisidir. β açısı yardımıyla;

$$[t_1] = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} \quad (4.27)$$

bulunur.

β açısı ; Bir çubuğun doğrultu kosinüsleri matrisini bulmak için uçlarındaki koordinata ilaveten bir de β atalet eksenleri açısını vermek gerekir. Bu açı ; xyz kiriş eksen takımı y eksenini etrafında x eksenini XY global eksen yüzeyine paralel olduğundaki kiriş eksen takımına $x_0y_0z_0$ özel kiriş eksenleri takımı denir. z_0 ve z eksenleri arasındaki açı bize β yı verir.

özel kiriş eksenlerindeki bileşenler son olarak global eksenlere transforme edilir. Özel eksenlerin global eksenlere göre doğrultu kosinüslerini kapsayan matrise $[t_2]$ dersek ;

$$\{d\}_{xyz} = [t_2] \{d\}_{x_0y_0z_0} \quad (4.28)$$

z_0 eksenini daima XY düzlemine paraleldir dolayısıyla $n_z = 0$ dır. Öte yandan doğrultu kosinüsleri birbirlerinden tamamen bağımsız değildirler. Aralarında ortogonalite(birbirlerine diklik) ve normalite(birim büyüklükte olma) şartlarını sağlamalıdır

Ortogonalite şartından;

$$l_x l_z + m_x m_z + n_x n_z = 0$$

$$l_x l_y + m_x m_y + n_x n_y = 0 \quad (4.29)$$

$$l_z l_y + m_z m_y + n_z n_y = 0$$

ve normalite şartından;

$$l_x^2 + m_x^2 + n_x^2 = 1$$

$$l_z^2 + m_z^2 + n_z^2 = 1 \quad (4.30)$$

$$l_z^2 + m_z^2 + n_z^2 = 1$$

denklemler çözülürse;

$$[t_2] = \begin{bmatrix} l_x & l_y & l_z \\ m_x & m_y & m_z \\ n_x & n_y & n_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{m_x}{Q} & -\frac{l_x}{Q} & 0 \\ l_x & m_x & n_x \\ -\frac{l_x n_x}{Q^2} & -\frac{m_x n_x}{Q} & Q \end{bmatrix} \quad (4.31)$$

$$[t] = [t_1][t_2] = \begin{bmatrix} \frac{m_x a - l_x n_x b}{Q^2} & \frac{-l_x a + m_x n_x b}{Q^2} & b \\ l_x & m_x & n_x \\ \frac{-l_x n_x a + m_x b}{Q^2} & \frac{-l_x b + m_x n_x a}{Q^2} & a \end{bmatrix}_{\beta \neq 0} \quad (4.32)$$

$$a = Q \cos \beta$$

$$b = -Q \sin \beta$$

$$Q = +\sqrt{1 - n_x^2}$$

eğer giriş eksenleri özel giriş eksenleri ile çakışıyorsa $\beta = 0^\circ$

$$a = Q, b = 0, [t] = [t_2]$$

$$\{d\}_{XYZ_{(12x1)}} = [T]_{12x12} \{d\}_{xyz_{(12x1)}}$$

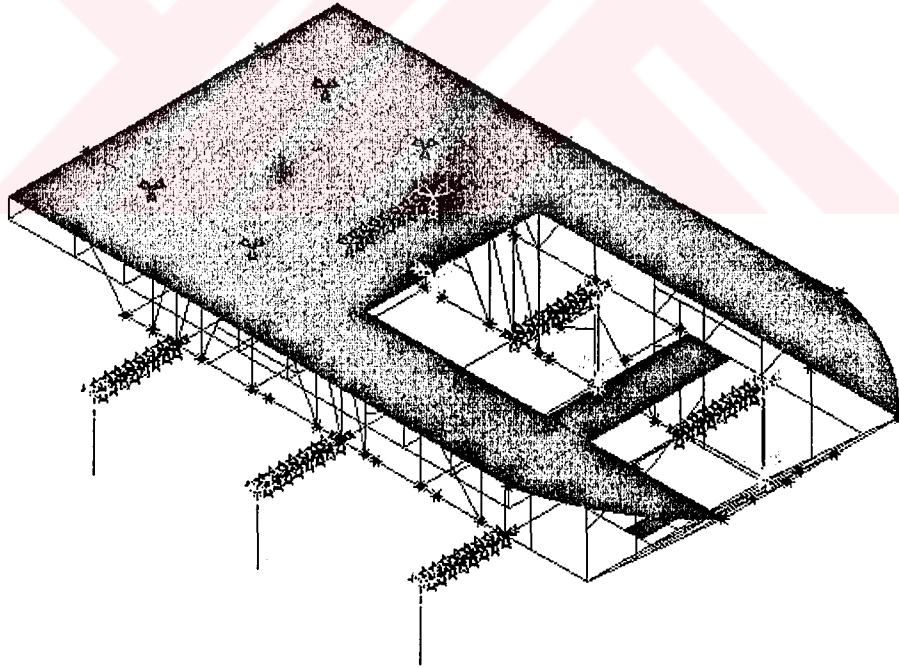
$$[T] = \begin{bmatrix} [t] & 0 & 0 & 0 \\ 0 & [t] & 0 & 0 \\ 0 & 0 & [t] & 0 \\ 0 & 0 & 0 & [t] \end{bmatrix}_{12x12}$$

5 ALTI TEKERLEKLİ ASKERİ TAŞITIN SONLU ELEMANLAR MODELİNİN PAKET PROGRAM (ANSYS) İLE OLUŞTURULMASI

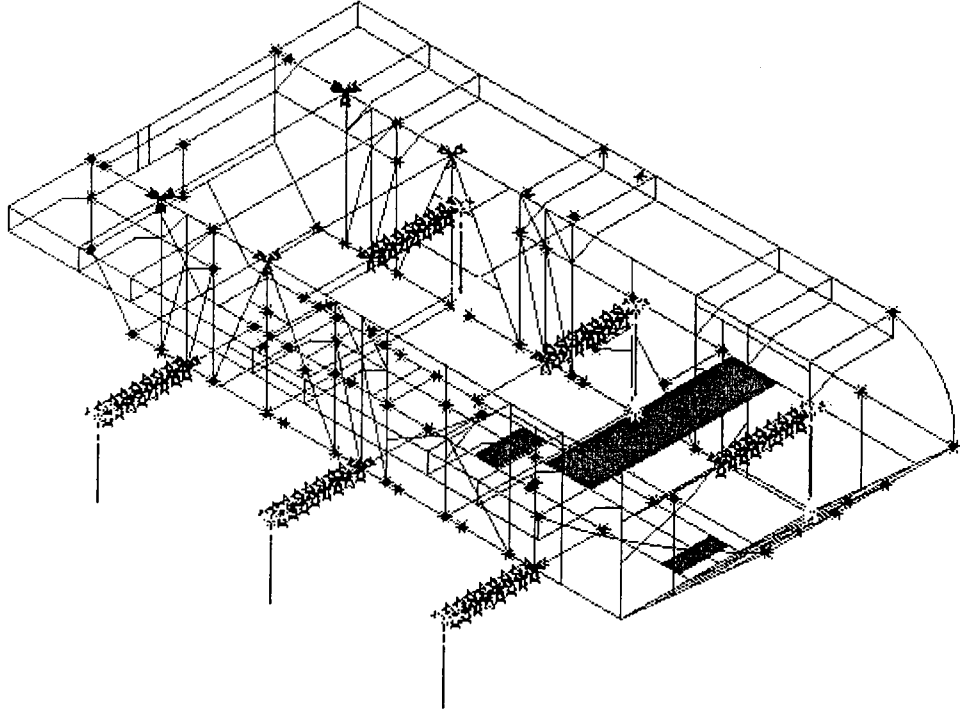
Taşıtın sonlu elemanlar modeli Ansys hazır paket programında makro yazılarak oluşturuldu. Taşıt çeşitli profillerdeki kirişlerden ve bunları kaplayan plakalardan oluşmaktadır. Taşıtta taşıyıcı elemanlar, kirişler ve üst plaka olduğundan modellemeye bunlar göz önüne alınmıştır. Kirişler için Beam188, plaka için Shell63 elemanı kullanıldı. Kiriş elemanlar parametrik olup, kiriş boyutları değişken olarak girilebilmektedir. Tekerlekler yay ve sönüm elemanı olarak, akslarda rijit olarak modellendi. Taşıtın uygun yerlerine, deneylerle elde edilen ağırlık merkezini verecek şekilde kütleler konuldu. Bu kütleler konulurken taşıt üzerine monte edilen parçaların asıl yerleri esas alındı(Akü,benzin deposu vb.).

5.1 Altı Tekerlekli Askeri Anfibik Taşıtın Sonlu Elemanlar Modeli

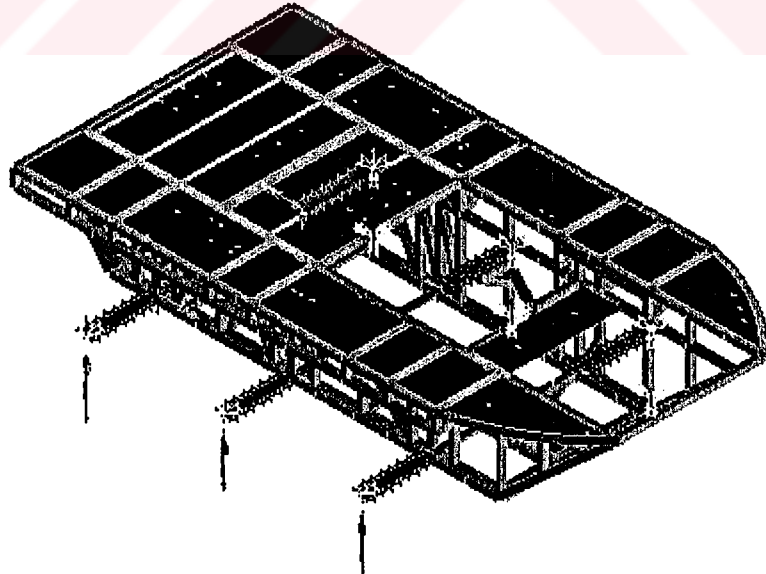
Bu modeldeki kiriş eleman sayısı (Beam188) 12446, kabuk eleman sayısı (Shell63) 48940, tekerlekleri ifade eden yay eleman sayısı(Combin14) 6, kütleleri ifade eden eleman (Mass21) 163 adet olup sistem toplam olarak 368485 serbestlik derecesine sahiptir.



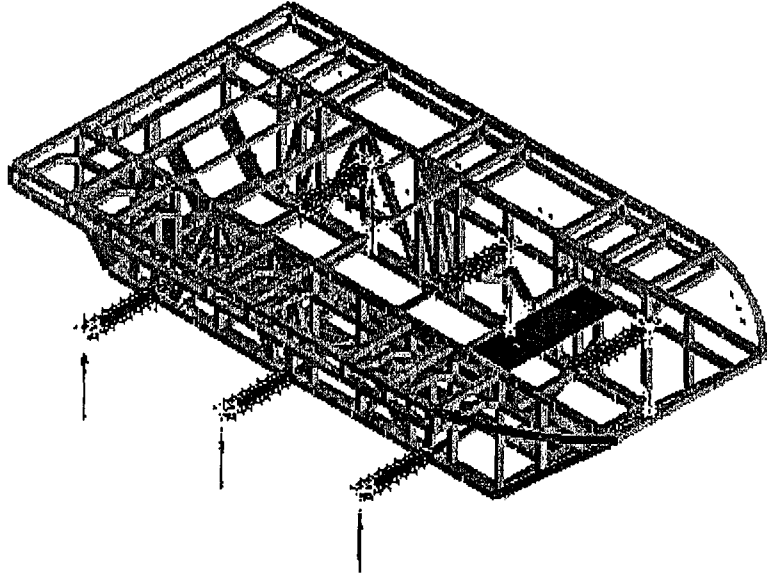
Şekil 5.1 Altı tekerlekli askeri anfibik taşıt sonlu eleman modeli



Şekil 5.2 Altı tekerlekli askeri anfibik taşıtın iç yapısının görünüşü



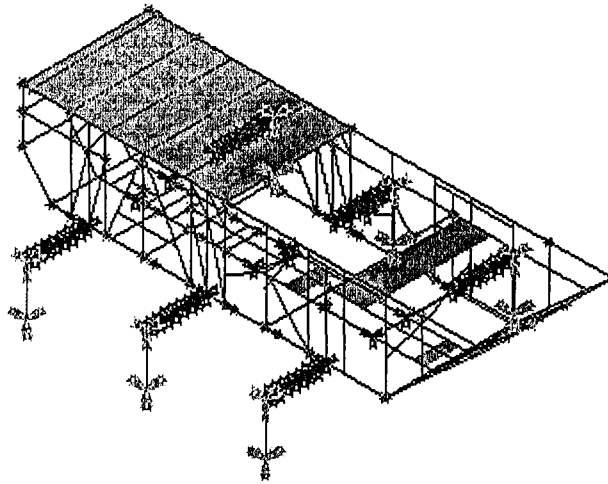
Şekil 5.3 Altı tekerlekli askeri anfibik taşıtın eleman kesit görünüşleri



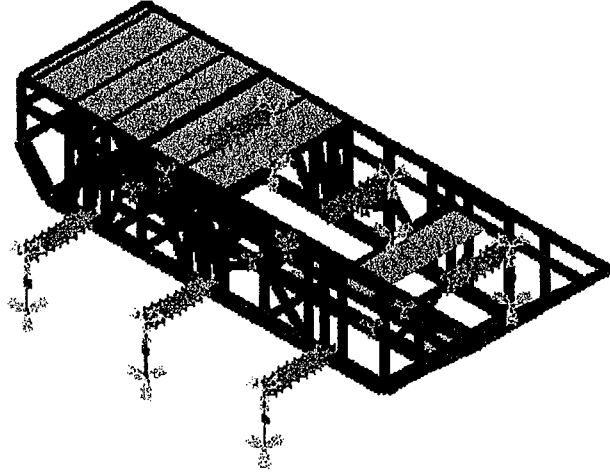
Şekil 5.4 Altı tekerlekli askeri anfibik taşıtın üst plakasız eleman kesit görünüşü

5.2 Altı Tekerlekli Askeri Anfibik Olmayan Taşıtın Sonlu Elemanlar Modeli

Bu modeldeki kiriş eleman sayısı (Beam188) 9286, kabuk eleman sayısı (Shell63) 17950, tekerlekleri ifade eden yay eleman sayısı(Combin14) 6, kütleleri ifade eden eleman (Mass21) 99 adet olup sistem toplam olarak 163521 serbestlik derecesine sahiptir.



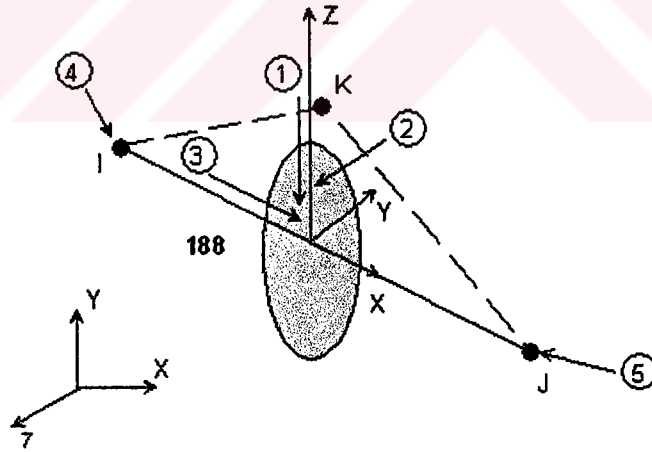
Şekil 5.5 Altı tekerlekli askeri anfibik olmayan taşıtın sonlu elemanlar modeli



Şekil 5.6 Altı tekerlekli askeri anfibi olmayan taşıtın elemanların profil şekli

5.3 Eleman Özellikleri

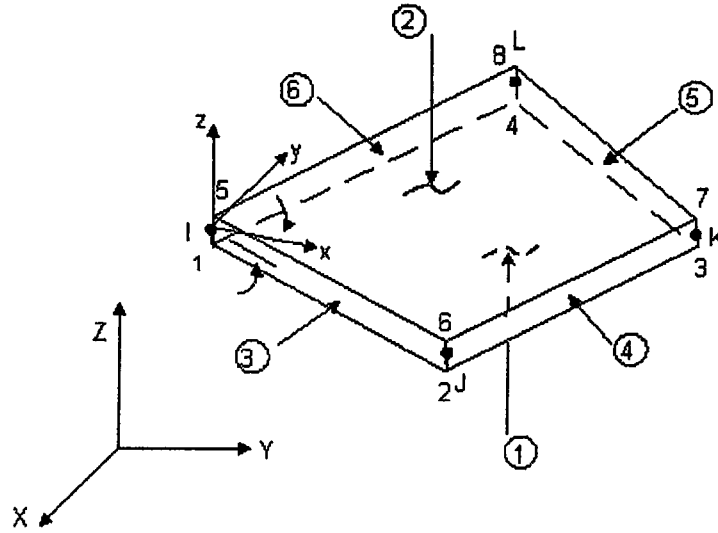
5.3.1 Beam 188



Şekil 5.7 Beam188 eleman

ANSYS eleman kütüphanesinde bulunan bu eleman lineer olup iki nodludur. Her bir nodunda altı serbestlik dereceli olup toplam oniki serbestlik derecelidir. Timoshenko kiriş teorisine dayanmaktadır ve parametrik kesitlidir. Kesme deformasyonları da hesaba katılmaktadır. Eleman için çeşitli profiller tanımlanabilmektedir (U profil, L profil vb.) .

5.3.2 Shell 63



Şekil 5.8 Shell 63 eleman koordinat sistemi

Eleman dört düğüm noktasına sahip olup her bir düğüm noktasında x,y ve z yönlerinde eksen yönünde ve dönme olmak üzere altı serbestlik derecesine sahiptir. Eleman hem eğilme hem membran özelliklerine sahiptir. Düzlemdeki ve düşey yöndeki yükleri taşıyabilmektedir.

6 FREKANS ANALİZİ

Bu bölümde altı tekerlekleğinde tahrikli anfibik ve anfibik olmayan askeri taşıtın yüklü, yüksüz halleri için frekans analizi teorik olarak elde edildi. Teoride Bölüm 4 de elde edilen rijitlik ve kütle matrisleri kullanılarak MATLAB de program yazıldı. Daha ileriki analizlerde kullanılmak üzere ANSYS de hazırlanan modelde de frekans analizi gerçekleştirildi. Anfibik askeri taşıt yüklü ve yüksüz durumda deneysel olarak incelendi. Sonuçlar karşılaştırılarak modelin doğrulanması sağlandı.

Bir dinamik sistemin doğal frekanslarının ve mod şekillerinin bulunması veya diğer adıyla frekans analizi, yapının dinamik karakteristiklerini ortaya koyması, dinamik yükler altında nasıl bir cevap vereceğinin belirlenmesi açısından önemlidir.

Bu dinamik karakteristikler yapının üzerine gelecek dinamik yüklere karşı nasıl cevap vereceğini ve hareket edeceğini belirler. Bu analizler sonucunda elde edilen modlar incelenerek taşıtın esnek kısımları görülebilir ve bir takım takviyelerle veya o bölgedeki yapısal olmayan kütleler azaltılmak suretiyle dinamik karakteristiklerde iyileştirmelere gidilebilir.

Anfibik ve Anfibik olmayan taşıta ait frekans değerleri sonuçlar kısmında verildi. Anfibik taşıta ait yüklü, yüksüz durumları için mod şekilleri **Ek.11** ve **Ek. 12** da, Anfibik olmayan taşıta ait yüklü ve yüksüz durumları için mod şekilleri **Ek.13** ve **Ek. 14** de verildi.

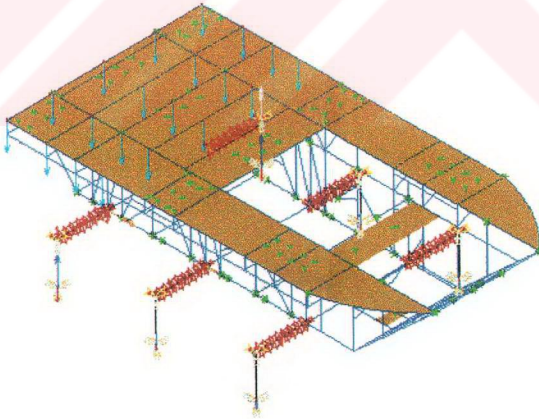
7 ALTI TEKERLEKLİ ASKERİ TAŞITIN HAVAN SİLAHI ATIŞI DURUMUNDA KARKAS YAPIDA GERİLME ANALİZİ

Sonlu elemanlar metodu, modellemede sağladığı esnekliklerle gerilme analizinde yaygın olarak kullanılan metoddur. Geliştirilen yazılımlar metodun problemlere tatbikini kolaylaştırmıştır. Gerçek sistemin özelliklerine uygun modelleme yapıldığında metod hızlı ve güvenilir yardımcıdır.

Gerilme analizinde doğal frekans analizinde kullanılan ve deneylerle doğrulanan matematiksel model kullanıldı. Yükleme durumu için taşıtın maruz kaldığı maksimum kuvvetin statik olarak etki ettirilmesi sonucu taşıt yapısında oluşan gerilemeler ve yapının emniyetli olup olmadığı incelenmiştir.

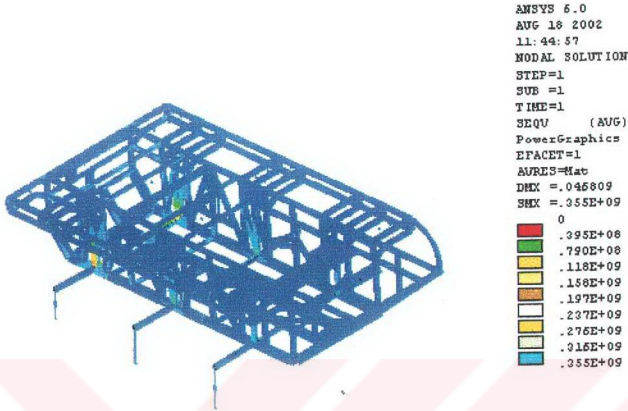
7.1 Havan silahı Atışı İçin Model Oluşturma

Havan silahı atışı simülasyonu Ansys hazır paket programı ile yapılmıştır. Atış sırasında oluşan geri tepme kuvveti 360000 N değerindedir. Havan namlusunun yatayla 85° lik açı yapması durumunda taşıta bu kuvvetin düşey olarak maksimum değeri etki etmektedir. Atış platformu taşıtın üzerine sonradan monte edilmekte olup, oluşan geri tepme kuvveti platform ile temas noktalarına etki ettirildi.(Şekil 7.1)

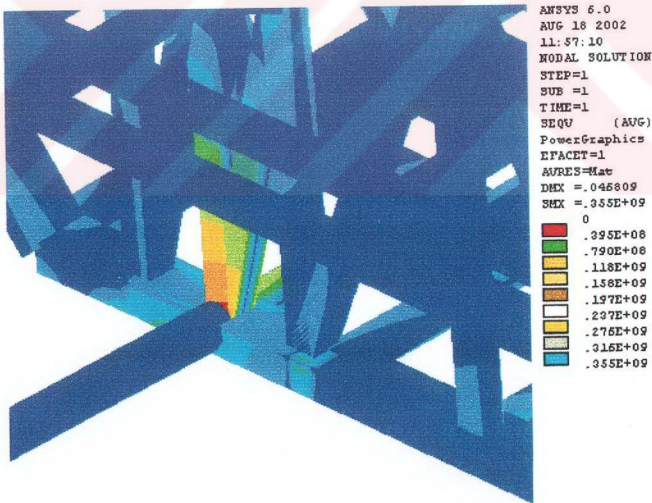


Şekil 7.1 Havan silahı atışı için yükleme durumu

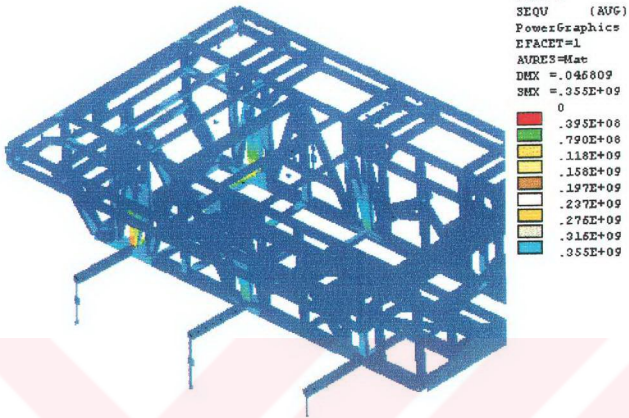
Yükleme sonucu oluşan gerilme dağılımı Şekil 7.2 de ki gibidir.



Şekil 7.2 Atış sonucu yapıda oluşan gerilme dağılımı



Şekil 7.3 Arka sağ tekerlek bölgesinde oluşan gerilme dağılımı



Şekil 7.4 Gerilme dağılımı



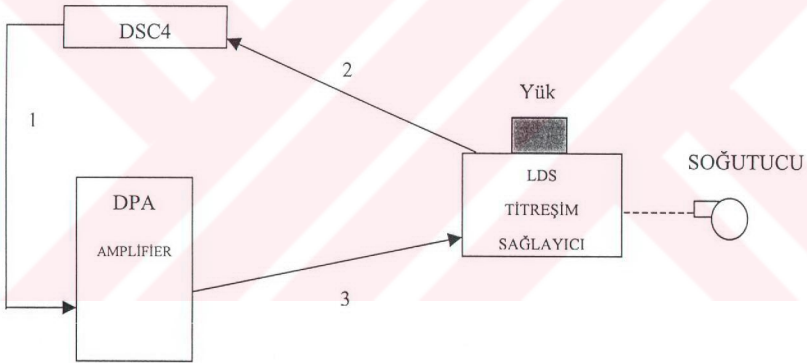
Şekil 7.5 Üst plakada oluşan eş değer gerilme dağılımı

8 DENEYLER

Sistemlerin matematik modeli yapılırken, çok fazla parametre içermelerinden dolayı birebir modelleme yapmak mümkün olmamaktadır. Bu durumda sistemi karakteristik olarak en iyi temsil edebilecek parametrelerin seçilip en uygun matematik modelin geliştirilmesi gerekmektedir. Elde edilen model sonucunda oluşan diferansiyel denklemler çeşitli sınır şartları için çözülerek sistemin davranışı simüle edilmeye çalışılır. Diferansiyel denklemlerin çözülmesinde de nümerik yöntemler kullanılmakta olup hata payı içermektedir.

DeneySEL çalışmalar olayın fizikiğini tam olarak yansıtacağından nümerik hesaplamaların ve matematik modelin kontrolü için oldukça önemlidir. DeneySEL çalışmalar da kendi içinde hata payı içermektedirler. Bu hatalar, kişisel, kullanılan aletler ve çevre şartlarına bağlı olmaktadır

8.1 Sinüs Süpürmesi (Sine – swept)

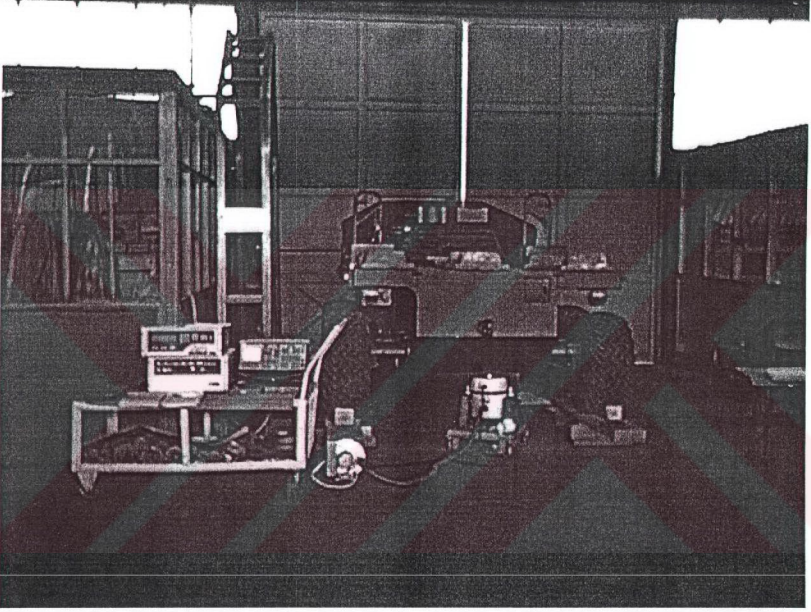


Şekil 8.1 Deney tesisatı

- 1: Güçlendirici giriş sinyali
- 2: Yük üzerindeki transducerden gelen tek kanal kontrol sinyali
- 3: Bağlantı sinyalleri

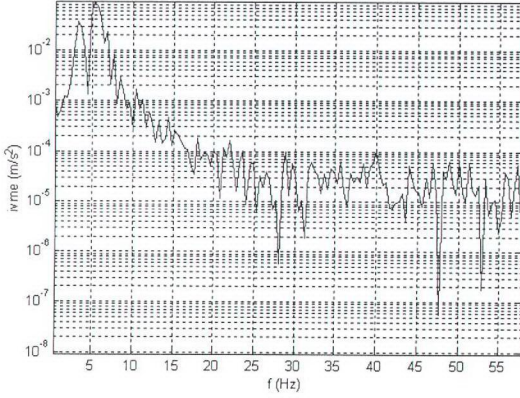
Oluşturulan deney düzeneğiyle, sisteme 1-20 Hz frekansları arasında değişen harmonik kuvvet uygulanmıştır. Sistemin frekans düzleminde ve zaman düzleminde titreşim cevapları BK 2515 Titreşim analizörü ile kaydedilerek frekans spektrumu ve titreşim grafikleri elde edilmiştir.

8.1.1 Altı Tekerlekli Askeri Taşıt Yüklü Durumda

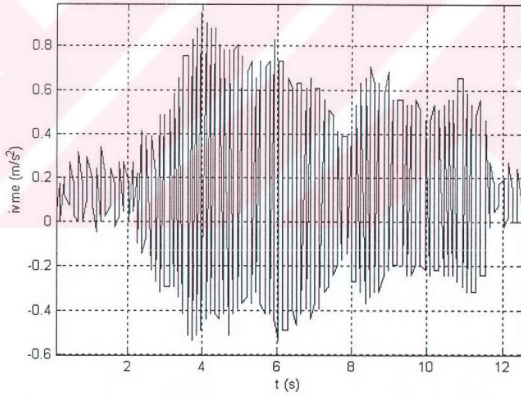


Şekil 8.2 Altı tekerlekli askeri taşıt yüklü durumda deney tesisatı

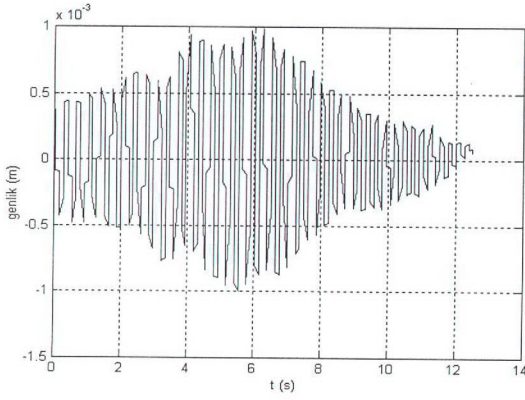
Yüklü durum için olan deneysel çalışmada, sistemin ağırlık merkezini verecek şekilde belirli noktalarına kurşun bloklar (4560 N) konularak yüklü taşıtın doğal frekansları elde edilmiştir.



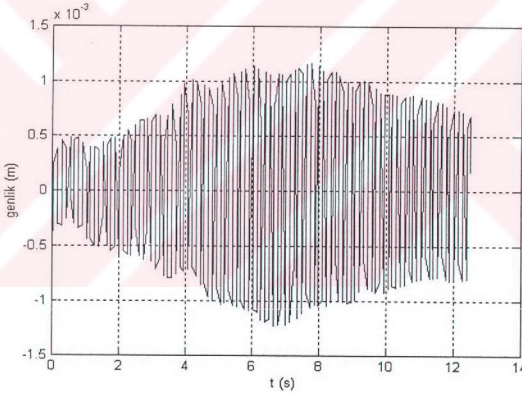
Şekil 8.3 Altı tekerlekli yüklü askeri anfibik taşıtın frekans cevabı(ölçüm yeri, karkas yapı arka kısmından, düşey yönde)



Şekil 8.4 Zaman düzleminde 1-20 Hz frekans aralığında değişen harmonik kuvvet için askeri taşıtın titreşim cevapları(ölçüm yeri, karkas yapı arka kısmından, düşey yönde)

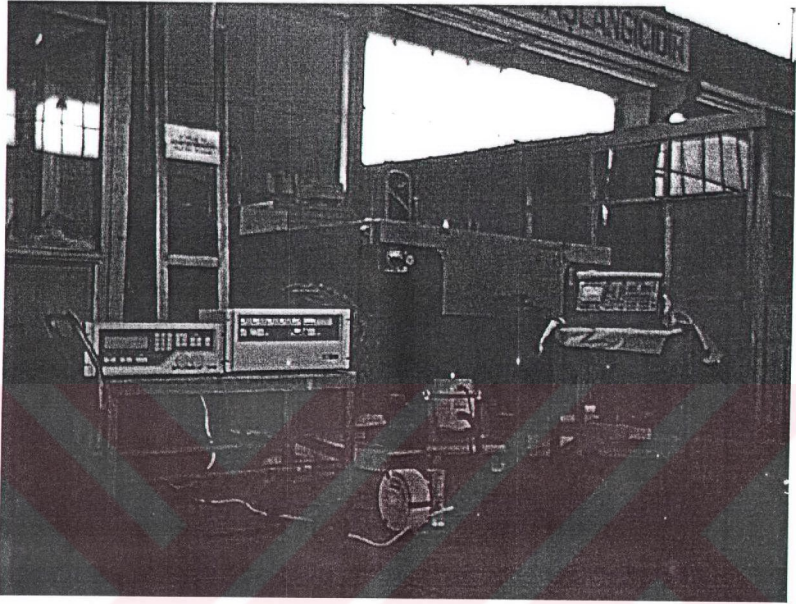


Şekil 8.5 2.8-3.6 Hz aralığında değişen harmonik kuvvet için askeri taşıtın titreşim cevapları (ölçüm yeri, karkas yapı arka kısmından, düşey yönde)

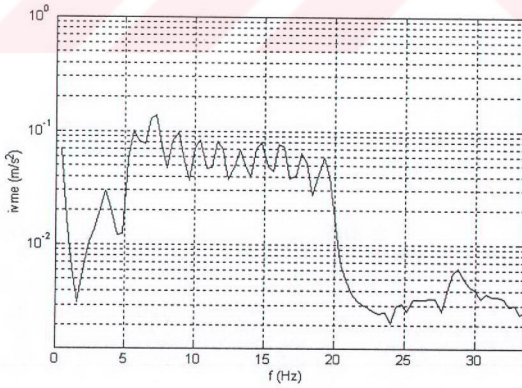


Şekil 8.6 5-6.2 Hz aralığında değişen harmonik kuvvet için askeri taşıtın titreşim cevapları (ölçüm yeri, karkas yapı arka kısmından, düşey yönde)

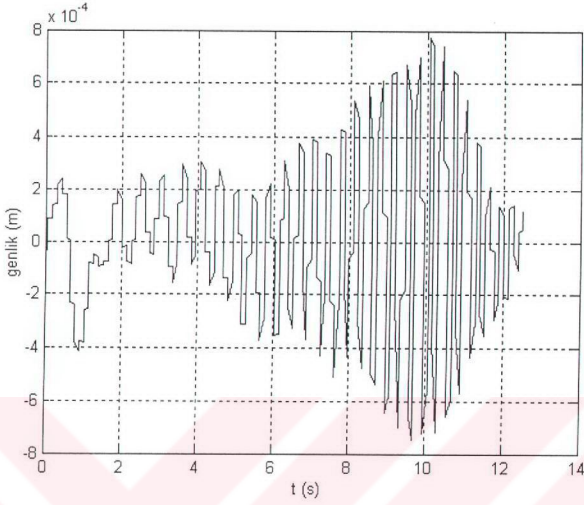
8.1.2 Altı Tekerlekli Askeri Anfibik Taşıt Yüksüz Durumda



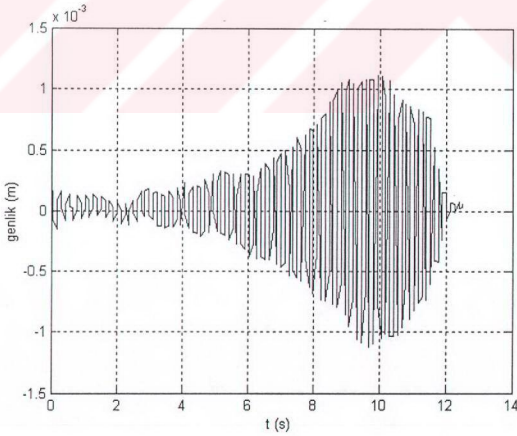
Şekil 8.7 Altı tekerlekli yüksüz askeri anfibik taşıt deney tesisatı



Şekil 8.8 Altı tekerlekli yüksüz askeri anfibik taşıtın frekans cevabı(ölçüm yeri, karkas yapı arka kısmından, düşey yönde)

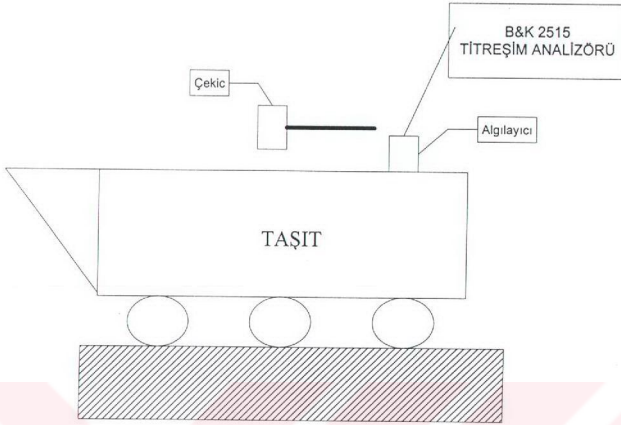


Şekil 8.9 1-4. Hz aralığında aralığında değişen harmonik kuvvet için askeri taşıtın titreşim cevapları(ölçüm yeri, karkas yapı arka kısmından, düşey yönde)



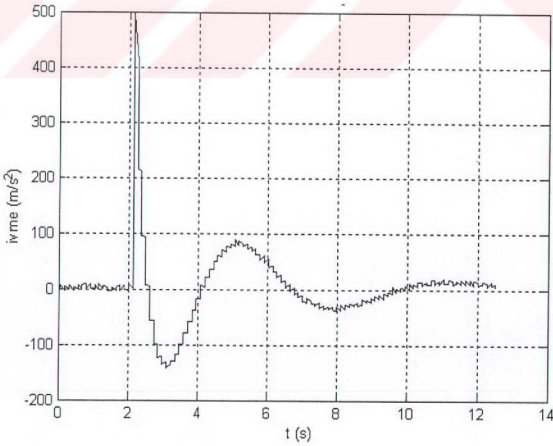
Şekil 8.10 4-6 Hz aralığında değişen harmonik kuvvet için askeri taşıtın titreşim cevapları(ölçüm yeri, karkas yapı arka kısmından, düşey yönde)

8.2 Darbe Yöntemi ile Frekans Analizi

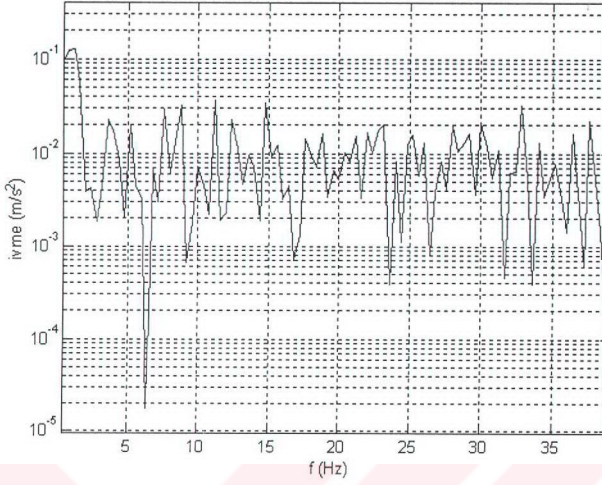


Şekil 8.11 Darbe yöntemi deney düzeneği

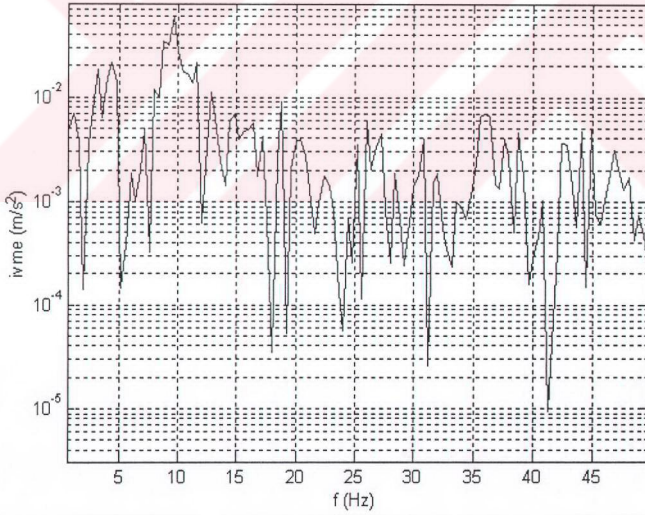
Darbe yönteminde, sisteme çekiçle darbe kuvveti verilerek, titreşim cevabı frekans düzleminde BK 2515 Titreşim Analizörüyle ölçüldü.



Şekil 8.12 Darbe sonucu taşıtın zaman düzleminde titreşim cevapları



Şekil 8.13 Yüksüz Anfibik Taşıtın frekans cevabı (ölçüm yeri, karkas yapı ön kısmından, düşey yönde)



Şekil 8.14 Yüklü Anfibik Taşıtın frekans cevabı (ölçüm yeri, karkas yapı arka kısmından, düşey yönde)

8.3 Tek Engelli Yolda Giden Altı Tekerlekli Taşıtın Darbe Cevaplarının Deneysel Olarak Elde Edilmesi

Seyir durumunda taşıt titreşim cevabını ölçmek için çeşitli yol profilleri hazırlanmıştır. Darbe etkilerinin sonucu oluşan Altı tekerlekli taşıtın titreşimlerini ölçmek için yolda $h \times b = 50 \times 100$ lük bir engel oluşturularak çeşitli hızlarda (10,20 km/h) bu engel üzerinden geçilmiştir. Bu esnada oluşan taşıt titreşimleri şoför koltuğunun altında bulunan profilden, zaman düzleminde, B&K 2515 Titreşim Analizörü ile ölçülmüştür. Ölçümler engel varken ve yok iken alınmıştır. Ölçümler sonucunda çeşitli hızlarda aşırı titreşimlerin olduğu görülmüştür. Ölçüm verilerine, wavelet filtrasyonu uygulanarak taşıtta engellerden dolayı oluşan titreşim cevapları elde edilmiştir.

8.3.1 Wavelet Filtrasyonu

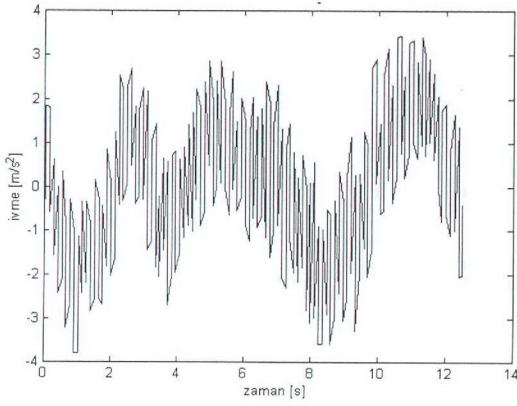
Filtreleme frekans düzleminde istenilen frekansların geçirilmesi istenmeyen frekansların bastırılması olarak tanımlanabilir. Wavelet quadratik mirror filtre takımları içermektedir. Dolayısıyla alçak frekans ile yüksek frekans filtreleri örtüşmeye neden olmadan çalışabilir. Diğer bir üstünlüğü işareti alt bantlara ayırmaya imkan tanınmasıdır. Böylelikle işareti bir kaç filtreleme sonucunda incelemeye imkan tanır.

Wavelet(küçük dalgalar), sürekli zamandaki $W_{ab}(t)$ fonksiyonu, temel fonksiyonların bir kümesidir ve ana bir wavelet $W(t)$ den oluşmuştur. Wavelet transformu herhangi bir $x(t)$ sinyalini, alt fonksiyonlara ayırır.

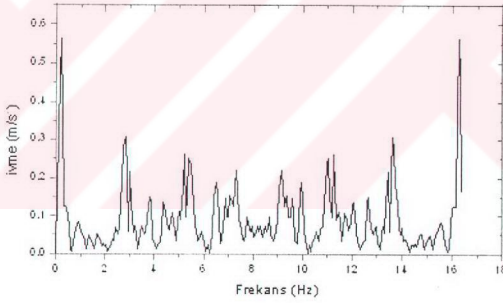
$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$$

$$W(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \overline{\psi_{a,b}(t)} dt$$

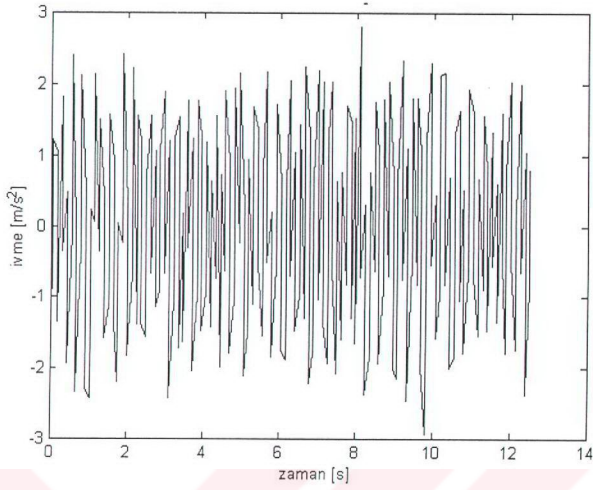
ψ : wavelet fonksiyonu



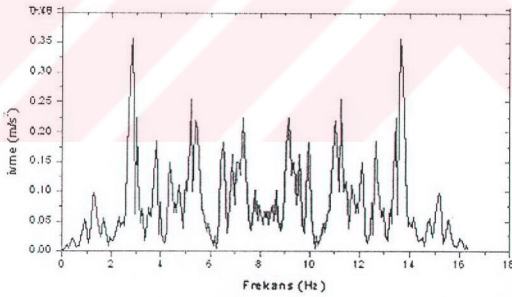
Şekil 8.15 10 km/h sabit hızla harekette engelsiz yolda ivme değişimi



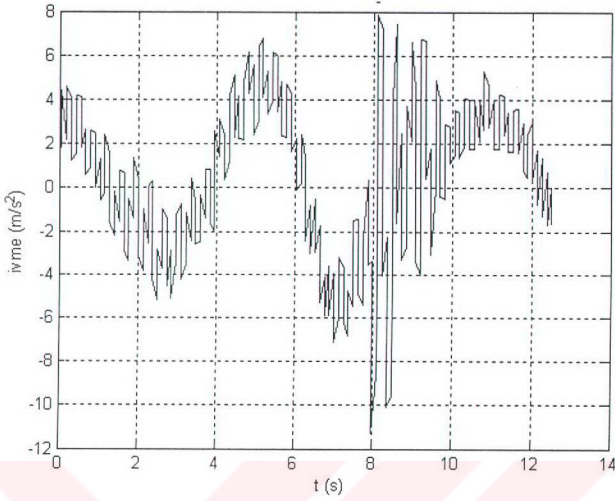
Şekil 8.16 10 km/h sabit hızla harekette engelsiz yolda ivme değişimi fft cevabı



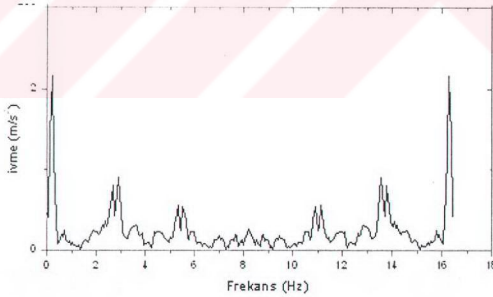
Şekil 8.17 10 km/h sabit hızla harekette engelsiz yolda ivme değişimi (wavelet filtrasyonu uygulanmış hali)



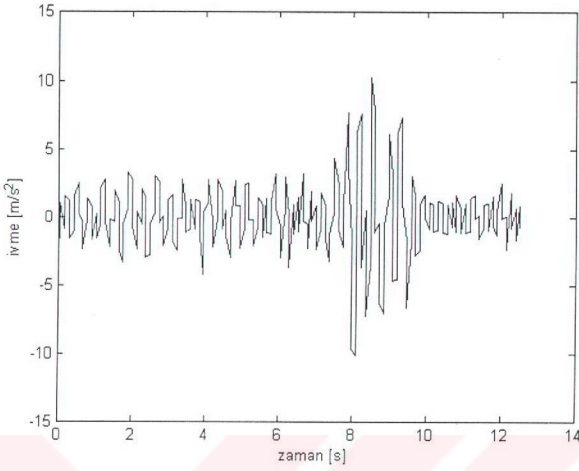
Şekil 8.18 10 km/h sabit hızla harekette engelsiz yolda ivme değişimi fft cevabı (wavelet filtrasyonu uygulanmış hali)



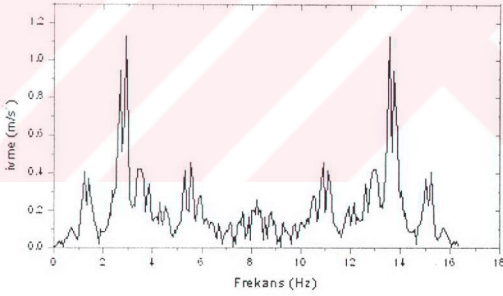
Şekil 8.19 10 km/h sabit hızla harekette tek engelli yolda ivme değişimi



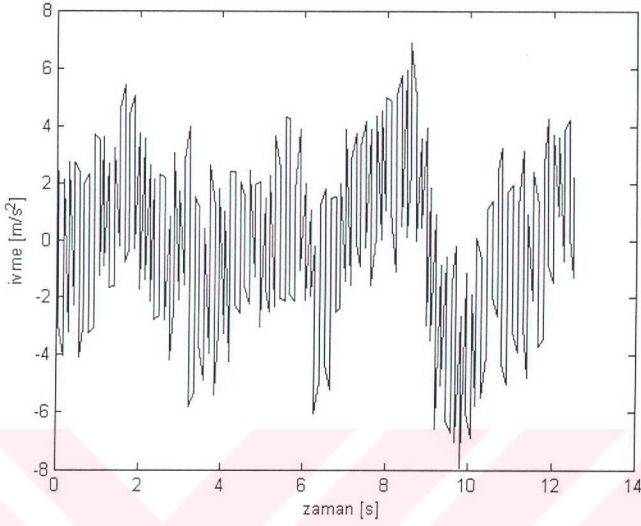
Şekil 8.20 10 km/h sabit hızla harekette tek engelli yolda ivme değişimi fft cevabı



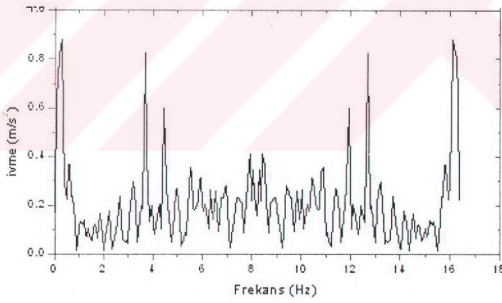
Şekil 8.21 10 km/h sabit hızla harekette tek engelli yolda ivme değişimi (wavelet filtrasyonu uygulanmış hali)



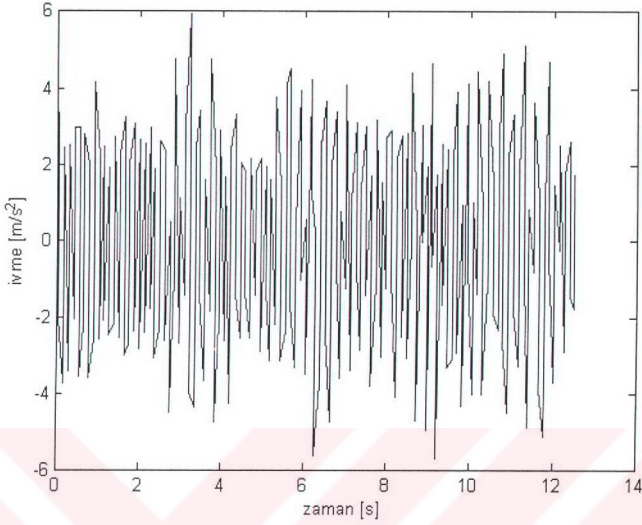
Şekil 8.22 10 km/h sabit hızla harekette tek engelli yolda ivme değişimi fft cevabı(wavelet filtrasyonu uygulanmış hali)



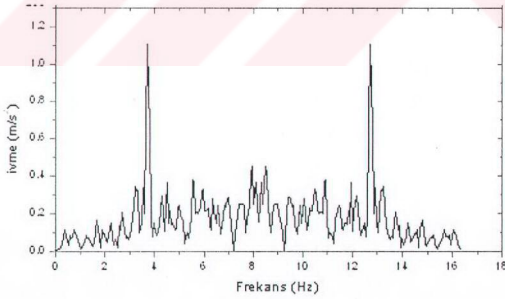
Şekil 8.23 20 km/h sabit hızla harekette engelsiz yolda ivme değişimi



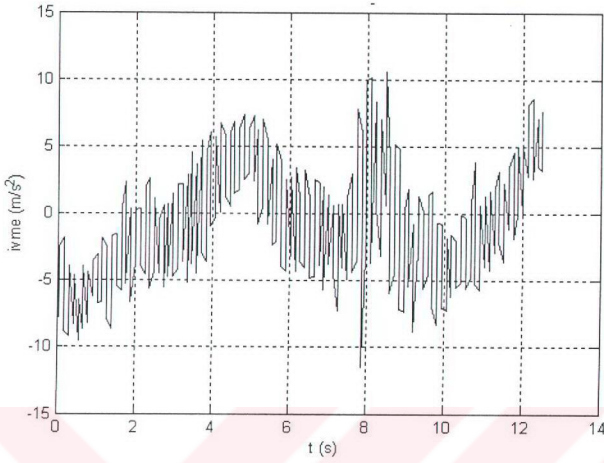
Şekil 8.24 20 km/h sabit hızla harekette engelsiz yolda ivme değişimi



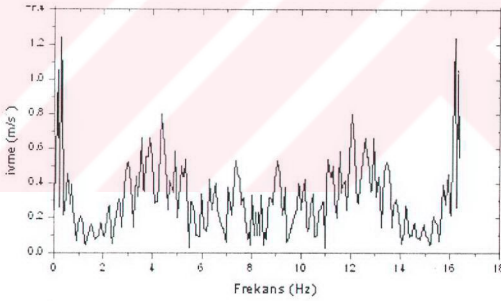
Şekil 8.25 20 km/h sabit hızla harekette engelsiz yolda ivme değişimi (wavelet filtrasyonu uygulanmış hali)



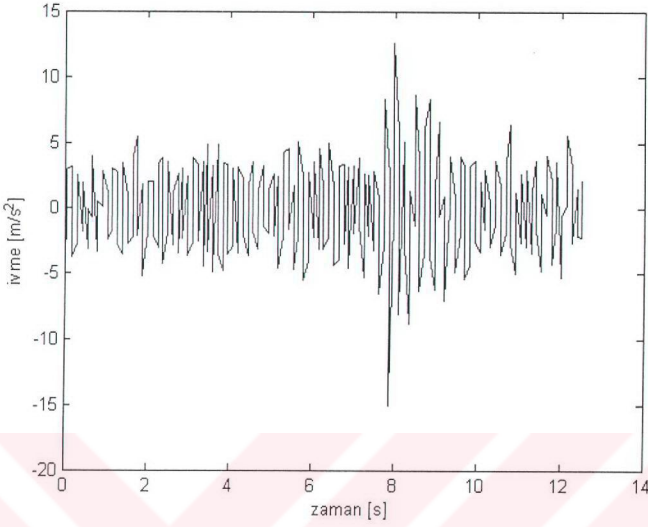
Şekil 8.26 20 km/h sabit hızla harekette engelsiz yolda ivme değişimi fft cevabı (wavelet filtrasyonu uygulanmış hali)



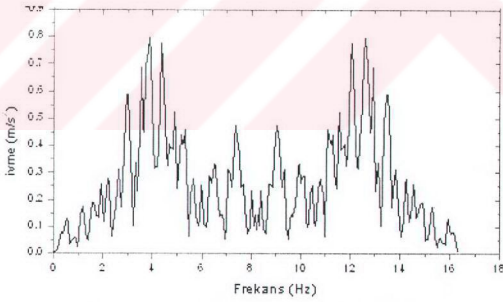
Şekil 8.27 20 km/h sabit hızla harekette tek engelli yolda ivme değişimi



Şekil 8.28 20 km/h sabit hızla harekette tek engelli yolda ivme değişimi fft cevabı



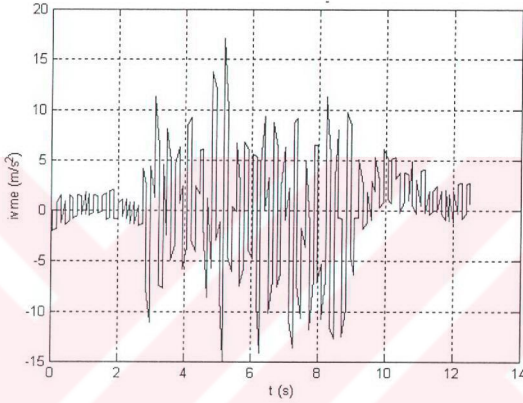
Şekil 8.29 20 km/h sabit hızla harekette tek engelli yolda ivme değişimi (wavelet filtrasyonu uygulanmış hali)



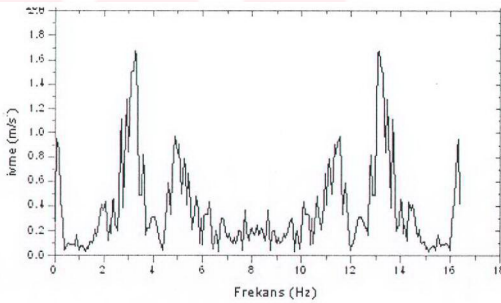
Şekil 8.30 20 km/h sabit hızla harekette tek engelli yolda ivme değişimi fft cevabı (wavelet filtrasyonu uygulanmış hali)

8.3.2 Dört Engelli Yolda Giden Altı Tekerlekli Taşıtın Darbe Cevaplarının Deneysel Olarak Elde Edilmesi

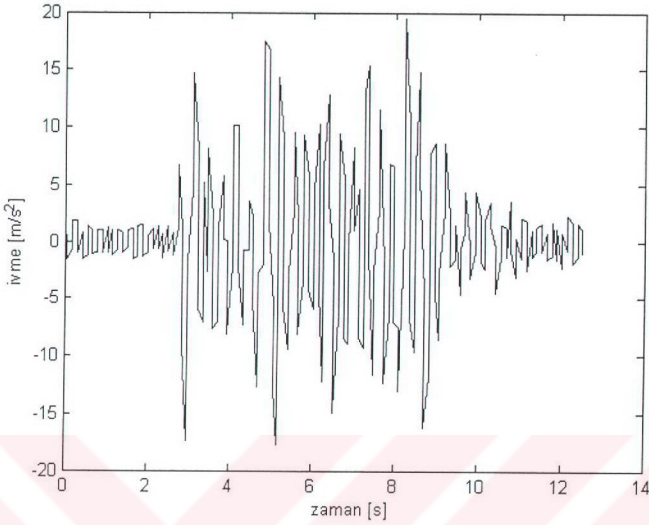
Daha önceki deney düzeneğindeki engellerin sayısını çoğaltarak bir yol profili elde edilmiş oldu. Bu amaçla yol güzergahı üzerine dörder metre ara ile $h \times b = 50 \times 100$ lük dört tane engel hazırlanmıştır. Bu güzergah üzerinde taşıt 10,20,30 km/h sabit hızlarla geçerken altı tekerlekli taşıt üzerindeki titreşim cevapları ölçülmüştür. Ölçümler şoför koltuğunun altındaki profilden alınmıştır. Daha sonra ölçümler üzerinde wavelet filtrasyonu uygulanmıştır.



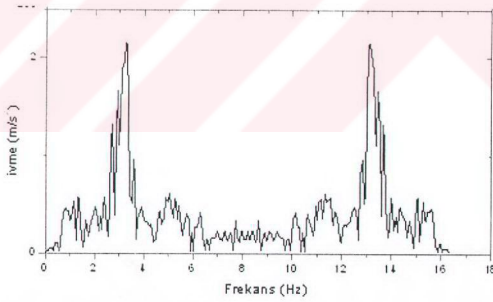
Şekil 8.31 10 km/h sabit hızla harekette dört engelli yolda ivme değişimi



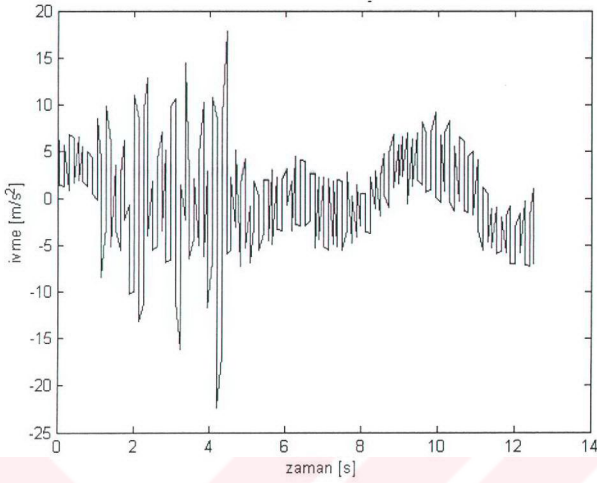
Şekil 8.32 10 km/h sabit hızla harekette dört engelli yolda ivme değişimi fft cevabı



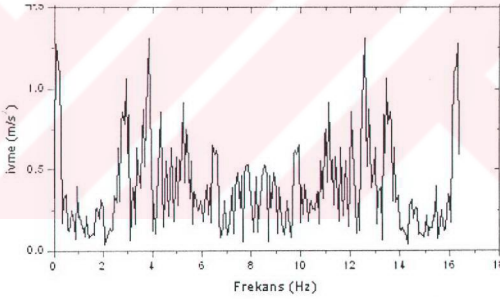
Şekil 8.33 10 km/h sabit hızla harekette dört engelli yolda ivme değişimi (wavelet filtrasyonu uygulanmış hali)



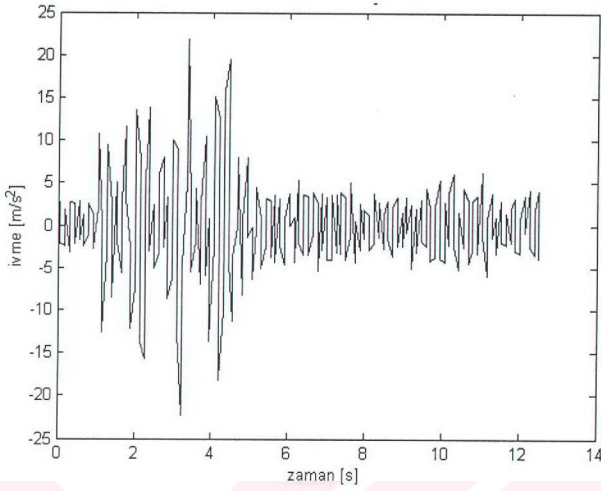
Şekil 8.34 10 km/h sabit hızla harekette dört engelli yolda ivme değişimi fft cevabı (wavelet filtrasyonu uygulanmış hali)



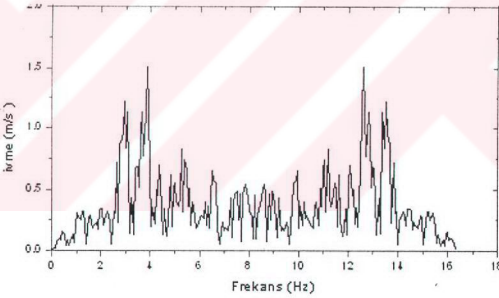
Şekil 8.35 20 km/h sabit hızla harekette dört engelli yolda ivme değişimi



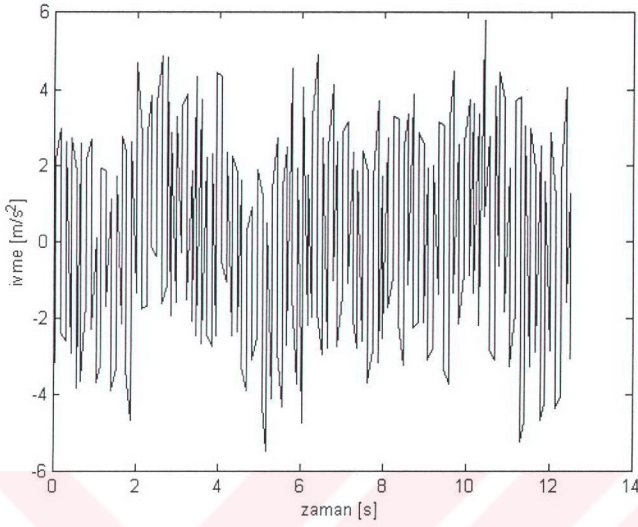
Şekil 8.36 20 km/h sabit hızla harekette dört engelli yolda ivme değişimi fft cevabı



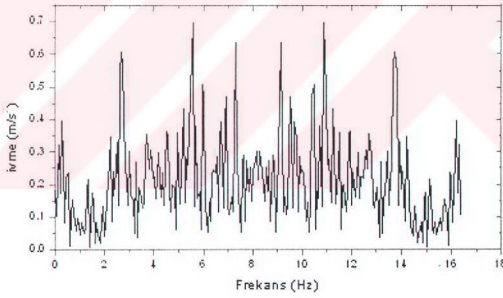
Şekil 8.37 20 km/h sabit hızla harekette dört engelli yolda ivme değişimi (wavelet filtrasyonu uygulanmış hali)



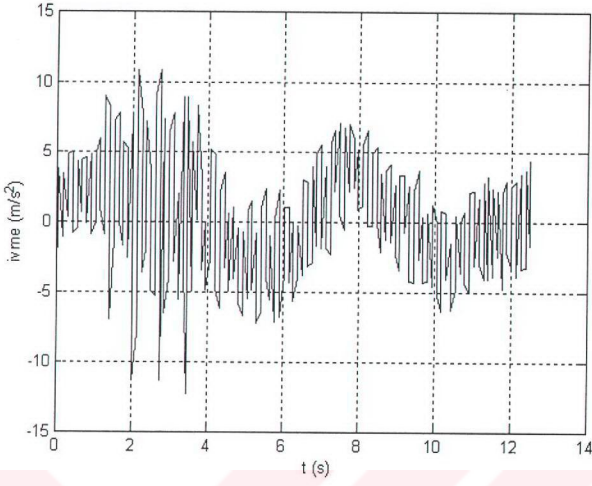
Şekil 8.38 20 km/h sabit hızla harekette dört engelli yolda ivme değişimi fft cevabı (wavelet filtrasyonu uygulanmış hali)



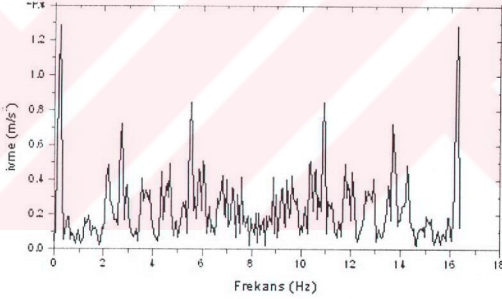
Şekil 8.39 30 km/h sabit hızla harekette engelsiz yolda ivme değişimi



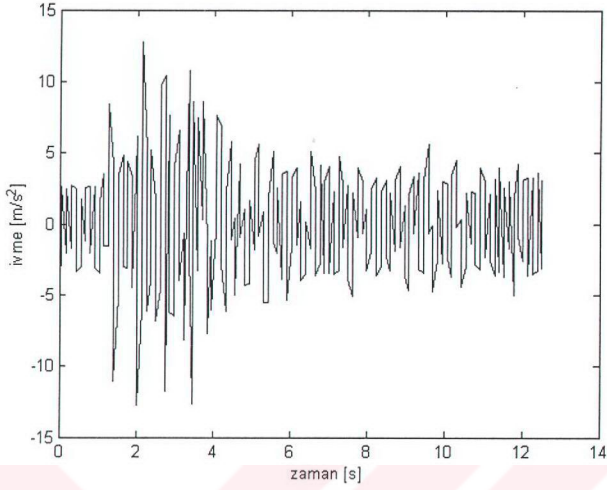
Şekil 8.40 30 km/h sabit hızla harekette engelsiz yolda ivme değişimi fft cevabı



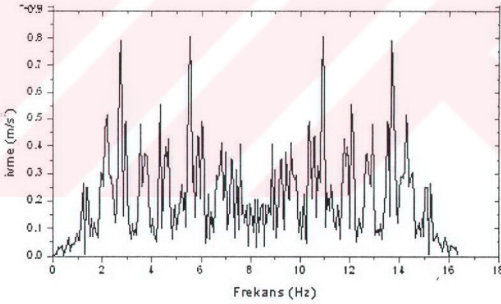
Şekil 8.41 30 km/h sabit hızla harekette dört engelli yolda ivme değişimi



Şekil 8.42 30 km/h sabit hızla harekette dört engelli yolda ivme değişimi fft cevabı



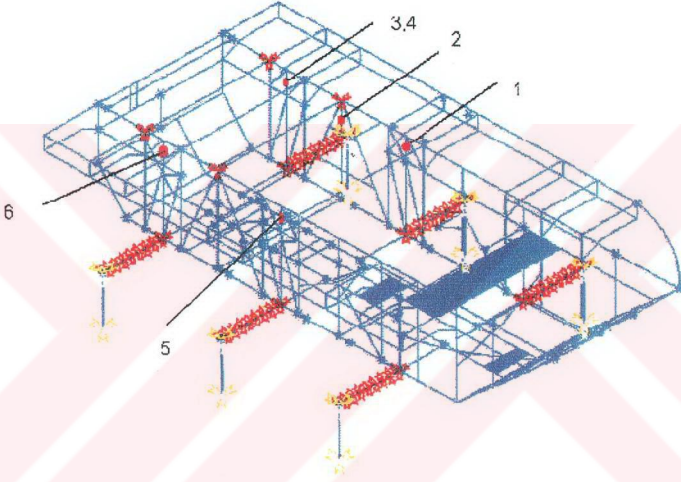
Şekil 8.43 30 km/h sabit hızla harekette dört engelli yolda ivme değişimi (wavelet filtrasyonu uygulanmış hali)



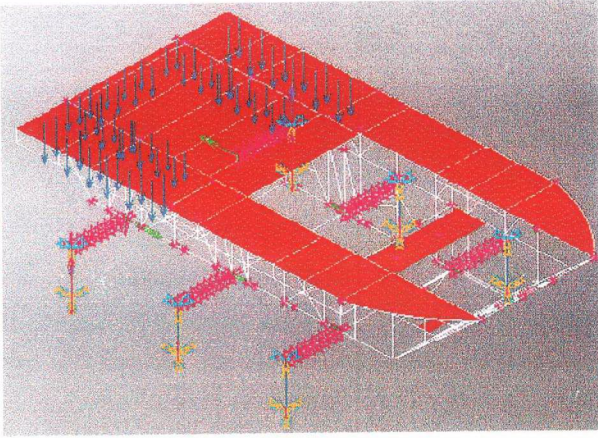
Şekil 8.44 30 km/h sabit hızla harekette dört engelli yolda ivme değişimi (wavelet filtrasyonu uygulanmış hali)

8.4 Deneyisel Gerilme Analizi

Deneyisel gerilme analizinde , taşıtın statik yükleme altında, kiriş elemanlarda oluşan birim şekil değiştirme değerleri strain-gage ile ölçülmüştür. Atış halinde kritik durumda olacak olan kirişler üzerine strain-gage' ler yapıştırılmıştır(Şekil 7.1). Yükleme için her biri 50 kg ağırlığında olan on adet kurşun blok kullanılmıştır. Kurşun bloklar atış platformunun sabitlendiği bölge üzerine dağıtılmıştır. Ölçümler için 10 kanallı TDS - 301 DATA LOGGER (Tokyo Sokki Kenkyujo Co.) kullanılmıştır.



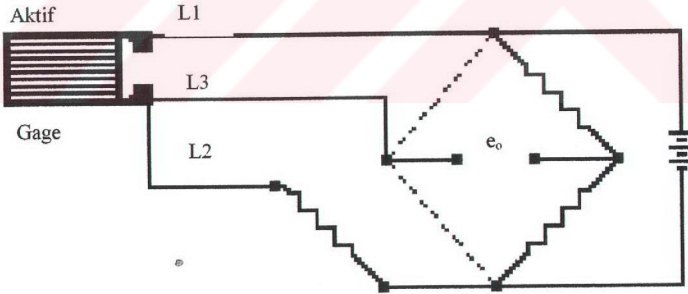
Şekil 8.45 Strain –gage lerin taşıta yapıştırıldığı noktalar



Şekil 8.46 Statik yükleme

8.4.1 Deney Düzenegi

Sistem üç kablolu olarak hazırlanmıştır ve çeyrek köprü olarak wheatstone devresi oluşturulmuştur.



Şekil 8.47 Üç kablolu kendinden kompensasyonlu strain-gage ile çeyrek köprü oluşturulması

Gage faktörü ise düzeltmelerde göz önüne alınarak aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$K_o = \frac{R}{R + rL/2} K = AK$$

K_o : Düzeltilmiş gage katsayısı

A : Kablonun düzeltme katsayısı

R: Gage nominal direnci (Ω)

R: Kablonun metre başına toplam direnci (Ω/m)

L: Kablo uzunluğu

Gage faktörünün Birim şekil değiştirme Ölçere bir katsayısı olarak girilir, katsayı hesabı ise aşağıda verilmiştir,

$$C_s = \frac{2.00}{K_o}$$

8.4.1.1 Strain Gage Teknik Özellikleri Ve Yapıştırıcının Teknik Özellikleri

Gage tipi : PL-10-11

Gage uzunluğu : 10 (mm)

Gage direnci : $120 \pm 0,3$ (Ω)

Gage faktörü: 2,10

Malzeme Ölçüm elemanı: Cu-Ni Tel

Taşıyıcı: Polyester

İşletme sıcaklık aralığı: -20 - +80 ($^{\circ}C$)

Sıcaklık kompenzasyonu: -20 - +80 ($^{\circ}C$)

Limit birim şekil değiştirme : 2%

Yorulma ömrü: 1×10^6

Yapıştırıcının Teknik Özellikleri;

Bileşenleri : Sentetik rezin (100%) Cyanocrylate

İşletme sıcaklığı: $-30 - +120$ ($^{\circ}\text{C}$)

8.4.1.2 Kablo özellikleri ve Katsayılar

$r : 0.004$ (Ω/m)

Katsayılar,

Birim şekil değiştirme ölçere girilecek katsayı;

$$C_s = (2.00/\text{K})$$

E: Young modülü ($2100000 \text{ Kg} / \text{cm}^2$)

$$C_{s1} = C_{s2} = C_{s3} = C_{s4} = C_{s5} = C_{s6} = C_{s7} = 0.95234$$

9 SONUÇLAR

Taşıt titreşimleri konusunda yapılan çalışmaların büyük bir kısmında, karayolu taşıtları incelenmiş ve incelemelerde kullanılan modeller lineer elemanlardan oluştuğu kabul edilmiştir. Modellemede sürekli sistem yaklaşımı yerine ayrık kütleli modeller çözümü kolaylığı nedeniyle tercih edilmiştir. Taşıt titreşimlerinin incelenmesinde büyük bir çoğunlukla, konfor, süspansiyon sapması ve dinamik tekerlek basıncı incelemede amaç fonksiyonunu teşkil etmiştir. Bu amaçları gerçekleştirmek için gerekli süspansiyon sistemi tasarımı bir çok çalışmaya konu olmuştur. Karayolları için tasarlanan taşıtların başka amaçlarla kullanılması halinde performanslarının bozulacağı kesindir. Bu durumda taşıt tasarımı esnasında en önemli unsur taşıtın hangi amaçla kullanılacağına tespitidir. Bundan sonra yapılacak işlem bu amaçlarda kullanılacak sınır şartlarının oluşturulmasıdır. Bu sınır şartlarını sağlayan ve amaç fonksiyonunu gerçekleştirebilecek tasarım ise araştırmacılara konu olmaktadır. Bunları gerçekleştirebilmek için yukarıda anlatılan teorik çalışmalarda en önemli husus modelin gerçeğe yakın olmasıdır. Gerçek sistemler nonlineer yapıda ve sürekli sistemlerdir. Nonlineer ve sürekli sistemlerin çözümlerinin kolay yapılamaması araştırmacıları sonlu elemanlar yaklaşımı kullanan ve sürekli sistemlerin çözümlerine imkan veren paket programları geliştirmeye yöneltmiştir. Geliştirilen programlardan Nastran, Ansys, Patran, Cosmos vs. dir. Bu paket programlarının diğer bir avantajı dinamik analiz yanında gerilme analizlerinin de yapılabilmesidir.

Bu çalışmada, sürekli sistem modeli ile ayrık sistem modeli oluşturulmuş ve cevapları karşılaştırılarak modelleme hatasının ne oranda olabileceği gösterilmiştir. Deneysel yaklaşımın gerçek sonuçları verdiği bilinmektedir. Deneysel olarak bulunan frekans değerleri ile oluşturulan teorik modellerden hesaplanan frekans değerleri karşılaştırılarak gerçek modelle teorik modeller arasındaki ilişki incelenmiştir.

Gerçek taşıtın, suni olarak oluşturulan dikdörtgen yol modelinden geçmesi durumunda taşıtın cevapları ölçülmüştür. Teorik modelin aynı yol modeline verdiği cevap ile karşılaştırılarak modelin gerçeğe yakınlığı test edilmiştir.

Deneysel çalışmalar çok pahalı olmakta ve her bir taşıt için ayrı ayrı yapılması gerekmektedir. Gerçeğe yakın modellemenin mümkün olması durumunda deneysel çalışma yerine teorik analizlerin çok daha ucuza ve daha detaylı yapılacağı aşikardır.

Frekans analizi ile gerçekleştirilen model üzerinde havan silahı atış durumu ve statik yüklemeye için simülasyonlar yapılmıştır. Elde edilen gerilme değerlerinden araç yapısının emniyet durumuna bakılmıştır.

9.1 Zorlanmış Titreşimler

9.1.1 Çeşitli Yol Profilleri İçin Simülasyonlar

9.1.1.1 Sinüs Yol Profili İçin Simülasyonlar

Bu bölümde taşıt hızının, süspansiyon elemanları ve tekerlek özelliklerinin (yay ve sönüm katsayıları) taşıt titreşimleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Tekerlek sönüm ve yay katsayılarının farklı değerleri; lastik havasının alınmış olması ve dolma lastik kullanılması durumlarına denk gelmektedir. Lastik havasının alınmasındaki amaç tekerleğin arazide temas yüzeyini artırarak, yol tutuşunun iyileştirilmesidir.

Farklı sönüm değerleri için elde edilen grafiklerden de Şekil 2.9 - 2.10 görüleceği gibi sönüm katsayısının artmasıyla, titreşimin maksimum genlikleri düşmektedir. Ayrıca düşük hızlarda sönüm katsayısının titreşimlerin genliği üzerinde pek etkili olmamaktadır. Yüksek hızlarda sönüm katsayısının etkisi artmaktadır.

Farklı yay katsayıları için çizdirilen grafiklerden de (Şekil 2.11 – 2.12) görüleceği gibi yay katsayısının küçülmesiyle genlikler azalmaktadır. Bununla birlikte doğal frekanslar da düşmekte, arazide aşırı titreşimlerin yani rezonans durumunun düşük taşıt hızlarında ortaya çıkmasına sebep olacaktır. Ayrıca çok düşük yay katsayısı konstrüksiyon açısından uygun değildir.

Taşıtın süspansiyon sistemi takılı olarak yapılan analizlerinde, grafiklerden de (Şekil 2.13, 2.15) görüleceği üzere genlik değerleri, sönüm katsayısının artmasıyla düşmektedir. Yay katsayısının küçük değerleri için genlik değerleri azalmaktadır (Şekil.2.19,2.21). Bununla birlikte frekans değerleri de küçülmektedir. Tekerleklerin titreşimleri incelendiğinde, düşük sönüm katsayılarında, frekans tepelerinin bitim noktalarındaki kesişim yerlerinden, genliklerin çıkış noktalarındaki kesişim yerlerine kadar, titreşimlerin genliklerinin azalmasında, düşük sönüm katsayıları yüksek sönüm katsayılarından daha etkilidir (Şekil 2.14,2.16, 2.17,2.18). Aynı durum yay katsayılarının değişimiyle de söz konusu olup, frekans aralığı daha geniş olmaktadır (Şekil 2.20,2.22, 2.23,2.24).

Yükü taşıt için yapılan simülasyonlardan görülmüştür ki, titreşimin maksimum genlikleri artmakla birlikte doğal frekans değerleri de düşmektedir (Şekil.2.25,2.11).

Yalpa titreşimleri için çizdirilen grafiklerde, ordinat eksenindeki değerler gözönüne alınırsa,

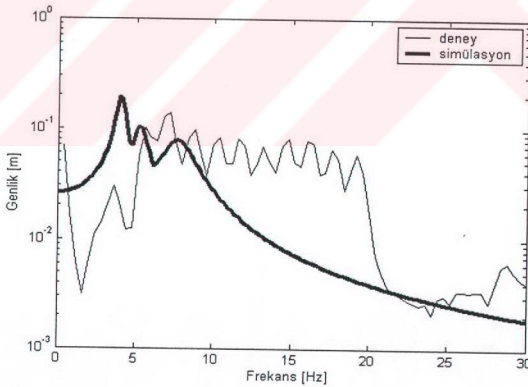
hareketin pratik anlamda oluşmadığı görülmektedir.

Süspansiyonlu ve süspansiyonsuz taşıt için, taşıt titreşimleri, çıkış/giriş oranı ve frekans düzleminde simülasyonlarla elde edildi(Şekil 2.41- Şekil 2.86).

Şekil 2.9 ve 2.10 dan da görüleceği üzere tepe noktalarının elde edildiği frekanslar taşıta ait doğal frekans bölgelerini ifade etmektedir ve rijit modlardır. Bu değerlerin yüksüz anfibik taşıt için deneysel sonuçlarla karşılaştırılması Çizelge 9.1 de verilmiştir.

Çizelge 9.1 Rijit gövdeli ve elastik gövdeli model frekans analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Rijit gövde	Elastik gövde	
	Teorik	Deneysel
3.99	3.754	3.2
5.66	5.0457	5.2-5.6
7.64	7.4765	7.2



Şekil 9.1 Rijit gövdeli model simülasyon sonuçları ve deneysel sonuçların karşılaştırılması

Süspansiyonlu ve süspansiyonsuz taşıt için en basit modelden en kapsamlı modele kadar, çeşitli yay ve sönüm katsayıları için elde edilen grafikler sırasıyla **Ek.10** da verilmiştir.

9.1.1.2 Tek ve Dört Engelli Yol İçin Simülasyonlar

Taşıtın çeşitli yol profilleri için simülasyonları kapsamında yol üzerinde oluşturulan tek engel Şekil 2.51 de görülmektedir. Bu yolun matematik modeli ve taşıta giriş fonksiyonun genlik ve hız bileşenleri her hız için ayrı ayrı oluşturulmaktadır (Şekil 2.94, Şekil 2.95, Şekil 2.113, Şekil 2.114). 10 km/h sabit hızla engel üzerinden geçişte şöför mahalinde oluşan titreşimin ivmesinin maksimum değeri 9 m/s^2 dir (Şekil 2.102). 20 km/h sabit hızla engel üzerinden geçerken oluşan titreşimin ivmesinin maksimum değeri 14 m/s^2 dir. Hızın artmasıyla birlikte titreşimin genlikleri düşmektedir (Şekil 2.96, Şekil 2.115). Titreşimin ivme değerleri artmaktadır. Yalpa hareketi diğer hareketlere göre çok küçüktür (Şekil 2.100).

Taşıtın çeşitli yol profilleri için simülasyonları kapsamında ikinci deneysel çalışmada, yol üzerinde oluşturulan dört engel Şekil 2.122 de görülmektedir. Bu yolun matematik modeli ve taşıta giriş fonksiyonun genlik ve hız bileşenleri Şekil 2.133, Şekil 2.134 de görülmektedir. 10 km/h, 20 km/h, 30 km/h hızları için ayrı ayrı oluşturuldu. 10 km/h sabit hızla engel üzerinden geçişte şöför mahalinde oluşan titreşimin ivmesinin maksimum değeri 9 m/s^2 dir (Şekil 2.141). Kafa vurma titreşimlerinde girişim olmasına rağmen toplam titreşim düzeyini etkileyecek kadar büyük değildir (Şekil 2.138). 20 km/h sabit hızla engel üzerinden geçerken oluşan titreşimin ivmesinin maksimum değeri 17 m/s^2 dir (Şekil 2.60). Titreşimlerde girişim söz konusudur. 30 km/h sabit hızla engel üzerinden geçerken oluşan titreşimin ivmesinin maksimum değeri 19 m/s^2 dir (Şekil 2.179). Titreşimlerde girişim söz konusudur.

Deneysel çalışmada, taşıtın engelsiz yol üzerinden 10 km/h hızla geçişte Şekil 8.60 de toplam titreşimin düzgün sinüs değişiminde 0.20 Hz lik bir öz frekans değeri mevcuttur. Bu değer darbe ve sinüs süpürmesi deneylerinde analizör cihazı 0.3 Hz den itibaren ölçme yapabildiği için, tespit edilememiştir. Bu durum zorlanmış titreşimlerin "fft" si alınarak elde edilen frekans düzlemindeki değişimleri gösteren Şekil 8.61 da daha net görülmektedir. Ayrıca bu titreşimin üstüne binmiş bir titreşim daha mevcut olup eğrinin ortasından geçirilen diyagram düzgün bir sinüs diyagramına yakındır. Bu sinüs diyagramının üstünde ve altında genliklerin oluşması üç sebepten ve bunların bileşkesi olarak ortaya çıktığı düşünülmektedir;

- a) Motor ve aktarma organlarının vermiş olduğu düzgün zorlanmış titreşimler.
- b) Taşıt arazi tekerleklerinin pençelerinin düzgün zorlanmış titreşimler oluşturmaları.
- c) Tekerleklerin birbirlerine intikal ettirdiği titreşimlerin meydana getirmiş olmasıdır.

Sistemin fft cevabına wavelet filtrasyonu uygulanmasıyla elde edilen grafik 8.20 de, ivmenin

maksimum değeri 2.5 m/s^2 dir.

Taşıtın “wavelet filtrasyonu” ile filtrelenmiş cevabına(Şekil 8.62) fft uygulanması sonucu elde edilen grafikde (Şekil 8.63) $2.5\text{-}4 \text{ Hz}$ ve $11\text{-}14 \text{ Hz}$ civarındaki frekanslar, motor tarafından tahrik edilen ve motorun harmonik frekanslarına denk gelmektedir.Bu durumda motor alt harmoniği ile taşıt doğal frekansları çakışmaktadır. Dolayısıyla taşıt 10 km/h hız civarında kafa vurma hareketi (açısal sapmaların) nin baskın olduğu bir hareket yapmaktadır.

Taşıtın tek engelli yol üzerinden 10 km/h hızla geçişindeki titreşim cevabı Şekil 8.64 de, bu cevaba wavelet filtrasyonu uygulanmış hali Şekil 8.66 de görülmektedir. Bu grafikte ivmenin maksimum değeri 11.5 m/s^2 dir. Dolayısıyla engelden meydana gelen ivme değeri 9 m/s^2 dir. Bölüm 2 de simülasyonlarla elde edilen ivme değeri yaklaşık olarak 8 m/s^2 dir. Grafiklerden de görüleceği gibi simülasyon ve deneysel sonuçlar birbirini doğrulamaktadır.

Taşıtın engelsiz yol üzerinden 20 km/h hızla geçişte ivme değerleri büyümektedir, 6 m/s^2 (Şekil 8.68, Şekil 8.70). Engelli yol üzerinde geçişde elde edilen zaman düzlemindeki titreşim cevabı Şekil 8.72 daki gibidir. Wavelet filtrasyonu uygulanmış cevaptaki maksimum değer 16 m/s^2 dir (Şekil 8.74). Dolayısıyla engelden meydana gelen ivme değeri 10 m/s^2 dir. Bölüm 2 de simülasyonlarla elde edilen ivme değeri yaklaşık olarak 14 m/s^2 dir.

Taşıtın dört engelli yol üzerinden 10 km/h hızla geçişindeki titreşim cevabı Şekil 8.76 de, bu cevaba wavelet filtrasyonu uygulanmış hali Şekil 8.78 de görülmektedir. Bu grafikte ivmenin maksimum değeri 19 m/s^2 dir. Dolayısıyla engelden meydana gelen ivme değeri 16.5 m/s^2 dir. Bölüm 2 de simülasyonlarla elde edilen ivme değeri yaklaşık olarak 9 m/s^2 dir.

Taşıtın dört engelli yol üzerinden 20 km/h hızla geçişindeki titreşim cevabı Şekil 8.80 de, bu cevaba wavelet filtrasyonu uygulanmış hali Şekil 8.82 da görülmektedir. Bu grafikte ivmenin maksimum değeri 24 m/s^2 dir. Dolayısıyla engelden meydana gelen ivme değeri 18 m/s^2 dir. Bölüm 2 de simülasyonlarla elde edilen ivme değeri yaklaşık olarak 17 m/s^2 dir.

Taşıtın dört engelli yol üzerinden 30 km/h hızla geçişindeki titreşim cevabı Şekil 8.86 da, bu cevaba wavelet filtrasyonu uygulanmış hali Şekil 8.88 da görülmektedir. Bu grafikte ivmenin maksimum değeri 14 m/s^2 dir. Dolayısıyla engelden meydana gelen ivme değeri 11 m/s^2 dir. Bölüm 2 de simülasyonlarla elde edilen ivme değeri yaklaşık olarak 19 m/s^2 dir.

9.1.2 Havan Silahı ile Atış Durumu

Taşıtın süspansiyonsuz durumu için yapılan simülasyonlarda, düşey titreşimler Şekil 3.3 de

görülebileceği üzere yaklaşık 1 s lik sürede sönümlenmektedir. Kafa vurma titreşimleri yaklaşık 2 s de sönümlenmektedir(Şekil 3.4). Yalpa titreşimleri ise yok denecek kadar küçük olup yaklaşık 1,5 s de sönümlenmektedir(Şekil 3.5). Titreşimlerin sönümlenme süreleri gözönüne alındığında, art arda yapılan atışlarda, bir önceki atış sonrası oluşan titreşimler, diğer atış durumunu etkilemeyecektir.

Taşıta süspansiyon takılması sonucu, düşey titreşimlerin genliklerinde ve sönümlenme süresinde iki katı bir artış söz konusudur(Şekil 3.7). Titreşimlerin (kafa vurma hareketi) 3,5 s süre içerisinde sönümlendiği görülmektedir(Şekil 3.8). Dolayısıyla bir önceki atış sonrası oluşan titreşimler, sonraki atış esnasında namlu açısını etkilememektedir.

Taşıta süspansiyon takılması, yalpa titreşimlerinin yüksek bir oranda azalmasına sebep olmaktadır(Şekil 3.9). Tekerleklerde gövdeye oranla daha küçük titreşim genlikleri söz konusudur(Şekil 3.10,3.11)

9.2 Gerilme Analizi

9.2.1 Statik Yükleme

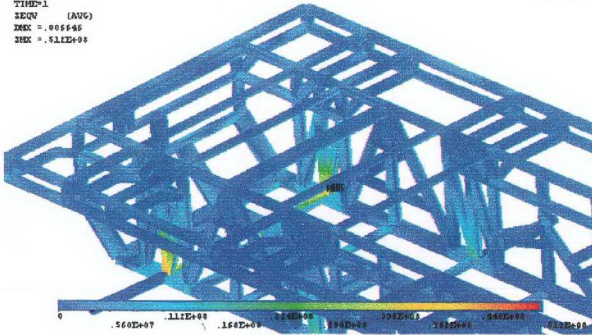
1 no'lu strain – gage den okunan birim şekil değıştirme değeri kararlı duruma gelmemesinden dolayı hatalı yapıştırma söz konusudur. Çizelge 9.1 de statik yükleme sonucu oluşan gerilme dağılımı görölmektedir. Diğer strain-gage 'lerden okunan değeerlerle, ANSYS 'den elde edilen değeerler birbirlerine yakınsamaktadır.

Çizelge 9.2 Teorik ve Deneysel Birim şekil değıştirmelerin karşılaştırılması

Strain-gage No:	Başlangıç Değeri	Son Değeri $\mu\epsilon$	Fark $\mu\epsilon$	ANSYS $\mu\epsilon$
0	1823,2	1813,7	+9.5	9.1571
1	2216,7	2307,1	Kararsız	-7.1600
2	3396,9	3399,8	-2,9	-2.4308
3	2468,1	2467,2	0,9	1.8219
4	196,2	191,4	4,8	4.2352
5	1459,3	1461,2	-1,9	-1.1095

MODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SEQV (AVG)
MAX = .006646
MIN = -.611E+08

ANSYS
AUG 27 2002
20:38:31



Şekil 9.2 Statik yükleme altında taşıttaki gerilme dağılımı

Deneysel çalışmada gerçekleştirilen statik yüklemenin ANSYS 'de uygulanması sonucu oluşan gerilme dağılımı Şekil 9.1 deki gibidir.

9.2.2 Havan Silahı ile Atış Durumu

Atış durumu için sonlu elemanlar modelinde ANSYS de yapılan analizde ve diğer düşey zorlamalarda görüldüğü gibi gerilme yığılmaları aks ve yapının birleşme bölgelerinde ve düşey kirişlerde gerçekleşmektedir (Şekil 7.2, Şekil 7.4). Kafes yapıyı oluşturan kiriş elemanların malzemesi St 37.2, plak elemanın malzemesi Etial 52 dir. Kafes yapıda gerçekleşen maksimum eşdeğer gerilme $0.395 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$, plakda gerçekleşen maksimum eşdeğer gerilme $0.358 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ dir. Simülasyon sonucu elde edilen gerilmeler, havan silahı atış durumunda taşıtın karkas yapı elemanlarında herhangi bir hasar meydana getirmeyecek kadar küçük olmaktadır. Askeri fabrika yetkilileri tarafından gerçekleştirilen havan silahı atış tecrübelerinde belirgin herhangi bir hasar durumu görülmemiştir.



9.3 Altı Tekerlekli Taşıtın Frekans Değerlerinin Karşılaştırılması

9.3.1 Yüklü Anfibik Taşıt

Çizelge 9.3 Yüklü anfibik taşıt deneysel ve teorik frekans sonuçlarının karşılaştırılması

No	Titreşim Saglayıcı (Hz)	Çekic Deneyi (Hz)	ANSYS (Hz)	ANSYS Mod Şekilleri
1	3.2	3.2	3.3287	Kafa vurma
2	5.2-5.0	4.4	4.4964	Aşağı - Yukarı
3	6.4	6	6.2756	Yalpa
4	7.2	7.2	7.0066	Plak(1.mod)
5	8.8-9.2	9.6	13.876	Plak(2.mod)
6	10.8	11.6	15.05	Plak(3.mod)
7	12	12.8	17.707	Şöför altındaki plak (1.mod)
8	13.2	14.8	20.916	Yanal
9	14,2	16.4	25.512	Burulma
10	15,6	17.2	26.645	Ön ve orta tekerlek Aşağı - Yukarı simetrik

9.3.2 Yüksüz Anfibik Taşıt

Çizelge 9.4 Yüklü anfibik taşıt deneysel ve teorik frekans sonuçlarının karşılaştırılması

No	Titreşim Sağlayıcı (Hz)	Çekic Deneyi (Hz)	ANSYS (Hz)	ANSYS Mod Şekilleri
1	3,6	3.6	3.754	Kafa vurma
2	5,6	5.2-	5.0457	Aşağı - Yukarı
3	7,6	6.8	7.4765	Yalpa
4	8.8	7.6-8.2	10.624	Plak(1.mod)
5	10,4	10.8	16.103	Plak(2.mod)
6	11.6	12	17.759	Şöför altındaki plak (1.mod)
7	13.2	13.6	23.085	Yanal
8	14.8	15.6	28.362	Burulma
9	16	18	29.296	Ön ve orta tekerlek Aşağı - Yukarı simetrik
10	17.6	19.6	31.243	Ön ve orta tekerlek Aşağı - Yukarı asimetrik

9.3.3 Yüksüz Anfibik Olmayan Taşıt

Çizelge 9.5 Yüksüz anfibik olmayan taşıtın teorik frekans sonuçlarının karşılaştırılması

No	Frekans(Hz) MATLAB	Frekans(Hz) ANSYS	
1	4.43	4.5279	Kafa vurma
2	5.32	5.7913	Aşağı - Yukarı
3	9.12	9.6068	Yalpa
4	-	14.462	Şöför altındaki plak (1.mod)
5	19.95	20.422	Yanal
6	25.56	28.823	Ön ve orta tekerlek Aşağı - Yukarı simetrik
7	28.82	31.938	Ön ve orta tekerlek Aşağı - Yukarı asimetrik
8	31.25	34.396	Burulma
9	34.46	37.728	Plak(1.mod)
10	37.45	39.543	Yanal(2.mod)

9.3.4 Yüklü Anfibik Olmayan Taşıt

Çizelge 9.6 Yüksüz anfibik olmayan taşıtın teorik frekans sonuçlarının karşılaştırılması

No	Frekans(Hz) Matlab	Frekans(Hz) ANSYS	
1	4.12	4.227	Kafa vurma
2	5.02	5.4719	Aşağı - Yukarı
3	8.52	8.7361	Yalpa
4	-	14.443	Şöför altındaki plak (1.mod)
5	16.98	18.505	Yanal
6	23.56	27.596	Ön ve orta tekerlek Aşağı - Yukarı simetrik
7	26.56	31.91	Ön ve orta tekerlek Aşağı - Yukarı asimetrik
8	29.98	34.26	Burulma
9	33.69	35.859	Plak(1.mod)
10	35.28	37.677	Yanal(2.mod)

Teorik ve deneysel olarak yapılan frekans analizi sonuçları birbirleriyle yakınsamaktadır. Sonuçlardan görüleceği üzere, taşıtın ilk üç modunda rijit cisim hareketleri baskındır. Rijit cisim modlarından ilki, kafa vurma (pitching), ikincisi aşağı-yukarı (hopping), üçüncüsü ise yalpa (rolling) hareketleridir.

Rijit cisim modlarından kafa vurma hareketi 2,8 Hz-3,2 Hz civarlarında ortaya çıkmaktadır. Bu frekans değerleri ise taşıtın 10-20 km/h hız mertebelerinde motor alt harmonikleriyle çakışmaktadır. Sonuç olarak ise bu hızlarda kafa vurma hareketinin baskın olarak ortaya çıktığı aşırı titreşimlere yol açmaktadır. Motorun taşıta bağlantı noktalarında sönümü artırıcı elemanlar kullanmak yoluyla, akslar arası mesafeler ve tekerlek iz genişliklerinde yapılacak değişikliklerle aşırı titreşimlerin genliklerinin azaltılması mümkündür.

Elastik davranışın baskın olduğu modlarda ana yapı için, yanal kayma, burulma, eğilme hareketleri gözlenmektedir. Üstteki plaka ve şöför koltuğunun bağlı bulunduğu plak için ise düşük frekanslarda ortaya çıkan elastik modlar söz konusu olmaktadır.

Taşıtın karkas yapı için elastik modlarından ilkinin frekansı yüklü taşıt için 20,916 Hz (Şekil Ek1.8), yüksüz taşıt için 23,085 Hz (Şekil Ek.2.8) dir. Bu frekansda taşıtın yanal hareketi söz konusudur.

Elde edilen serbest titreşim modlarından görüleceği üzere yapının bazı kısımlarında rijitliği artırıcı tedbirler alınmalıdır. Bunlar taşıtın alt taraflarındaki kiriş yapıları ve taşıyıcı plakalardır. Üstteki taşıyıcı plaka için mesnetleme durumunun iyileştirilmesi gerekmektedir. Şöför mahallindeki plaka için ise rijitliği arttırmak çözüm olabilir.

Düşük zorlama frekanslarında daha çok rijit cisim modları etkindir. Zorlama frekansı yükseldikçe elastik modlar uyarılmaktadır.

9.4 Genel Değerlendirme ve Öneriler

Mevcut taşıt, atış sonucunda yapıda oluşan gerilmeler yönünden emniyetlidir. Atış sonrası oluşan artık titreşimler bir sonraki atışı etkilememektedir. Bununla birlikte taşıtın seyir durumu için yapılan teorik ve deneysel çalışmalarda, titreşimlerin ivme değerleri yüksek ve düşük frekanslarda ortaya çıkan rezonans durumları söz konusudur. Seyir konforunu arttırmak ve titreşim ivme değerlerini düşürmek için taşıta süspansiyon takılması durumu simülasyonları yapılmıştır. Simülasyonlar sonucunda titreşimlerin ivme değerleri düşmekle birlikte atış sonrası oluşan artık titreşimler bir sonraki atışı etkilediği görülmektedir. Ayrıca rijit gövde modları daha aşağı düşmektedir. İnsan sağlığı için rahatsız edici bölge 3-5 Hz

aralığında bulunan düşey ve kafa vurma modları için sisteme dinamik absorber takılması uygun olacaktır. Konstrüksiyon açısından uygun olan gövde içersindeki arka kısma yerleştirilebilir. Böylece ana gövde titreşimlerinde sönümlenme sağlanmış olur ve rijit modlar yukarı ötelenir.

Taşıt konforunun arttırılması için alınabilecek önlemler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- 1) Dinamik absorber ekleme
- 2) Sönümleyici(absorber) eklenebilir.
- 3) Yaylar yumuşatılabilir. Atış sonrası titreşim sönümleme süresi artacağı için, atış esnasında taşıtı yere sabitleyen hareketli ayakların taşıta eklenmesi tavsiye edilir.
- 4) Taşıtın 10 km/h sabit hızla hareketinde görülen kafa vurma baskın hareketi, motorun alt harmonikleriyle ikinci doğal frekansın(kafa vurma) çakışmasından kaynaklanmaktadır. Motorun ana gövdeye bağlantı noktalarına sönümleme elemanları konularak bu durumun önüne geçilebilir.
- 5) Süspansiyonlara kontrolcu eklemek ekonomik açıdan pahalıdır ve ek enerji harcamayı gerektirir. Bu yüzden daha ucuz çözüm olan sürücü koltuğu altına kontrolcu eklemek mümkündür. Bundan sonraki çalışmaların atış başarısını bozmadan seyir konforunu geliştirme yönünde ilerletilmesi tavsiye edilir.

Litarüterde bu konu üzerinde fazla yayın olmaması ve askeri bakımdan önem kazanmasından dolayı tezde ele alınmayan fakat alınmasında fayda olan konuları sıralanacak olursa;

- Atış durumunda meydana gelen gerilmelerin dinamik olarak ölçülmesi ve teorik sonuçlarla karşılaştırılması.
- Doğal frekanslar, gerilmeler ve ağırlığı da göz önüne alacak şekilde yapıda optimizasyona gidilmesi(SDM; Structral Dynamic Modification).

çalışmaları yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Aba,E.ve Karadağ,V.(1993), "Bir Yolcu Vagonunun Dinamik Tasarımı ve Titreşim Konforunun Analizi Üzerine Bir Yaklaşım",6. Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu,Trabzon
- Aba,E.ve Karadağ,V.(1993)," Bir Yolcu Vagonunun Dinamik Tasarımı ve Titreşim Konforunun Analizi Üzerine Bir Yaklaşım" 4.Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu,Eylül 1993 , TRABZON.
- Adhikari,S.ve Manohar, C.S.(1999),"Dynamic Analysis of Framed Structures with Statistical Uncertainties",Int. J. Numer. Meth. Engng.,44:1157-1178
- Ammon,D.(1991),"Problems in Road Surface Modelling", Vehicle System Dynamics,16:19-40.
- Bruscella,B.,Rouillard,V. ve Sek,M.(1999),"Analysis of Road Surface Profiles",Journal of Transportation Engineering/1999(11):55
- Bruscella,B.,Rouillard,V.ve Sek, M.(2000),"Use of Vehicle- Collected Data to Calculate Existing Roadway Geometry",Journal of Transportation Engineering,241(126,2):50,58
- Chochia,G.A., Chadhry,P.K.ve Burrows,C.R. (2001),"Dynamic Modelling of Flexible Structures Using a Local Frame Formulation",Proc Instn Mech Engrs.,213(C):645-654
- Davis,B.R. ve Thompson,A.G.(2001),"Power spectral Density of Road Profiles",Vehicle System Dynamics,,35(6):409-415
- Demic,M.(1997),"Idendification of Vibration Parameters for Motor vehicles" Vehicle System Dynamics,27:68-88
- Demic,M.(1997),"Identification of Vibration Parameters for Motor Vehicles", Vehicle System Dynamics,27:65-88.
- Demic,M.(1999), "The Definition of the Tires Limit of Admissible Nonuniformity by Using the Vehicle Vibratory Model", Vehicle System Dynamics,31:183-211.
- Dodds,C.J.ve Robson, J.D.(1973),"The Description of road surface roughness",Journal of Sound and Vibration,31(2):175-183
- Elbeheiry, E.M. ve Karnopp,D.C.(1996),"Optimal Control Of Vehicle Random Vibration With Constrained Suspension Deflection",Journal of Sound and Vibration,189(5):547-564
- Ereke, M.ve YAY, K.,"Computer aided stress analysis of a doubl-deck bus body", MAMKON, Machine Design Congress, I.T.Ü., 1997, İstanbul.
- Ereke,M. ve Yay,K.(1997),"Çiftkatlı otobüs gövdesinin bilgisayar destekli gerilme analizi"MAMKON, Makina Tasarım Kongresi, İTÜ, İstanbul.
- Eriksson,P. ve Friberg,O.(2000),"Ride comfort optimization of a city bus",Struct Multidisc Optim,20:67-75
- Fassbender,F.R., Fervers,C.W.ve Harnisch, C.(1997)," Approaches to Predict the Vehicle Dynamics on Soft soil",Vehicle System Dynamics Supplement,27:173-188

- Fassbender,F.R.,Fervers,C.W.ve Harnisch,C.(1997),"Approaches to Predict the Vehicle Dynamics on Soft Soil", *Vehicle System Dynamics*,27:173-188.
- Fleniken,G. L.ve Renfroe,D. A.(1999),"Modeling of Pitch and Bounce Motions of Single – Passenger Of f-Road Vehicles",*Vehicle System Dynamics Supplement*,37:173-188
- Gobbi,M.ve Mastinu, G.(1998),"Expected Fatigue Damage of Road Vehicles due to Road excitation"*Vehicle System Dynamics Supplement*,28:778-788
- Gouttebroze,S.ve Lardies,J.(2001),"On Using the Wavelet Transform in Modal Analysis",*Mechanical Research Communications*, 28(5):561-569
- GUO,K.(1993),"Tire Roller Contact Model for Simulation of Vehicle Vibration Input",*SAE Papers*,932008.
- Gupta,A.D.(1999),"Evaluation of a Fully Assembled Armored Vehicle Hull-Turret Model Using Computational and Experimental Modal Analyses",*Computers&Structures*, 72: 177-183.
- Horvath,S.,Michelberger, P., Szöke, D.(1984),"Influence of payload on the dynamic stress in vehicle structures"*Int. J. Of Vehicle Design*,5(4)
- Huh,K.,Kim, J. ve Hong, J. (2000),"Handling and Driving Characteristics For Six-Wheeled Vehicles"*Imech*, 214(2):159-170
- Karlsson,L. ve Boman,P.(1987),"Transient Dynamic Analysis of a Linear Model of a Bus",*Vehicle System Dynamics*,16:75-89
- Koizumi,T., Tsujiuchi,N., Sawabe,S., Kubomoto,I.ve Ishido,E.(1998),"Structural Optimization of Tractor Frame For Noise Reduction,Proceedings of the 4th International Conference on Motion and Vibration Control (MOVIC), ETH Zurich, Swizerland.
- Konghui, G.(1993),"The Roller Contact Model for Simulation of Vehicle Vibration Input",*ASME* 932008
- KORKMAZ,S. ve KARADAĞ,V.(1990),"Bir Aracın Titreşimlerinin Sonlu Elemanlar-Transfer Matris Tekniği İle Çözümü"4.Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu, Eylül 1990, Yalova -İSTANBUL.
- Korkmaz,S., Karadağ,V.(1990),"Bir Aracın Titreşimlerinin Sonlu Elemanlar- Transfer Matris Tekniği ile Çözümü",4. Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu,Yalova-İstanbul
- Kuti,I.(2001),"Simulation of Vehicle Motions on the Basis of the Finite Element Method",*Vehicle System Dynamics*,36(6):445-469
- Michelberger,P., Szöke,D.(1985),"Speed-dependent Vertical Vibrations of Elastic Vehicle Bodies",*Int Journal of Vehicle Design*,8:1
- Michelberger,P.,Keresztes, A., Bokor, J.ve Varlaki,P.(1988),"Modelling and identification of bus axle and frame structure dynamics,*Int. J.of Vehicle design*,9(1):123-130
- Monaghan,D. J.,Lee, K. Y.,Armstrong, C. G.ve Ou, H.(2000),"Mixed Dimensional Finite Element Analysis of Frame Models ",*JSC*-343:1-7

- Nishio, Shinji , Igarashi, M. (1990), "Investigation of car body structural optimization method" *Int. J. Of Vehicle Design*, 11(1)
- Özlü, F. ve Güney, A. (1997), "Taşıt Seyir Emniyeti ve Titreşim Konforuna Etkisi Bakımından Pnömatik Tekerleğin Sönümü", *Mühendis ve Makina*, 40(447):17-24
- Peter, T. ve Bellay, A. (1986), "Integral Transformation of Road Profile Excitation Spectra for Variable Vehicle Speeds", *Vehicle System Dynamics*, 15:19-40.
- Quing-zu, S., Qiong-he X., Zhun Z. ve Zhang Y. (1988), "Dynamic Modification Applied to the Design of the Handle of a Walking Tractor", *Vehicle System Dynamics*, 17:367-378
- Ramumurti, V. ve Sujatha, C. (1990), "Bus Vibration Study – finite Element Modelling and Determination of the Eigenpairs", *Int. J. Of Vehicle Design*, 11(4/5):20,35
- Robson J.D., Dodds, C.J. (1975/76), "Stochastic road inputs and vehicle response " *Vehicle System Dynamics*, 5:1-13
- Rouillard, V., Sek, M. ve Perry, T. (1996), "Analysis and Simulation of Road Profiles", *Journal of Transportation Engineering*, 1996(5):241
- Soron, V.H. ve Goel, V.K. (2000), "Rolling Dynamic Stiffness and Damping Characteristics of Small-sized Pneumatic Tyres ", *Technical Note, Vehicle Dynamics Laboratory, Roorke, India*
- Valasek, M., Stejskal, V., Sika, Z., Vaculin, O. ve Kovanda, J. (1998), "Dynamic Model of Truck For Suspension Control", *Vehicle System Dynamics Supplement*, 28:496-505
- Wang, Z., Li, J., Qu, X., Zhang, B. ve Tong, L. (1990), "The Research on the Limited Speed of the 4x4 Off-road Vehicle on Uneven Road", *Jilin Univ of Technology, Terrain-Vehicle Mechanics*.
- Wang, M.L., Heo, G. ve Satpathi, D. (1997), "Dynamic Characterization of a long span bridge : a finite element base approach" *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 16:503-512
- Wang, Z., Li, J., Qiu, X., Bao-Sheng, Z. ve Tong, L. (1999), "The Research on the Limited Speed of the 4x4 Off-Road Vehicle on Uneven Road,

EKLER

Ek 1	Altı Tekerlekli Taşıt İçin Tek Serbestlik Dereceli Model İçin Kütle, Sönüm Ve Rijitlik Matrisleri
Ek 2	Altı Tekerlekli Taşıt İçin İki Serbestlik Dereceli Model İçin Kütle, Sönüm Ve Rijitlik Matrisleri
Ek 3	Altı Tekerlekli Süspansiyonlu Taşıt İçin İki Serbestlik Dereceli Model İçin Kütle, Sönüm Ve Rijitlik Matrisleri
Ek 4	Altı Tekerlekli Süspansiyonlu Taşıt İçin Beş Serbestlik Dereceli Model İçin Kütle, Sönüm Ve Rijitlik Matrisleri
Ek 5	Altı Tekerlekli Süspansiyonlu Taşıt İçin Beş Serbestlik Dereceli Model İçin Kütle, Sönüm Ve Rijitlik Matrisleri
Ek 6	Altı Tekerlekli Süspansiyonlu Taşıt İçin Dokuz Serbestlik Dereceli Model İçin Kütle, Sönüm Ve Rijitlik Matrisleri
Ek7	Altı Tekerlekli Taşıt Ait Durum Uzayı Sistem Matrisleri
Ek8	6x6 Askeri Taşıtın Fiziksel özellikleri
Ek9	Frekans cevap eğrilerinin elde edilmesinde kullanılan MATLAB programı
Ek10	Taşıt modellerinin frekans cevap eğrileri
Ek11	Yüklü Anfibik Taşıt İçin Mod Şekilleri
Ek12	Yüksüz Anfibik Taşıtın Mod Şekilleri
Ek13	Yüklü Anfibik Olmayan Taşıtın Mod Şekilleri
Ek14	Yüksüz Anfibik Olmayan Taşıtın Mod Şekilleri
Ek15	Anfibik Taşıt Üzerine Eklenen Kütlelerin Koordinatları
Ek16	Anfibik Olmayan Taşıt Üzerine Eklenen Kütlelerin Koordinatları
Ek17	Taşıt Yapısını Oluşturan Kirişlerin Profilleri Ve Mukavemet Değerleri

Ek 1. Altı Tekerlekli Taşıt İçin Tek Serbestlik Dereceli Model İçin Kütle, Sönüm Ve Rijitlik Matrisleri

Kütle matrisi;

$$M = [m]$$

Sönüm matrisi;

$$C = [c]$$

Rijitlik matrisi;

$$K = [k]$$

Ek 2. Altı Tekerlekli Taşıt İçin İki Serbestlik Dereceli Model İçin Kütle, Sönüm Ve Rijitlik Matrisleri

Kütle matrisi

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & j_z \end{bmatrix}$$

Sönüm matrisi elemanları;

$$C = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 + c_3 & -c_1 * L_3 + c_2 * L_1 + c_3 * L_2 \\ -c_1 * L_3 + c_2 * L_1 + c_3 * L_2 & -c_1 L_3^2 + c_2 L_1^2 + c_3 L_2^2 \end{bmatrix}$$

Rijitlik matrisi elemanları;

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 + k_3 & -k_1 * L_3 + k_2 * L_1 + k_3 * L_2 \\ -k_1 * L_3 + k_2 * L_1 + k_3 * L_2 & -k_1 L_3^2 + k_2 L_1^2 + k_3 L_2^2 \end{bmatrix}$$

Ek.3 Altı Tekerlekli Taşıt İçin Üç Serbestlik Dereceli Model İçin Kütle, Sönüm Ve Rijitlik Matrisleri

Kütle matrisi elemanları;

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & j_z & 0 \\ 0 & 0 & j_{yy} \end{bmatrix}$$

Sönüm matrisi elemanları;

$$C = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + c_5 + c_6 & c_1 L_3 - c_2 L_1 - c_3 (L_1 + L_2) + c_4 L_3 & -c_5 L_1 - c_6 (L_1 + L_2) & \frac{T_e}{2} (-c_1 - c_2 - c_3 + c_4 + c_5 + c_6) \\ c_1 L_3 - c_2 L_1 - c_3 (L_1 + L_2) + c_4 L_3 & c_1 L_3^2 + c_2 L_1^2 + c_3 (L_1 + L_2)^2 + c_4 L_3^2 & + c_3 L_1^2 + c_6 (L_1 + L_2)^2 & \frac{T_e}{2} (-c_1 L_3 + c_2 L_1 + c_3 (L_1 + L_2) + c_4 L_3 - c_5 L_1 - c_6 (L_1 + L_2)) \\ -c_5 L_1 - c_6 (L_1 + L_2) & \frac{T_e}{2} (-c_1 L_3 + c_2 L_1 + c_3 (L_1 + L_2) + c_4 L_3 - c_5 L_1 - c_6 (L_1 + L_2)) & -c_5 L_1 - c_6 (L_1 + L_2) & \frac{T_e^2}{4} (c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + c_5 + c_6) \end{bmatrix}$$

Rijitlik matrisi elemanları;

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5 + k_6 & k_1 L_3 - k_2 L_1 - k_3 (L_1 + L_2) + k_4 L_3 - k_5 L_1 - k_6 (L_1 + L_2) & \frac{T_e}{2} (-k_1 - k_2 - k_3 + k_4 + k_5 + k_6) \\ k_1 L_3 - k_2 L_1 - k_3 (L_1 + L_2) + k_4 L_3 - k_5 L_1 - k_6 (L_1 + L_2) & k_1 L_3^2 + k_2 L_1^2 + k_3 (L_1 + L_2)^2 + k_4 L_3^2 + k_5 L_1^2 + k_6 (L_1 + L_2)^2 & \frac{T_e}{2} (-k_1 L_3 + k_2 L_1 + k_3 (L_1 + L_2) + k_4 L_3 - k_5 L_1 - k_6 (L_1 + L_2)) \\ \frac{T_e}{2} (-k_1 - k_2 - k_3 + k_4 + k_5 + k_6) & \frac{T_e}{2} (-k_1 L_3 + k_2 L_1 + k_3 (L_1 + L_2) + k_4 L_3 - k_5 L_1 - k_6 (L_1 + L_2)) & \frac{T_e^2}{4} (k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5 + k_6) \end{bmatrix}$$

Ek-4 Altı Tekerlekli Süspansiyonlu Taşıt İçin İki Serbestlik Dereceli Model İçin Kütle, Sönüm Ve Rijitlik Matrisleri

Kütle matrisi elemanları;

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix}$$

Sönüm matrisi elemanları;

$$C = \begin{bmatrix} c_1 & -c_1 \\ -c_1 & c_1 + c_2 \end{bmatrix}$$

Rijitlik matrisi elemanları;

$$K = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 \\ -k_1 & k_1 + k_2 \end{bmatrix}$$

Ek.5 Altı Tekerlekli Süspansiyonlu Taşıt İçin Beş Serbestlik Dereceli Model İçin Kütle, Sönüm Ve Rijitlik Matrisleri

Kütle matrisi elemanları;

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & j_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_4 \end{bmatrix}$$

Sönüm matrisi elemanları;

$$C = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 + c_3 & -c_1 L_3 + c_2 L_1 + c_3 L_2 & -c_1 & -c_2 & -c_3 \\ -c_1 L_3 + c_2 L_1 + c_3 L_2 & c_1 L_3^2 + c_2 L_1^2 + c_3 L_2^2 & c_1 L_3 & -c_2 L_1 & -c_3 L_2 \\ -c_1 & c_1 L_3 & c_1 + c_4 & 0 & 0 \\ -c_2 & -c_2 L_1 & 0 & c_2 + c_2 & 0 \\ -c_3 & -c_3 L_2 & 0 & 0 & c_3 + c_6 \end{bmatrix}$$

Rijitlik matrisi elemanları;

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 + k_3 & -k_1 L_3 + k_2 L_1 + k_3 L_2 & -k_1 & -k_2 & -k_3 \\ -k_1 L_3 + k_2 L_1 + k_3 L_2 & k_1 L_3^2 + k_2 L_1^2 + k_3 L_2^2 & k_1 L_3 & -k_2 L_1 & -k_3 L_2 \\ -k_1 & k_1 L_3 & k_1 + k_4 & 0 & 0 \\ -k_2 & -k_2 L_1 & 0 & k_2 + k_2 & 0 \\ -k_3 & -k_3 L_2 & 0 & 0 & k_3 + k_6 \end{bmatrix}$$

Ek.6 Altı Tekerlekli Süspansiyonlu Taşıt İçin Dokuz Serbestlik Dereceli Model İçin Kütle, Sönüm Ve Rijitlik Matrisleri

Kütle matrisi elemanları;

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & j_z & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & j_y & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_7 \end{bmatrix}$$

Sönüm matrisi elemanları;

$$C = \begin{bmatrix} c_1+c_2+c_3+c_7+c_8+c_9 & -c_1L_3+c_2L_1+c_3L_2+c_7L_2+c_8L_1-c_9L_3 & c_1L_3^2+c_2L_1^2+c_3L_2^2+c_7L_2^2+c_8L_1^2+c_9L_3^2 & (c_1+c_2+c_3+c_7+c_8+c_9)\frac{T_e}{4} & c_1+c_4 & 0 & c_2+c_5 & 0 & c_3+c_6 & 0 & 0 & c_7+c_{10} & 0 & c_8+c_{11} & 0 & c_9+c_{12} \\ (-c_1-c_2-c_3+c_7+c_8+c_9)\frac{T_e}{2} & (c_1L_3-c_2L_1-c_3L_2+c_7L_2+c_8L_1-c_9L_3)\frac{T_e}{2} & (c_1L_3-c_2L_1-c_3L_2+c_7L_2+c_8L_1-c_9L_3)\frac{T_e}{2} & (c_1+c_2+c_3+c_7+c_8+c_9)\frac{T_e}{4} & c_1+c_4 & 0 & c_2+c_5 & 0 & c_3+c_6 & 0 & 0 & c_7+c_{10} & 0 & c_8+c_{11} & 0 & c_9+c_{12} \\ -c_1 & c_1L_3 & c_1L_3 & c_1\frac{T_e}{2} & c_1+c_4 & 0 & c_2+c_5 & 0 & c_3+c_6 & 0 & 0 & c_7+c_{10} & 0 & c_8+c_{11} & 0 & c_9+c_{12} \\ -c_2 & -c_2L_1 & -c_2L_1 & c_2\frac{T_e}{2} & c_1+c_4 & 0 & c_2+c_5 & 0 & c_3+c_6 & 0 & 0 & c_7+c_{10} & 0 & c_8+c_{11} & 0 & c_9+c_{12} \\ -c_3 & -c_3L_2 & -c_3L_2 & c_3\frac{T_e}{2} & c_1+c_4 & 0 & c_2+c_5 & 0 & c_3+c_6 & 0 & 0 & c_7+c_{10} & 0 & c_8+c_{11} & 0 & c_9+c_{12} \\ -c_7 & -c_7L_2 & -c_7L_2 & -c_7\frac{T_e}{2} & c_1+c_4 & 0 & c_2+c_5 & 0 & c_3+c_6 & 0 & 0 & c_7+c_{10} & 0 & c_8+c_{11} & 0 & c_9+c_{12} \\ -c_8 & -c_8L_1 & -c_8L_1 & -c_8\frac{T_e}{2} & c_1+c_4 & 0 & c_2+c_5 & 0 & c_3+c_6 & 0 & 0 & c_7+c_{10} & 0 & c_8+c_{11} & 0 & c_9+c_{12} \\ -c_9 & c_9L_3 & c_9L_3 & -c_9\frac{T_e}{2} & c_1+c_4 & 0 & c_2+c_5 & 0 & c_3+c_6 & 0 & 0 & c_7+c_{10} & 0 & c_8+c_{11} & 0 & c_9+c_{12} \end{bmatrix}$$

Ek.7 Altı Tekerlekli Taşıt Ait Durum Uzayı Sistem Matrisleri

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -d_1(k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5 + k_6) & -d_2(k_1L_3 - k_2L_1 - k_3(L_1 + L_2) + k_4L_3 - k_5L_1 - k_6(L_1 + L_2)) & -d_3\frac{T_e}{2}(-k_1 - k_2 - k_3 + k_4 + k_5 + k_6) \\ 0 & 0 & 0 & -d_1(k_1L_3 - k_2L_1 - k_3(L_1 + L_2) + k_4L_3 - k_5L_1 - k_6(L_1 + L_2)) & -d_2(k_1L_3^2 + k_2L_1^2 + k_3(L_1 + L_2)^2 + k_4L_3^2 - k_5L_1^2 + k_6(L_1 + L_2)^2) & -d_3\frac{T_e}{2}(-k_1L_3 + k_2L_1 + k_3(L_1 + L_2) + k_4L_3 - k_5L_1 - k_6(L_1 + L_2)) \\ 0 & 0 & 0 & -d_1\frac{T_e}{2}(-k_1 - k_2 - k_3 + k_4 + k_5 + k_6) & -d_2\frac{T_e}{2}(-k_1L_3 + k_2L_1 + k_3(L_1 + L_2) + k_4L_3 - k_5L_1 - k_6(L_1 + L_2)) & -d_1\frac{T_e^2}{2}(k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5 + k_6) \\ 1 & 0 & 0 & -d_1(c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + c_5 + c_6) & -d_2(c_1L_3 - c_2L_1 - c_3(L_1 + L_2) + c_4L_3 - c_5L_1 - c_6(L_1 + L_2)) & -d_3\frac{T_e}{2}(-c_1 - c_2 - c_3 + c_4 + c_5 + c_6) \\ 0 & 1 & 0 & -d_1(c_1L_3 - c_2L_1 - c_3(L_1 + L_2) + c_4L_3 - c_5L_1 - c_6(L_1 + L_2)) & -d_2(c_1L_3^2 + c_2L_1^2 + c_3(L_1 + L_2)^2 + c_4L_3^2 - c_5L_1^2 + c_6(L_1 + L_2)^2) & -d_2\frac{T_e}{2}(-c_1L_3 + c_2L_1 + c_3(L_1 + L_2) + c_4L_3 - c_5L_1 - c_6(L_1 + L_2)) \\ 0 & 0 & 1 & -d_1\frac{T_e}{2}(-c_1 - c_2 - c_3 + c_4 + c_5 + c_6) & -d_2\frac{T_e}{2}(-c_1L_3 + c_2L_1 + c_3(L_1 + L_2) + c_4L_3 - c_5L_1 - c_6(L_1 + L_2)) & -d_1\frac{T_e^2}{2}(c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + c_5 + c_6) \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_1 d_1 & k_2 d_1 & k_3 d_1 & k_4 d_1 & k_5 d_1 & k_6 d_1 & c_1 d_1 & c_2 d_1 & c_3 d_1 & c_5 d_1 \\ k_1 d_2 L_3 & -k_2 d_2 L_1 & -k_3 d_2 (L_2 + L_1) & k_4 d_2 L_3 & -k_5 d_2 L_1 & -k_6 d_2 (L_2 + L_1) & c_1 d_2 L_3 & -c_2 d_2 L_1 & -c_3 d_2 (L_2 + L_1) & -c_5 d_2 L_1 \\ -k_1 d_3 \frac{T_e}{2} & -k_2 d_3 \frac{T_e}{2} & -k_3 d_3 \frac{T_e}{2} & k_4 d_3 \frac{T_e}{2} & k_5 d_3 \frac{T_e}{2} & k_6 d_3 \frac{T_e}{2} & -c_1 d_3 \frac{T_e}{2} & -c_2 d_3 \frac{T_e}{2} & -c_3 d_3 \frac{T_e}{2} & c_5 d_3 \frac{T_e}{2} \end{bmatrix}$$

Ek.8 6x6 Askeri Taşıtın Fiziksel özellikleri

G	:	Taşıtın Ağırlığı [kg]
Fö	:	Taşıtın Ön Aks Ağırlığı [kg]
Fa	:	Taşıtın Arka Aks Ağırlığı [kg]
L	:	Akslar Arası Mesafe [mm]
S	:	İz Genişliği [mm]
Lö	:	Ağırlık Merkezinin Ön Aksa Olan Uzaklığı [mm]
La	:	Ağırlık Merkezinin Arka Aksa Olan Uzaklığı [mm]
h	:	Ağırlık Merkezinin Yerden Yüksekliği [mm]
H	:	Taşıt Aksının Yerden Kaldırma Mesafesi [mm]
Rst	:	Tekerleğin Statik Yarıçapı [mm]
FöH	:	Taşıtın Yerden H Kadar Kaldırılan Aksının Ağırlığı [kg]

6x6 KAROSERSİZ TAŞITLAR YÜKSÜZ DURUMDA

L	S	Rst	Fö	Fa	FöH	H	G
1860	1640	396	1167	1263	1095	390	2430
La	Lö	AÇI	h				
967	893	12,10	653				
DEVİRİLMİYE AÇILARI							
YAN		ÖN/ARKA			YÖN		
51,5		53,8			ARKAYA		

6x6 KAROSERSİZ TAŞITLAR YÜKLÜ DURUMDA

L	S	Rst	Fö	Fa	FöH	H	G
1860	1640	396	1397	1290	1305	385	2687
La	Lö	AÇI	h				
893	967	11,95	697				
DEVİRİLMİ AÇILARI							
YAN		ÖN/ARKA			YÖN		
49,6		54,2			ÖNE		

Deneyler 07 mart 1997, i.t.ü. motorlar laboratuvarı (ayazağa) nda yapılmıştır.

Ek 9. Frekans cevap eğrilerinin elde edilmesinde kullanılan MATLAB programı

```

m1=2430;
Jyy=963.1;
Jzz=2950;
k1=527840;
k2=527840;
k3=527840;
k4=527840;
k5=527840;
k6=527840;
c1=2649;
c2=2649;
c3=2649;
c4=2649;
c5=2649;
c6=2649;
L3=0.967;
L2=0.930;
L1=0.0375;
%te=1.930;
te=1.8;
%V=20;
%m/s
%L=0.01;
%f=V/L;
%wy=2*pi*f;
xy1=0.007071068;
xy2=0.007071068;
xy3=0.007071068;
xy4=0.007071068;
xy5=0.007071068;
xy6=0.007071068;
xy7=0.007071068;
xy8=0.007071068;

```

```

xy9=0.007071068;
xy10=0.0070710680;
xy11=0.007071068;
xy12=0.007071068;

```

```

format long e
maxvek=[];
sayici=0;

```

```

for w=0:1:200;
    sayici = sayici + 1;
    K=[];
    C=[];
    K(1,1)=k1+k2+k3+k4+k5+k6;
    K(2,2)=k1*L3^2+k2*L1^2+k3*(L1+L2)^2+k4*L3^2+k5*L1^2+k6*(L1+L2)^2;
    K(3,3)=k1*(te^2/4)+k2*(te^2/4)+k3*(te^2/4)+k4*(te^2/4)+k5*(te^2/4)+k6*(te^2/4);
    K(2,1)= -k1*L3+k2*L1+k3*(L1+L2)-k4*L3+k5*L1+k6*(L1+L2);
    K(1,2)= -k1*L3+k2*L1+k3*(L1+L2)-k4*L3+k5*L1+k6*(L1+L2);
    K(3,1)= k1*(te/2)+k2*(te/2)+k3*(te/2)-k4*(te/2)-k5*(te/2)-k6*(te/2);
    K(1,3)= k1*(te/2)+k2*(te/2)+k3*(te/2)-k4*(te/2)-k5*(te/2)-k6*(te/2);
    K(2,3)=-k1*(te/2)*L3+k2*(te/2)*L1+k3*(te/2)*(L1+L2)+k4*(te/2)*L3-k5*(te/2)*L1-
        k6*(te/2)*(L1+L2) ;
    K(3,2)=-k1*(te/2)*L3+k2*(te/2)*L1+k3*(te/2)*(L1+L2)+k4*(te/2)*L3-k5*(te/2)*L1-
        k6*(te/2)*(L1+L2) ;

    C(1,1)=(c1+c2+c3+c4+c5+c6);
    C(2,2)=(c1*L3^2+c2*L1^2+c3*(L1+L2)^2+c4*L3^2+c5*L1^2+c6*(L1+L2)^2) ;
    C(3,3)= (c1*(te^2/4)+c2*(te^2/4)+c3*(te^2/4)+c4*(te^2/4)+c5*(te^2/4)+c6*(te^2/4));

    C(1,2)= (-c1*L3+c2*L1+c3*(L1+L2)-c4*L3+c5*L1+c6*(L1+L2));

```

$$C(2,1)=(-c1*L3+c2*L1+c3*(L1+L2)-c4*L3+c5*L1+c6*(L1+L2));$$

$$C(1,3)=(c1*(te/2)+c2*(te/2)+c3*(te/2)-c4*(te/2)-c5*(te/2)-c6*(te/2));$$

$$C(3,1)=(c1*(te/2)+c2*(te/2)+c3*(te/2)-c4*(te/2)-c5*(te/2)-c6*(te/2));$$

$$C(2,3)=(-c1*(te/2)*L3+c2*(te/2)*L1+c3*(te/2)*(L1+L2)+c4*(te/2)*L3-c5*(te/2)*L1-c6*(te/2)*(L1+L2));$$

$$C(3,2)=(-c1*(te/2)*L3+c2*(te/2)*L1+c3*(te/2)*(L1+L2)+c4*(te/2)*L3-c5*(te/2)*L1-c6*(te/2)*(L1+L2));$$

$$M=[\begin{matrix} m1 & 0 & 0 \\ 0 & Jzz & 0 \\ 0 & 0 & Jyy \end{matrix}];$$

$$A=[(K-M*w^2) \quad -w*C \\ w*C \quad (K-M*w^2)];$$

$$F=[\begin{matrix} k3 & k2 & k1 & k6 & k5 & k4 & -c3*w & -c2*w & -c1*w & -c6*w & -c5*w & -c4*w \\ k3*(L1+L2) & k2*L1 & -k1*L3 & k6*(L1+L2) & k5*L1 & -k4*L3 & -c3*(L1+L2)*w & -c2*L1*w & c1*L3*w & -c6*(L1+L2)*w & -c5*L1*w & c4*L3*w \\ k3*(te/2) & k2*(te/2) & k1*(te/2) & -k6*(te/2) & -k5*(te/2) & -k4*(te/2) & -c3*(te/2)*w & -c2*(te/2)*w & -c1*(te/2)*w & c6*(te/2)*w & c5*(te/2)*w & c4*(te/2)*w \\ c3*w & c2*w & c1*w & c6*w & c5*w & c4*w & k3 & k2 & k1 & k6 & k5 & k4 \\ c3*(L1+L2)*w & c2*L1*w & -c1*L3*w & c6*(L1+L2)*w & c5*L1*w & -c4*L3*w & k3*(L1+L2) & k2*L1 & -k1*L3 & k6*(L1+L2) & k5*L1 & -k4*L3 \\ c3*(te/2)*w & c2*(te/2)*w & c1*(te/2)*w & -c6*(te/2)*w & -c5*(te/2)*w & -c4*(te/2)*w & k3*(te/2) & k2*(te/2) & k1*(te/2) & -k6*(te/2) & -k5*(te/2) & -k4*(te/2) \end{matrix}];$$

```

xy=[xy1
    xy2
    xy3
    xy4
    xy5
    xy6
    xy7
    xy8
    xy9
    xy10
    xy11
    xy12];

```

```

F1=F*xy;
B=inv(A)*F1;

```

```

maxvek(sayici,1)= sqrt((B(1,1)^2)+(B(4,1)^2));
maxvek(sayici,2)= sqrt((B(2,1)^2)+(B(5,1)^2));
maxvek(sayici,3)= sqrt((B(3,1)^2)+(B(6,1)^2));

```

```

end

```

```

w=0:1:200;
f=w/(2*pi);

```

```

hold on

```

```

%subplot(3,1,1),plot(w,maxvek(:,1)),title('m1 kütlesinin max genliklerinin w ya göre
    değişimi'),xlabel('w (rad/s)'),ylabel('maksimum x1(m)')
plot(f,maxvek(:,1),'k'),title('m1 kütlesinin max genliklerinin f ye göre değişimi'),xlabel('f

```

```

        (1/s)'),ylabel('maksimum x1(m)')
hold off

figure(2)
hold on
%subplot(3,1,2),plot(w,maxvek(:,2)),title('m1 kütlesinin max dönmelerinin w ya göre
        değişimi'),xlabel('w (rad/s)'),ylabel('maksimum x2(m)')
plot(f,maxvek(:,2),'k'),title('m1 kütlesinin max dönmelerinin f ye göre değişimi'),xlabel('f
        (1/s)'),ylabel('maksimum x2(m)')
hold off

figure(3)
hold on
%subplot(3,1,3),plot(w,maxvek(:,3)),title('m1 kütlesinin max dönmelerinin w ya göre
        değişimi'),xlabel('w (rad/s)'),ylabel('maksimum x3(m)')
plot(f,maxvek(:,3),'k'),title('m1 kütlesinin max dönmelerinin f ye göre değişimi'),xlabel('f
        (1/s)'),ylabel('maksimum x3(m)')
hold off

maxyer=[];
for d=1:1:max(size(maxvek))
    maxyer(d)=max(maxvek(d,:));
end
figure(4)
hold on
plot(f,maxyer,'k'),title('m1 kütlesinin max yer degistirmelerinin f ye göre degisimi'),xlabel('f
        (1/s)'),ylabel('maksimum x3(m)')

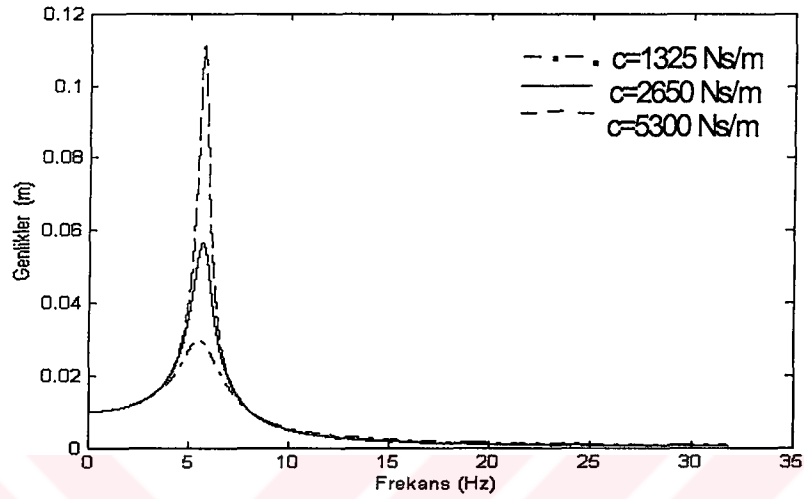
hold off

```

Ek 10. Taşıt modellerinin frekans cevap eğrileri

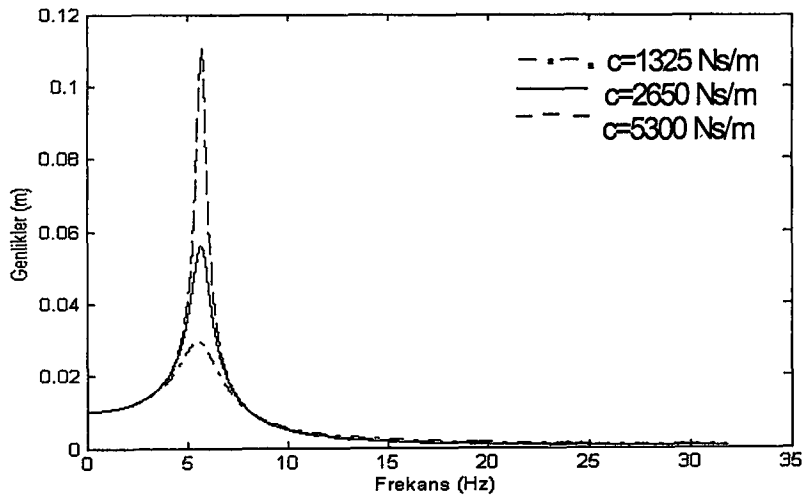
Altı tekerlekli askeri taşıta ait fiziksel değerler Ek.8 de tablo olarak verilmiştir. Taşıta ait tekerlek sönüm katsayısı $c = 2\,650\text{ Ns/m}$ ve yay katsayısı $k = 527840\text{ N/m}$ dir.

Altı tekerlekli askeri taşıtın sinoziodal yol şartlarında **tek serbestlik** dereceli modellemede frekans düzleminde farklı sönüm katsayıları için titreşim cevapları;

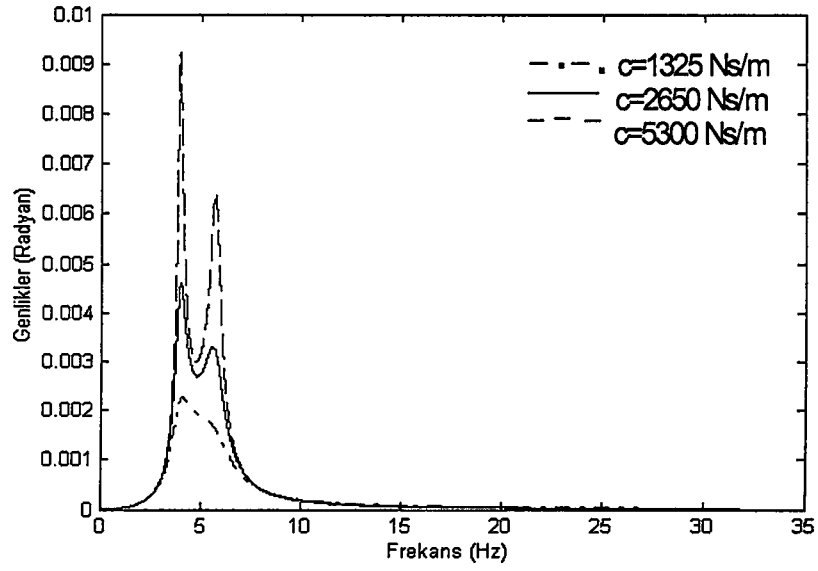


Şekil 10.1 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin maksimum düşey yer değiştirmeleri

Altı tekerlekli askeri taşıtın sinoziodal yol şartlarında **iki serbestlik** dereceli modellemede frekans düzleminde farklı sönüm katsayıları için titreşim cevapları

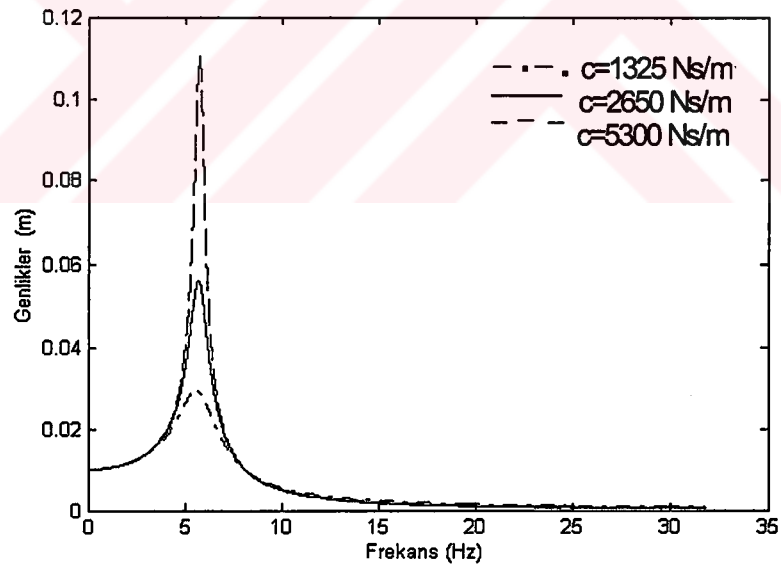


Şekil 10.2 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin maksimum düşey yer değiştirmeleri

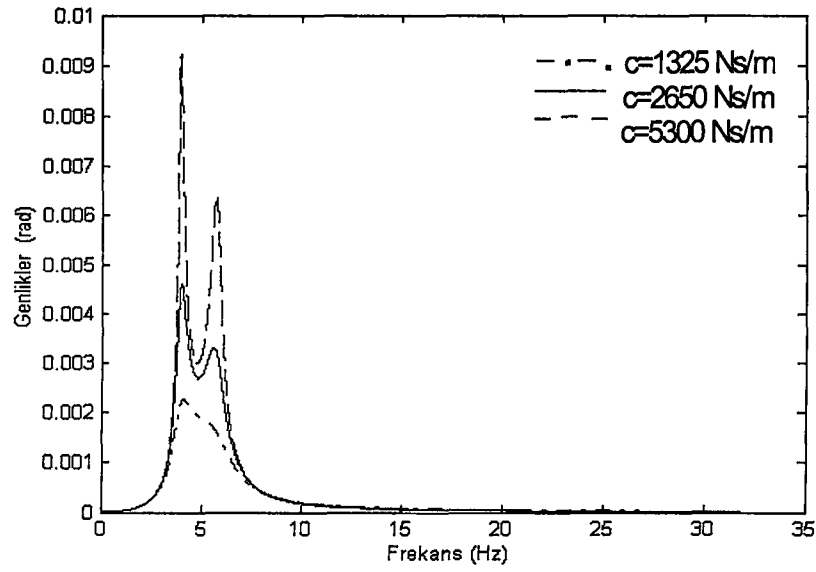


Şekil 10.3 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki maksimum açısal sapmaları (Kafa vurma)

Altı tekerlekli askeri taşıtın sinüzoidal yol şartlarında üç serbestlik dereceli modellemeye frekans düzleminde farklı sönüm katsayıları için titreşim cevapları



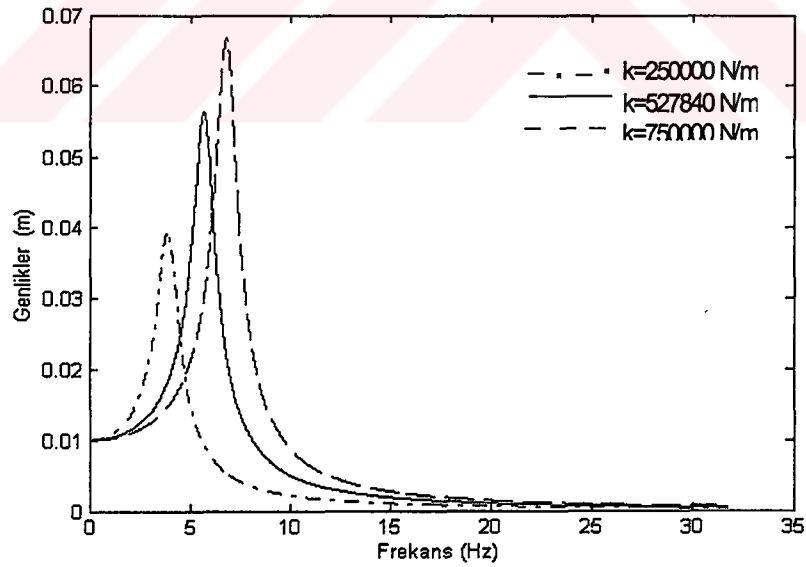
Şekil 10.4 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin maksimum düşey yer değiştirmeleri



Şekil 10.5 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin z eksenini etrafındaki maksimum açısal sapmaları (Kafa vurma)

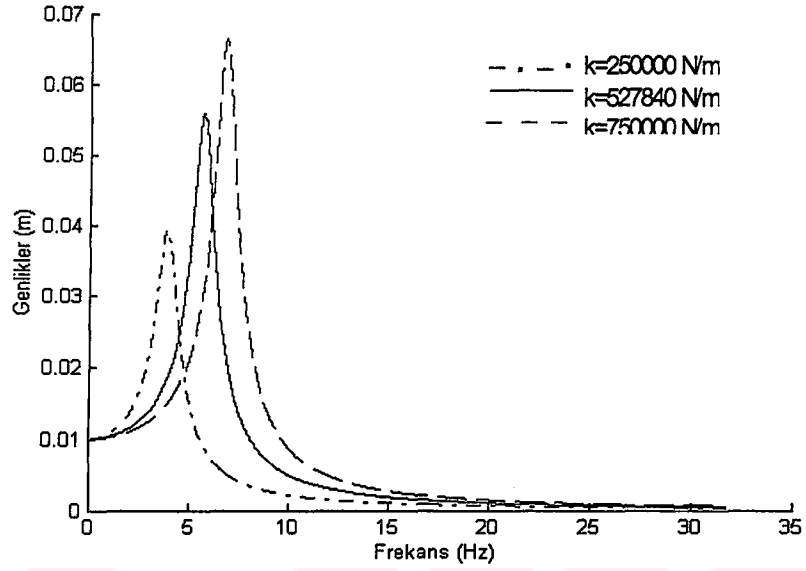
Altı tekerlekli askeri taşıtın sinüzoidal yol şartlarında **tek serbestlik** dereceli modellemeye frekans düzleminde farklı yay katsayıları için titreşim cevapları ;

Tek serbestlik dereceli sistem

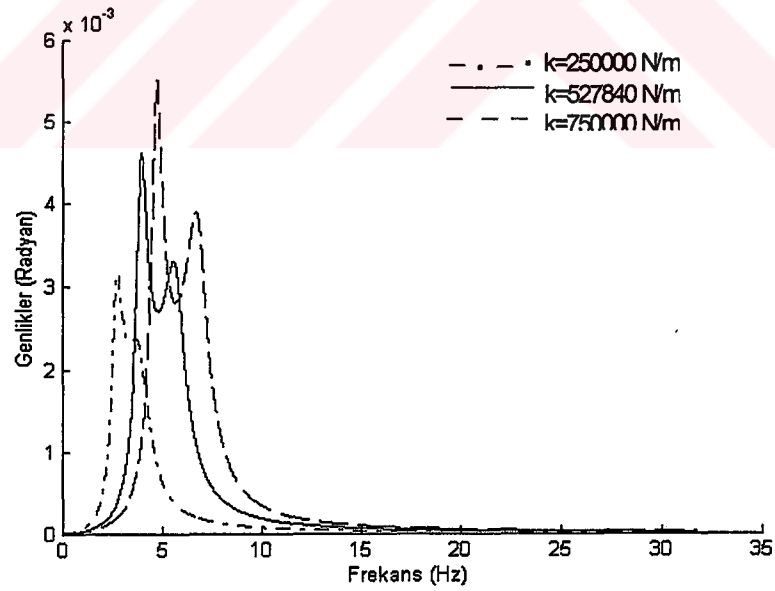


Şekil 10.6 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin maksimum düşey yer değiştirmeleri

Altı tekerlekli askeri taşıtın sinoziodal yol şartlarında **İki serbestlik dereceli** modellemede frekans düzleminde farklı yay katsayıları için titreşim cevapları ;

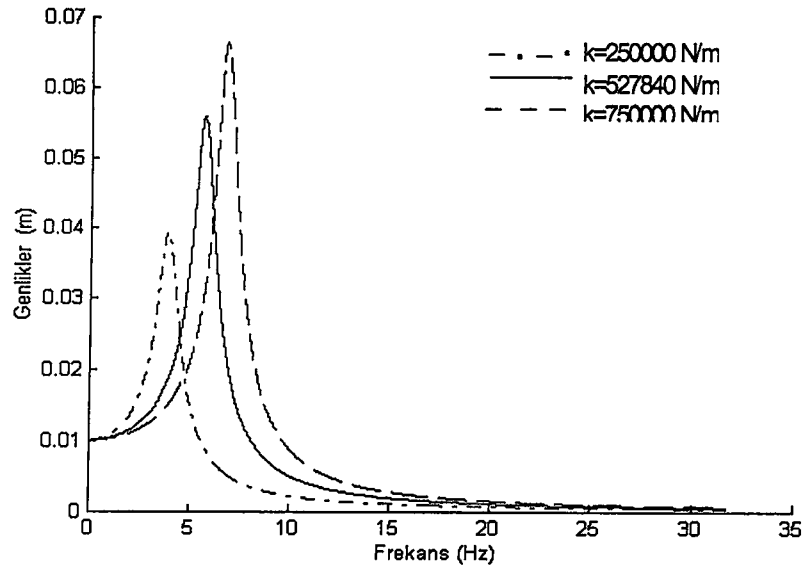


Şekil 10.7 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin maksimum düşey yer değiştirmeleri

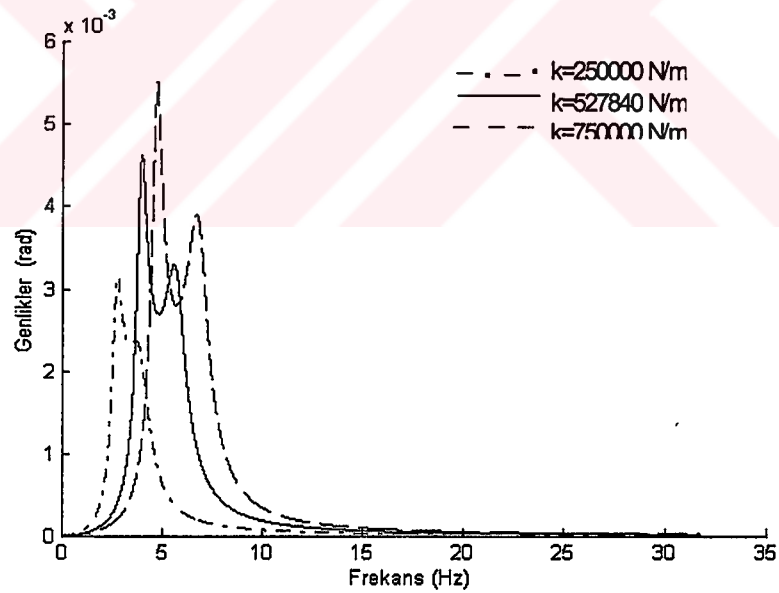


Şekil 10.8 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin z eksenine etrafındaki maksimum açısal sapmaları (Kafa vurma)

Altı tekerlekli askeri taşıtın sinoziodal yol şartlarında üç serbestlik dereceli modellemede frekans düzleminde farklı yay katsayıları için titreşim cevapları ;

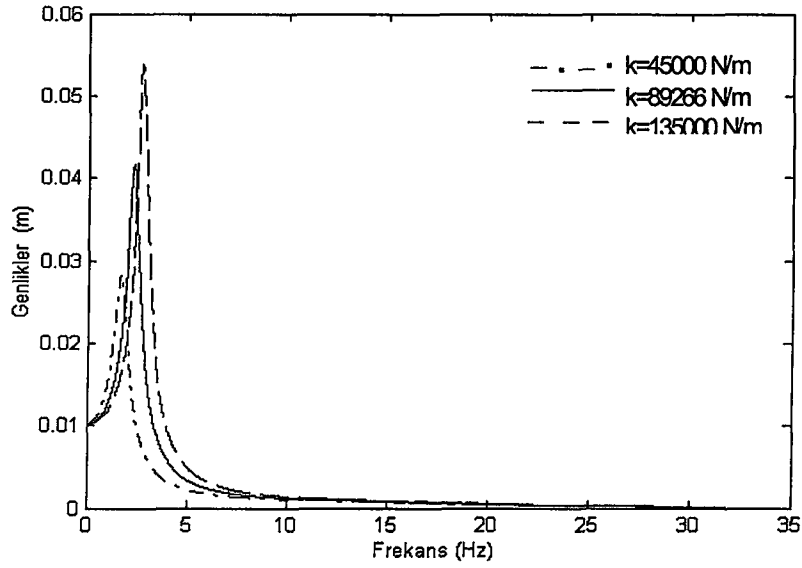


Şekil 10.9 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin maksimum düşey yer değiştirmeleri

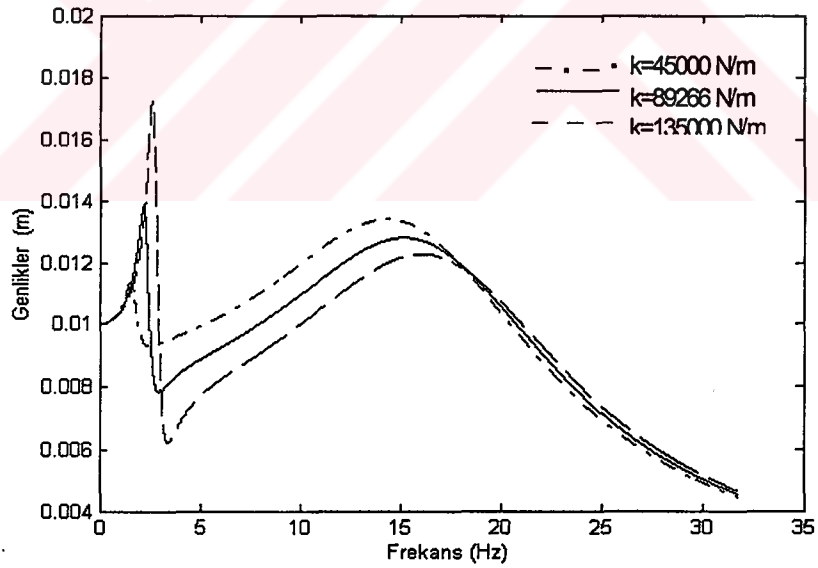


Şekil 10.10 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin z eksenine etrafındaki maksimum açısal saptmaları (Kafa vurma)

Altı tekerlekli süspansiyonlu askeri taşıtın sinüzoidal yol şartlarında tek serbestlik dereceli modellemeye frekans düzleminde farklı yay katsayıları için titreşim cevapları;

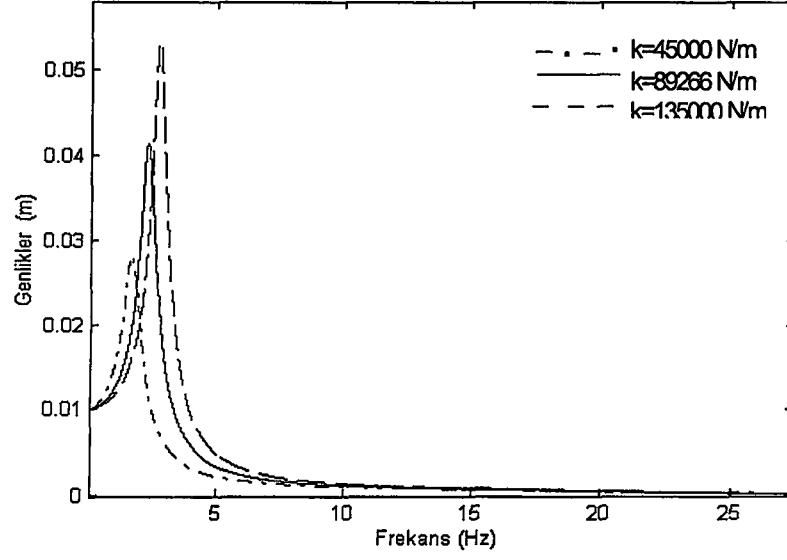


Şekil 10.11 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin(m_1 kütlesi) maksimum düşey yer değiştirmeleri

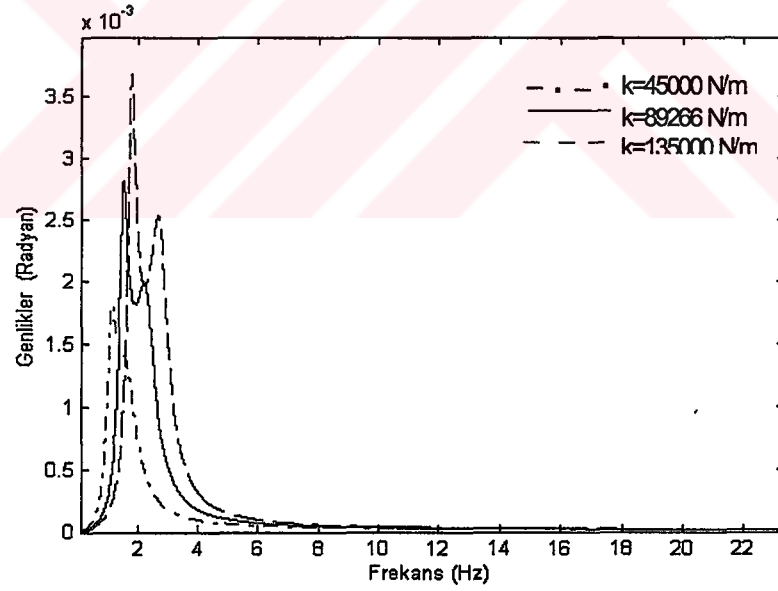


Şekil 10.12 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_2 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri

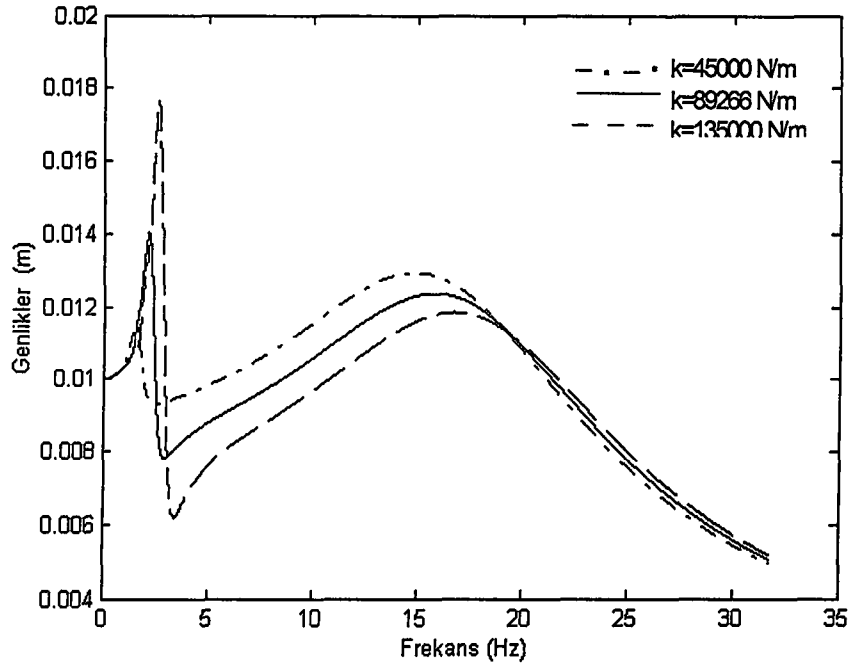
Altı tekerlekli süspansiyonlu askeri taşıtın sinozoidal yol şartlarında **beş serbestlik dereceli** modellemede frekans düzleminde farklı yay katsayıları için titreşim cevapları;



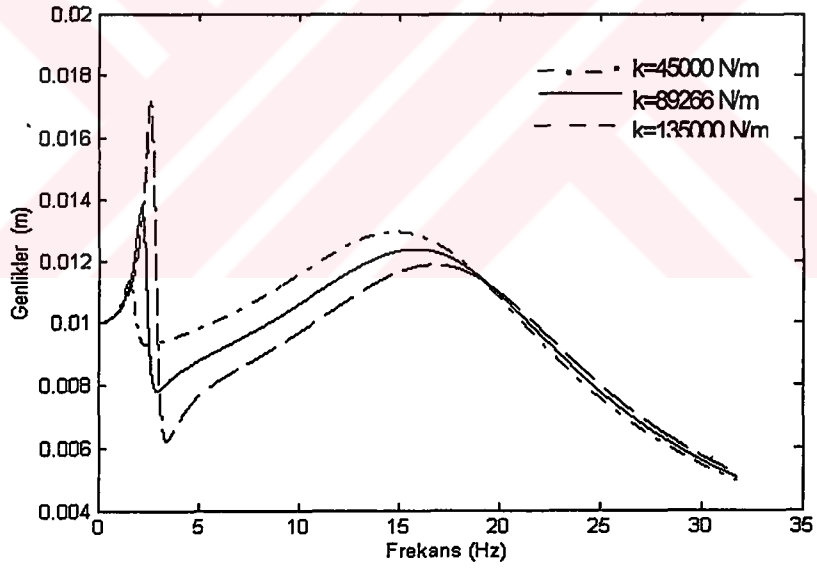
Şekil 10.13 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin (m_1 kütlesi) maksimum düşey yer değiştirmeleri



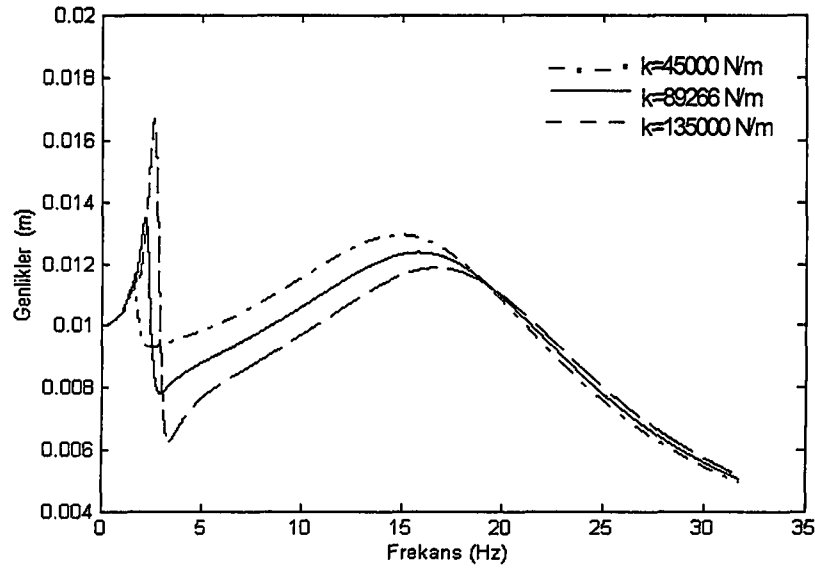
Şekil 10.14 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin (m_1 kütlesi) z eksenini etrafındaki maksimum açısal sapmaları (Kafa vurma)



Şekil 10.15 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_2 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri

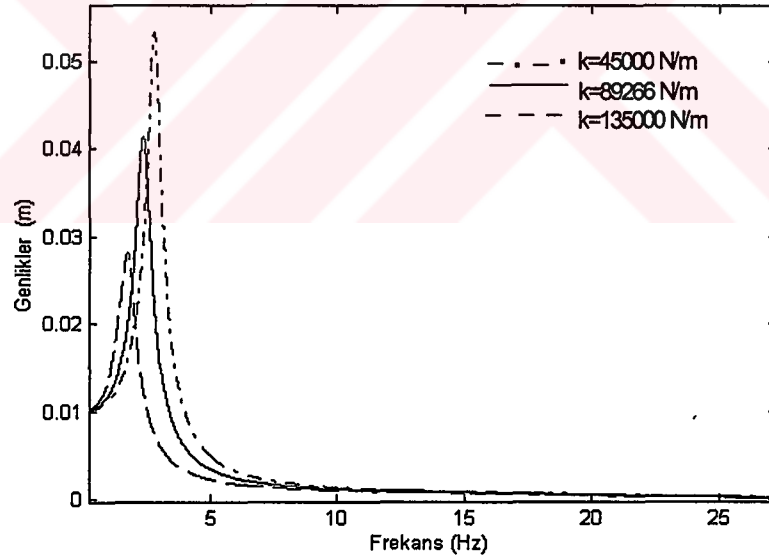


Şekil 10.16 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_3 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri

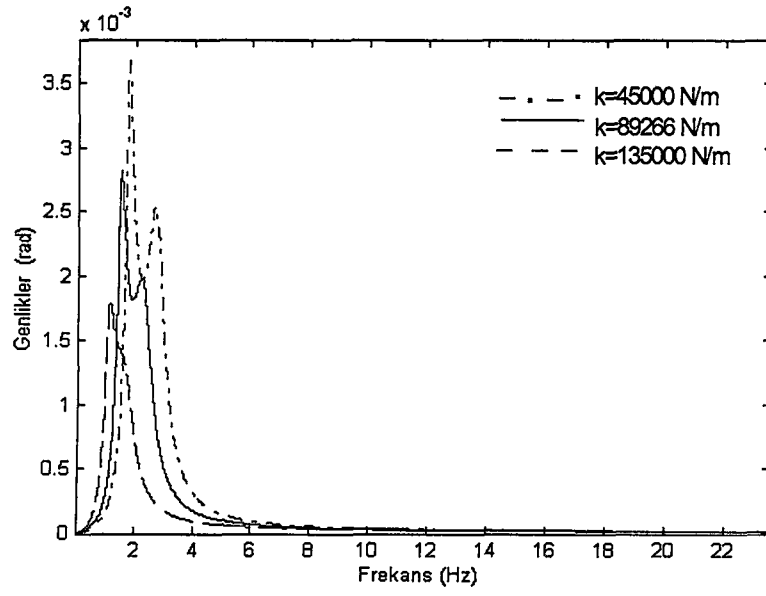


Şekil 10.17 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_4 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri

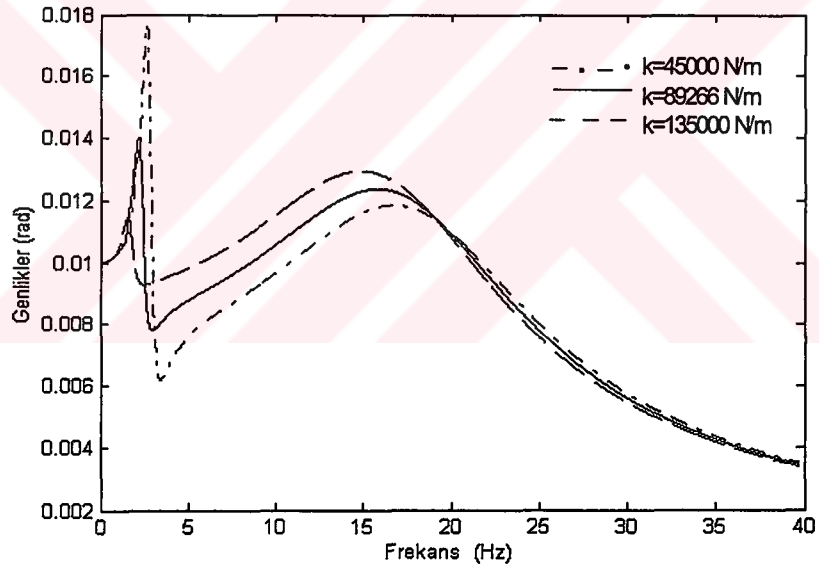
Altı tekerlekli süspansiyonlu askeri taşıtın sinüzoidal yol şartlarında **dokuz serbestlik** dereceli modellemeye frekans düzleminde farklı yay katsayıları için titreşim cevapları;



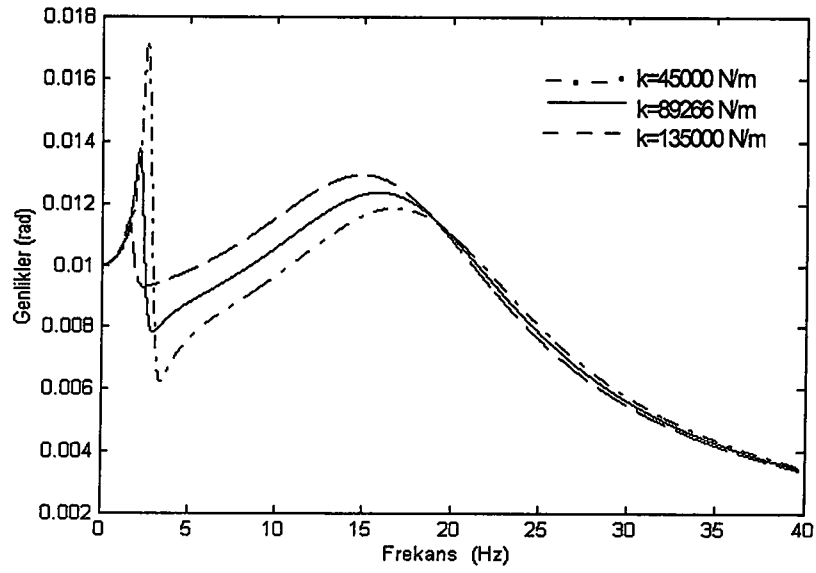
Şekil 10.18 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin(m_1 kütlesi) maksimum düşey yer değiştirmeleri



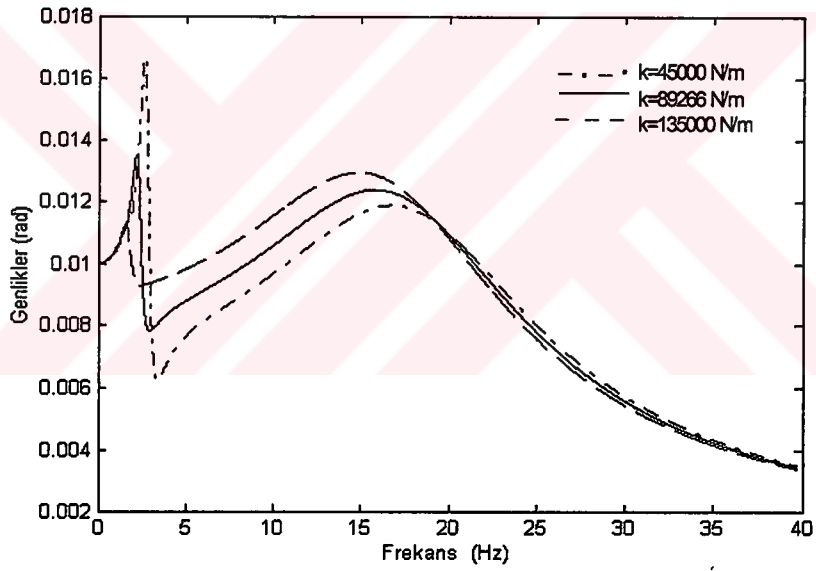
Şekil 10.19 Altı tekerlekli askeri taşıtın ağırlık merkezinin (m_1 kütlesi) z eksenini etrafındaki maksimum açısal sapmaları (Kafa vurma)



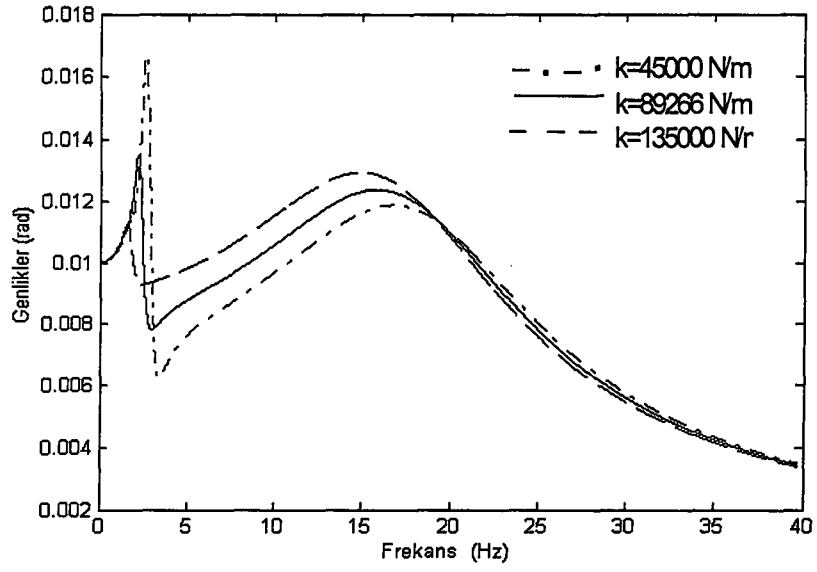
Şekil 10.20 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_2 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri



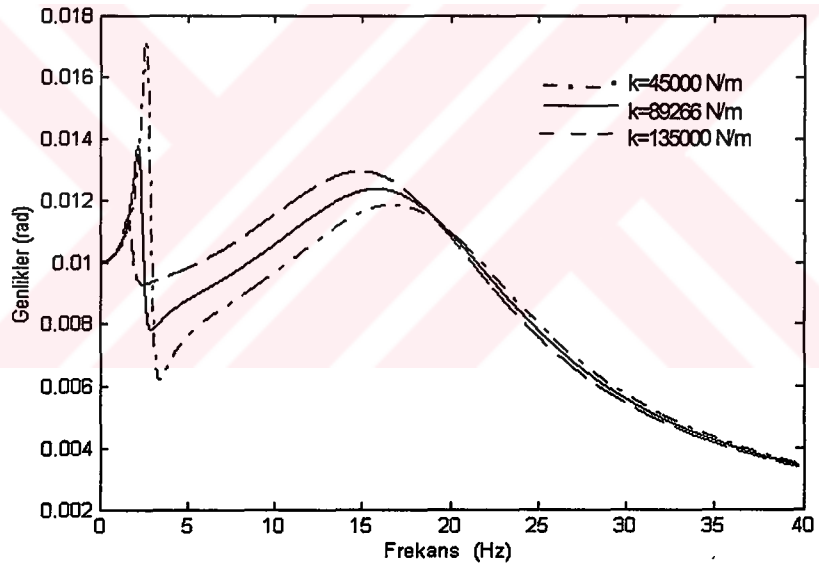
Şekil 10.21 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_3 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri



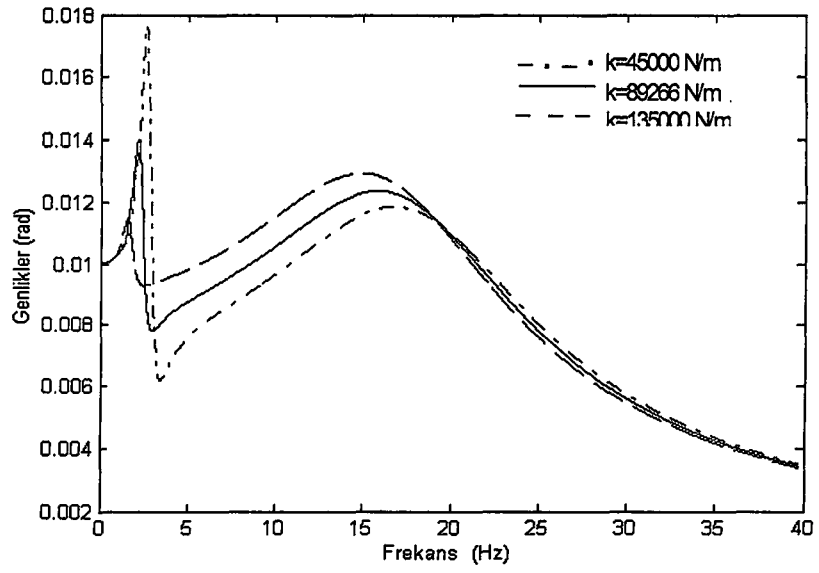
Şekil 10.22 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_4 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri



Şekil 10.23 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_5 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri



Şekil 10.24 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_6 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri

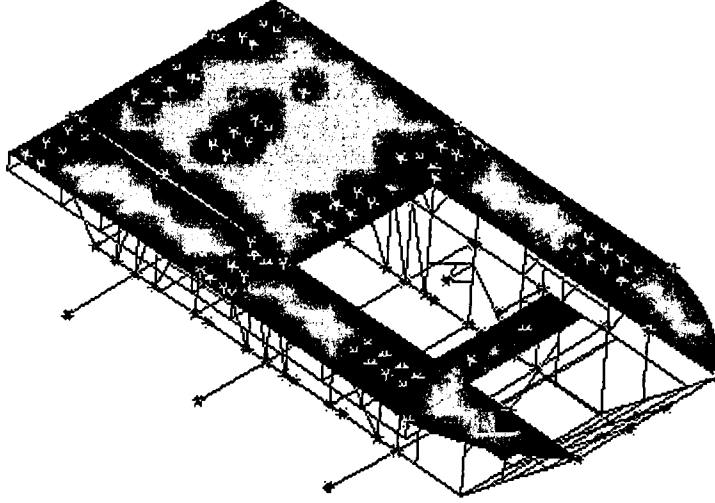


Şekil 10.25 Altı tekerlekli askeri taşıtın m_7 kütlesi maksimum düşey yer değiştirmeleri

Ek.11 Yüklü Anfibik Taşıt İçin Mod Şekilleri

AN

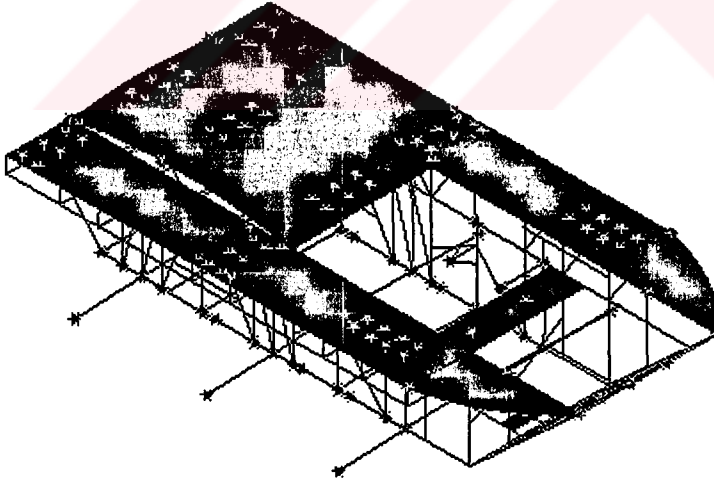
JUN 2 2002
 17:59:51
 DISPLACEMENT
 STEP=1
 SUB =1
 FREQ=3.329
 PowerGraphics
 EFACET=1
 AVRES=Mat
 DMX =.041071



Şekil 11.1 1. Mod şekli (kafa vurma)

AN

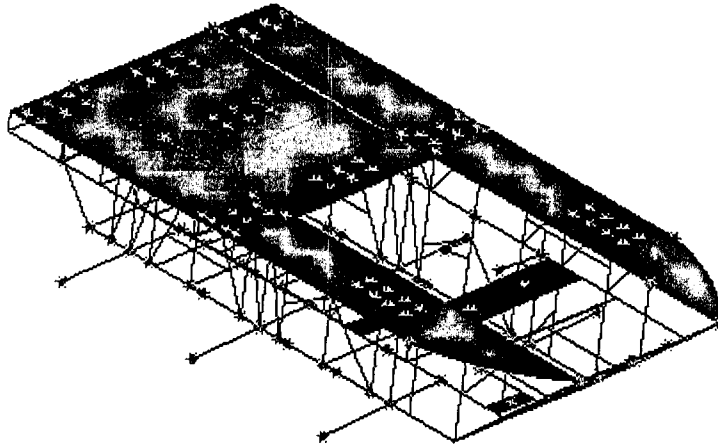
JUN 2 2002
 18:10:03
 DISPLACEMENT
 STEP=1
 SUB =2
 FREQ=4.496
 PowerGraphics
 EFACET=1
 AVRES=Mat
 DMX =.036572



Şekil 11.2 2.Mod şekli (Aşağı - Yukarı)

AN

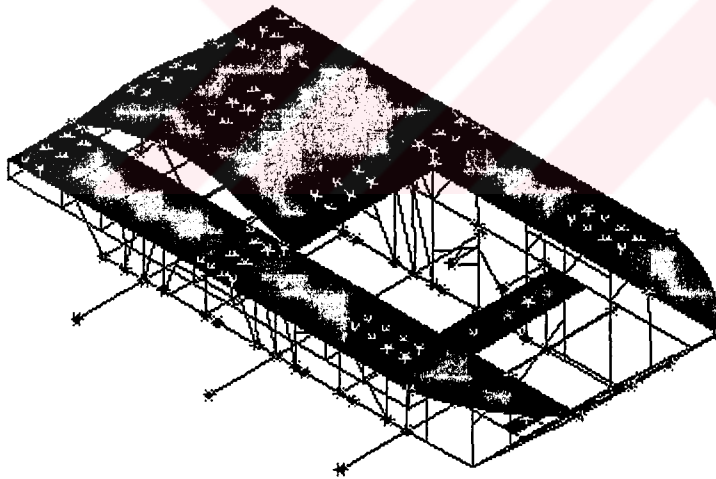
JUN 2 2002
 18:47:12
 DISPLACEMENT
 STEP=1
 SUB =3
 FREQ=6.276
 PowerGraphics
 EFACET=1
 AVRES=Mat
 DMX =.032552



Şekil 11.3 3. Mod şekli (Yalpa)

AN

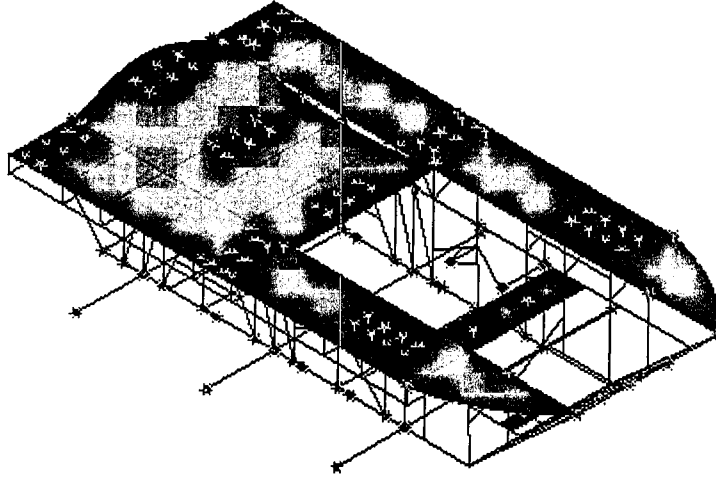
JUN 2 2002
 18:52:22
 DISPLACEMENT
 STEP=1
 SUB =4
 FREQ=7.007
 PowerGraphics
 EFACET=1
 AVRES=Mat
 DMX =.093436



Şekil 11.4 4. Mod şekli

AN

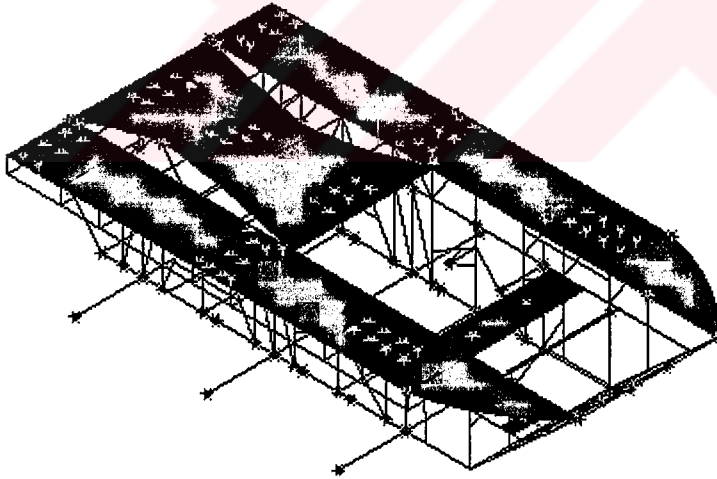
JUN 2 2002
 19:08:01
 DISPLACEMENT
 STEP=1
 SUB =5
 FREQ=13.876
 PowerGraphics
 EFACET=1
 AVRES=Mat
 DMX =.178788



Şekil 11.5 5. Mod şekli

AN

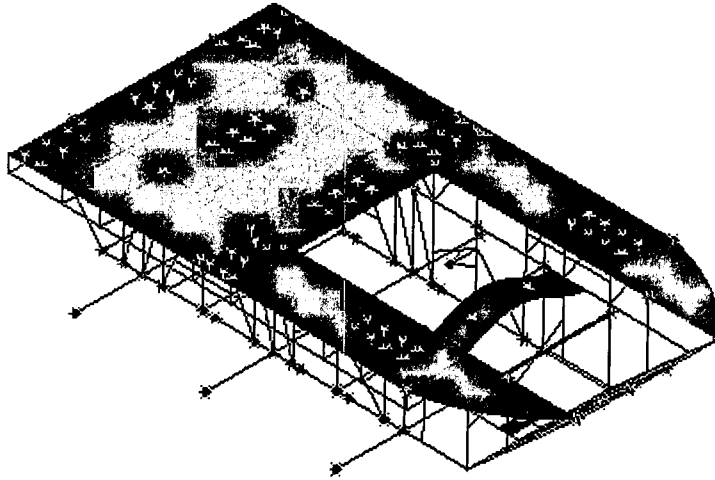
JUN 2 2002
 19:30:42
 DISPLACEMENT
 STEP=1
 SUB =6
 FREQ=15.05
 PowerGraphics
 EFACET=1
 AVRES=Mat
 DMX =.182075



Şekil 11.6 6. Mod şekli

AN

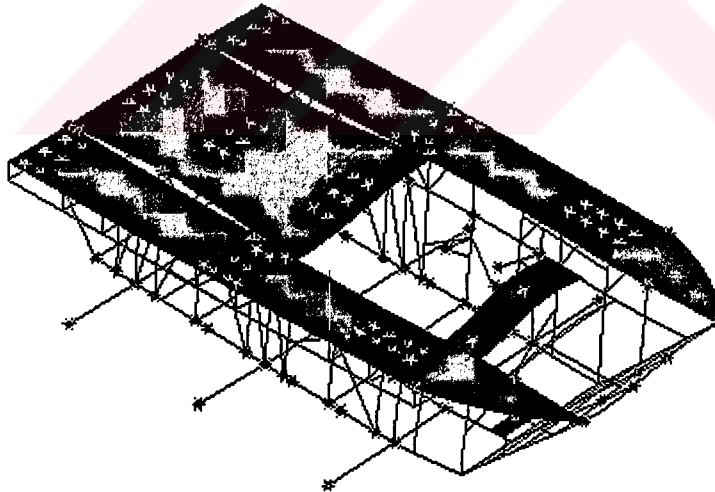
JUN 2 2002
 19:35:10
 DISPLACEMENT
 STEP=1
 SUB =7
 FREQ=17.707
 PowerGraphics
 EFACET=1
 AVRES=Mat
 DMX =.242307



Şekil 11.7 7. Mod şekli

AN

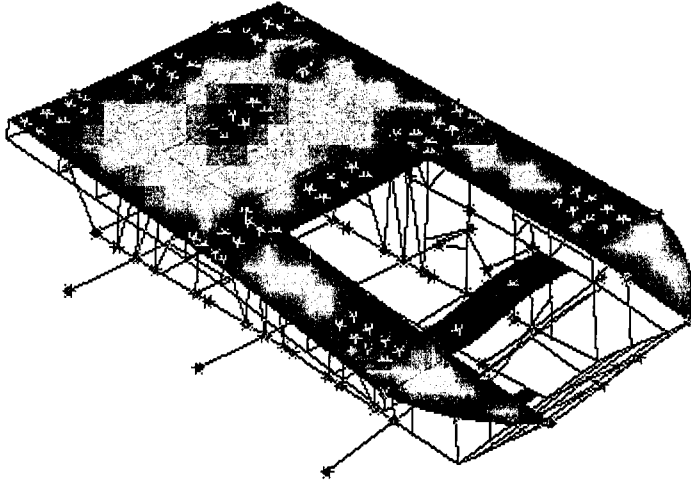
JUN 2 2002
 19:50:24
 DISPLACEMENT
 STEP=1
 SUB =8
 FREQ=20.916
 PowerGraphics
 EFACET=1
 AVRES=Mat
 DMX =.040287



Şekil 11.8 8. Mod şekli

AN

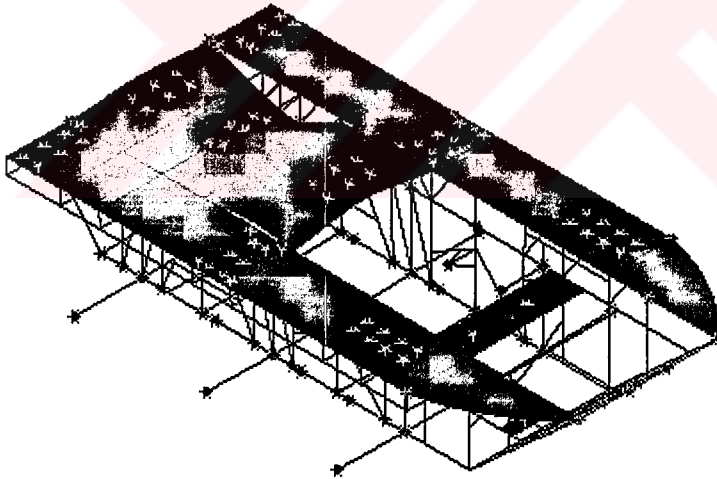
JUN 2 2002
 20:03:13
 DISPLACEMENT
 STEP=1
 SUB =9
 FREQ=25.512
 PowerGraphics
 EFACET=1
 AVRES=Mat
 DMX =.044847



Şekil 11.9 9. Mod şekli

AN

JUN 2 2002
 20:14:01
 DISPLACEMENT
 STEP=1
 SUB =10
 FREQ=26.645
 PowerGraphics
 EFACET=1
 AVRES=Mat
 DMX =.153396



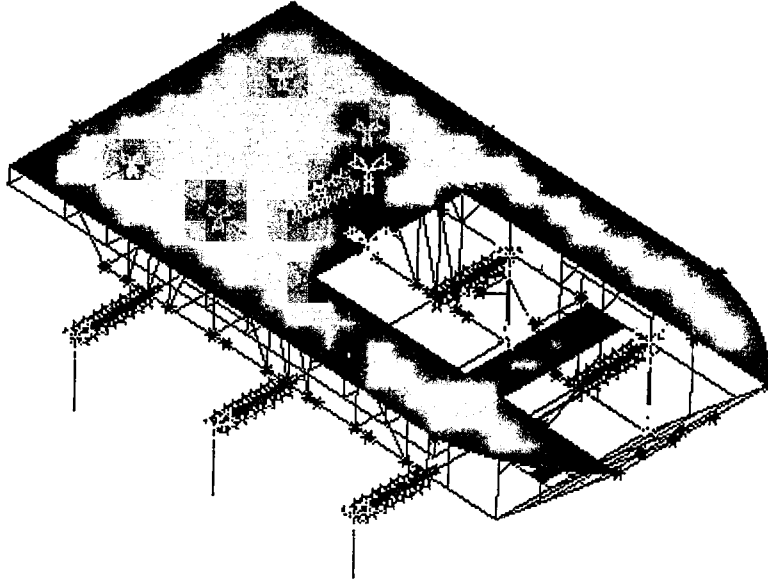
Şekil 11.10 10. Mod şekli

Ek 12. Yüksüz Anfıfık Taşıtı Mod Şekilleri

AN

JUN 2 2002
 10:07:15
 DISPLACEMENT
 STEP=1
 SUB =1
 FREQ=3.754
 PowerGraphics
 EFACET=1
 AVRES=Mat
 DMX =.047712

CE

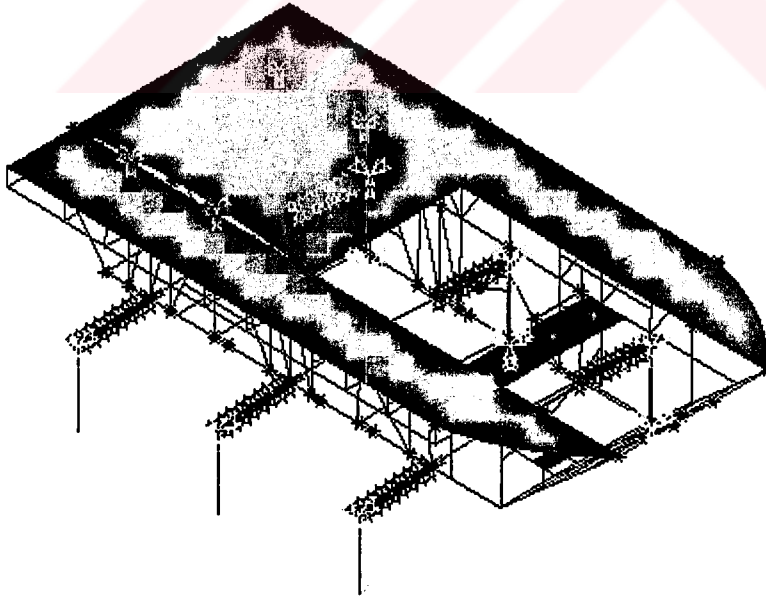


Şekil 12.1 1. Mod şekli

AN

JUN 2 2002
 10:16:39
 DISPLACEMENT
 STEP=1
 SUB =2
 FREQ=5.046
 PowerGraphics
 EFACET=1
 AVRES=Mat
 DMX =.030088

CE

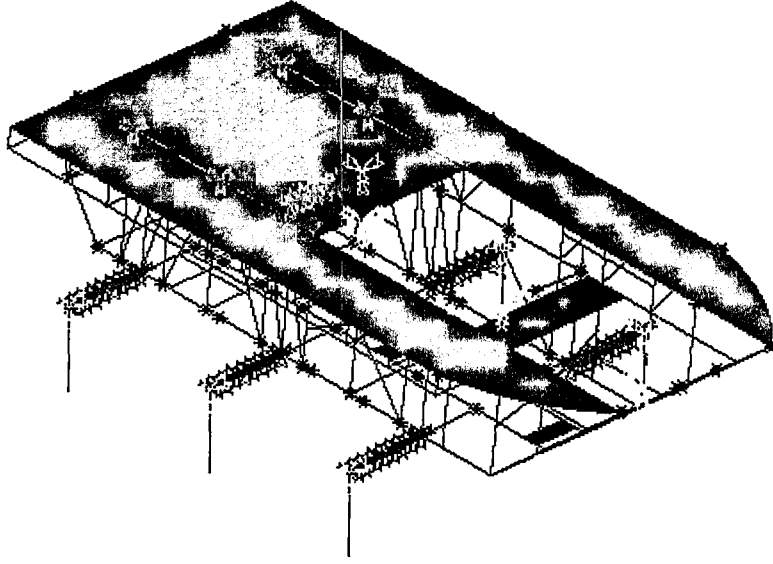


Şekil 12.2 2. Mod şekli

AN

JUN 2 2002
 10:37:59
 DISPLACEMENT
 STEP=1
 SUB =3
 FREQ=7.477
 PowerGraphics
 EFACET=1
 AVRES=Mat
 DMX =.03824

CE

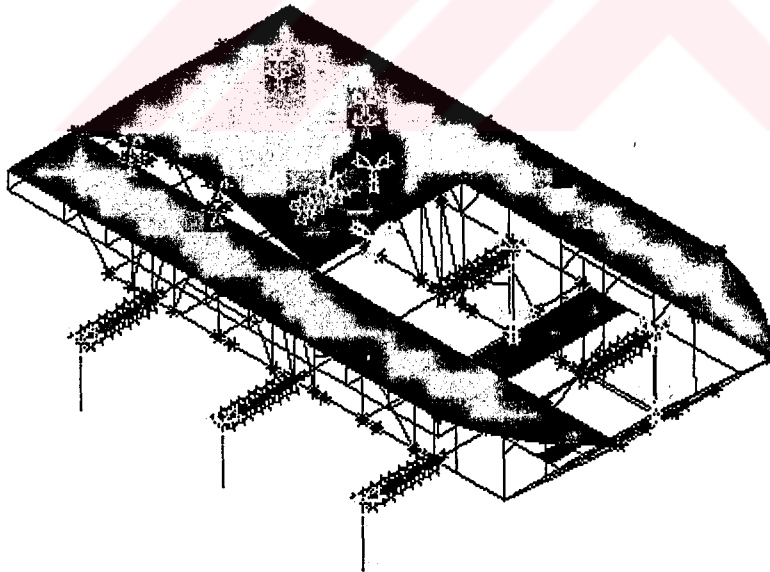


Şekil 12.3 3.Mod şekli

AN

JUN 2 2002
 10:43:44
 DISPLACEMENT
 STEP=1
 SUB =4
 FREQ=10.624
 PowerGraphics
 EFACET=1
 AVRES=Mat
 DMX =.159708

CE

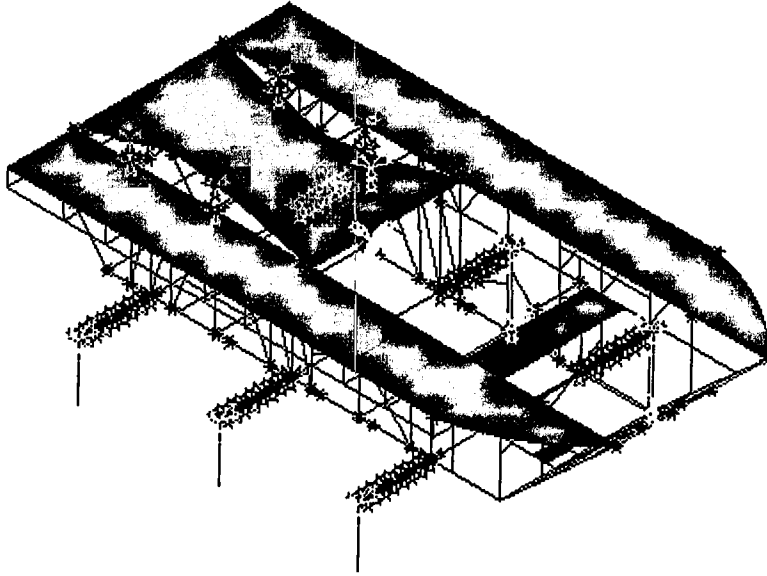


Şekil 12.4 4. Mod şekli

AN

JUN 2 2002
 11:03:34
 DISPLACEMENT
 STEP=1
 SUB =5
 FREQ=16.103
 PowerGraphics
 EFACET=1
 AVRES=Mat
 DMX =.196369

CE

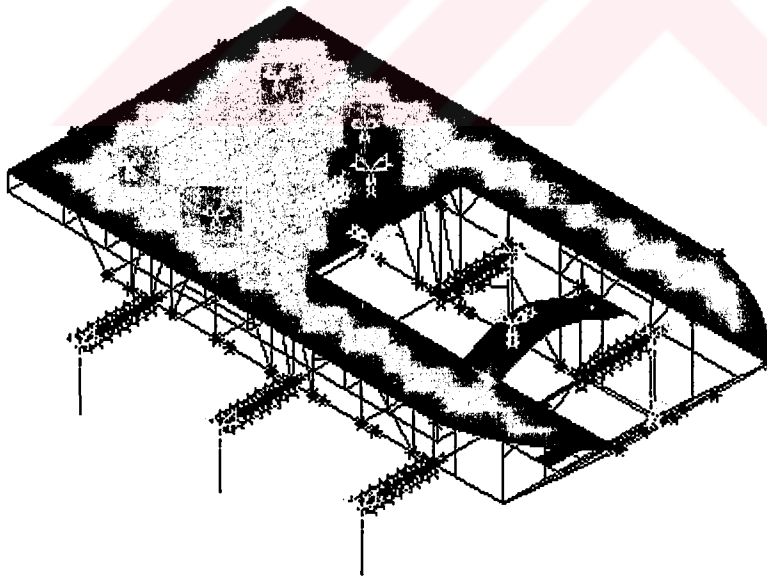


Şekil 12.5 5. Mod şekli

AN

JUN 2 2002
 11:08:19
 DISPLACEMENT
 STEP=1
 SUB =6
 FREQ=17.759
 PowerGraphics
 EFACET=1
 AVRES=Mat
 DMX =.242037

CE

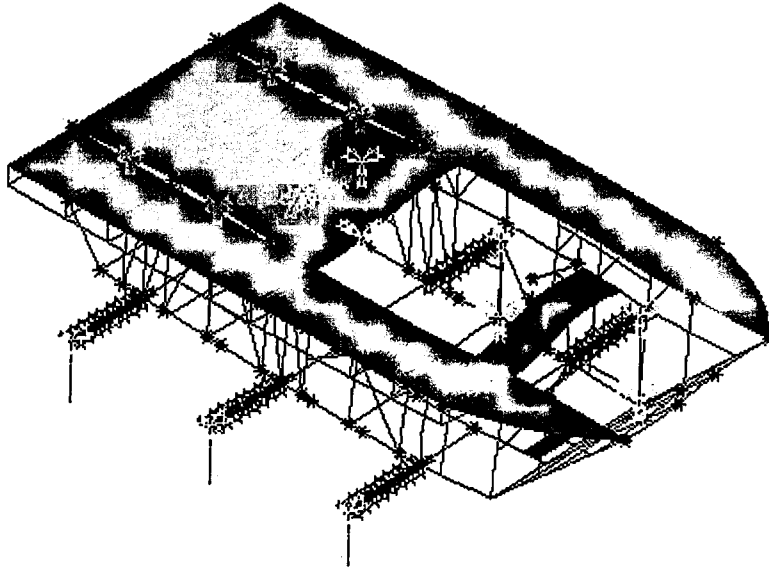


Şekil 12.6 6. Mod şekli

AN

JUN 2 2002
 11:20:14
 DISPLACEMENT
 STEP=1
 SUB =7
 FREQ=23.085
 PowerGraphics
 EFACET=1
 AVRES=Mat
 DMX =.045835

CE

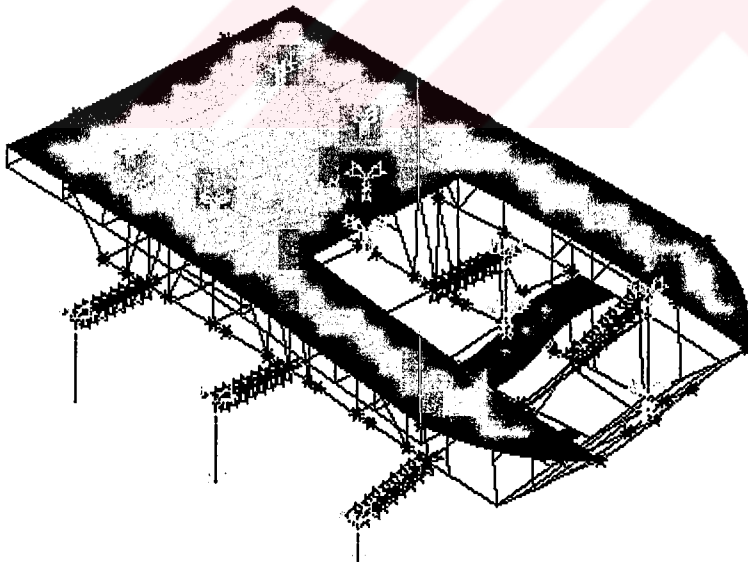


Şekil 12.7 7. Mod şekli

AN

JUN 2 2002
 11:49:27
 DISPLACEMENT
 STEP=1
 SUB =8
 FREQ=28.362
 PowerGraphics
 EFACET=1
 AVRES=Mat
 DMX =.065163

CE

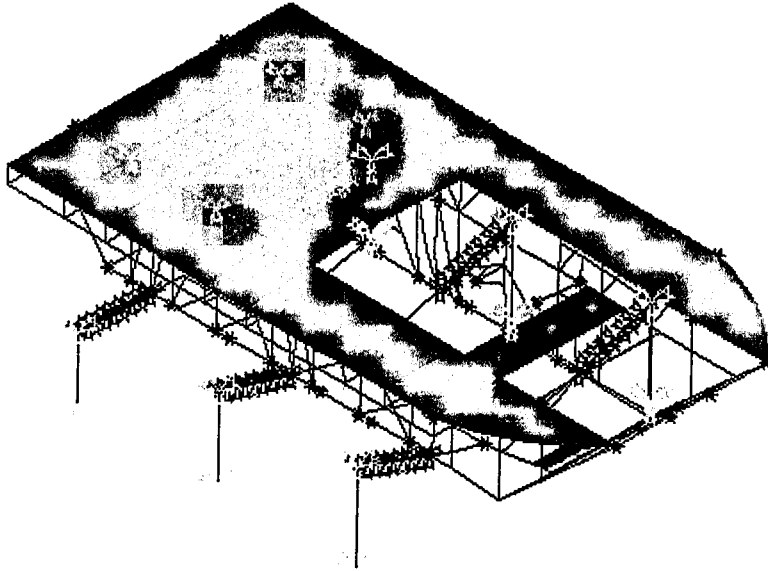


Şekil 12.8 8. Mod şekli

AN

JUN 2 2002
 12:17:28
 DISPLACEMENT
 STEP=1
 SUB =9
 FREQ=29.296
 PowerGraphics
 EFACET=1
 AVRES=Mat
 DMX =.072156
 U

CE

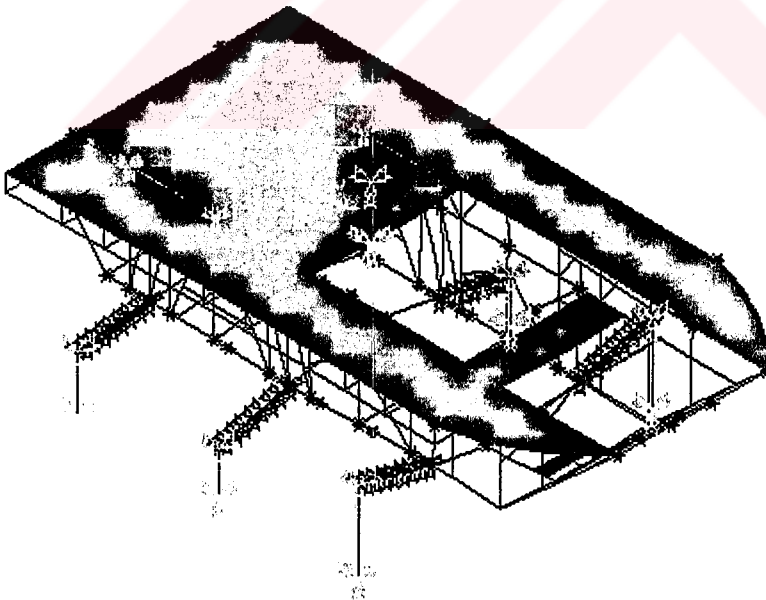


Şekil 12.9 9.Mod şekli

AN

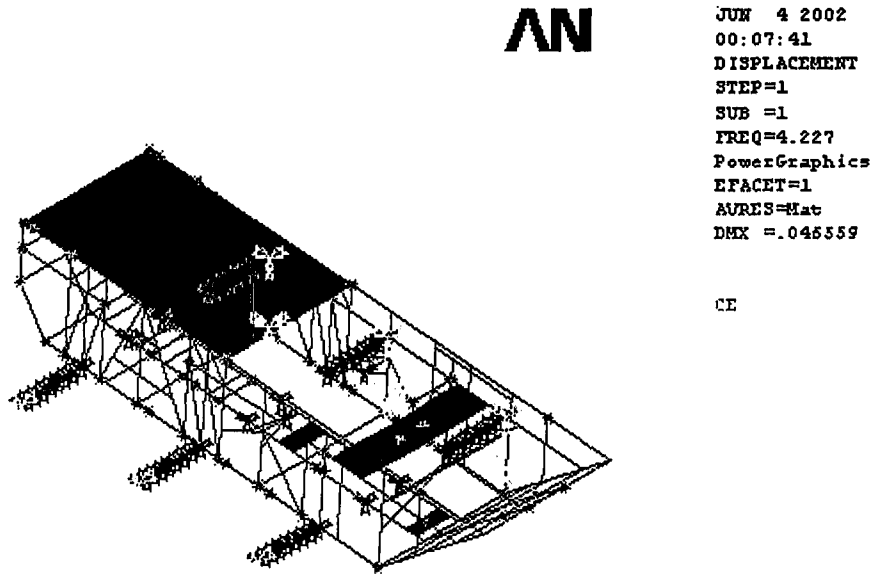
JUN 2 2002
 12:37:44
 DISPLACEMENT
 STEP=1
 SUB =10
 FREQ=31.243
 PowerGraphics
 EFACET=1
 AVRES=Mat
 DMX =.069806
 U

CE

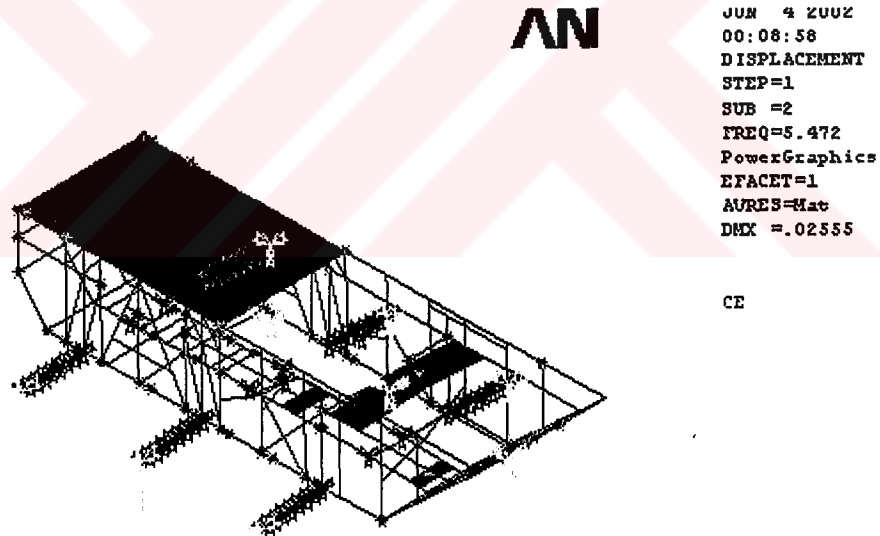


Şekil 12.10 10 .Mod şekli

Ek. 13. Yüklü Anfibik Olmayan Taşıtın Mod Şekilleri



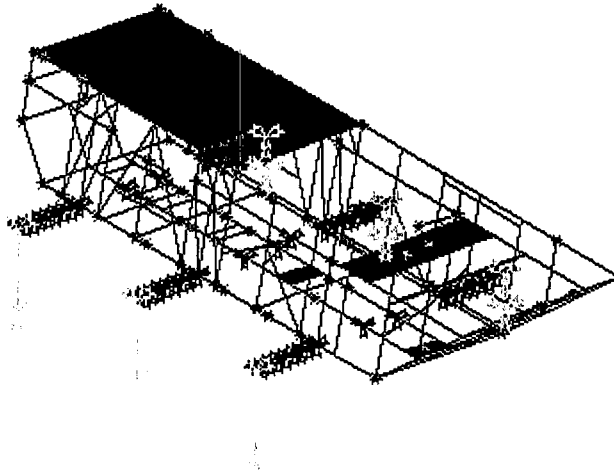
Şekil 13.1 1. Mod şekli



Şekil 13.2 2.Mod şekli

AN

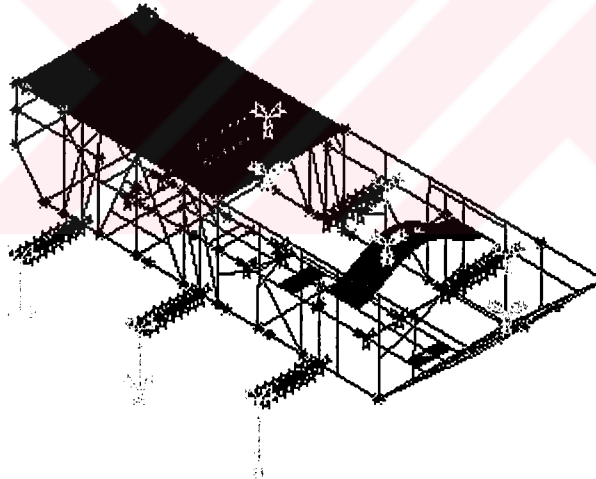
JUN 4 2002
 00:10:38
 DISPLACEMENT
 STEP=1
 SUB =3
 FREQ=8.736
 PowerGraphics
 EFACET=1
 AURES=Max
 DMX =.029073
 CE



Şekil 13.3 3. Mod şekli

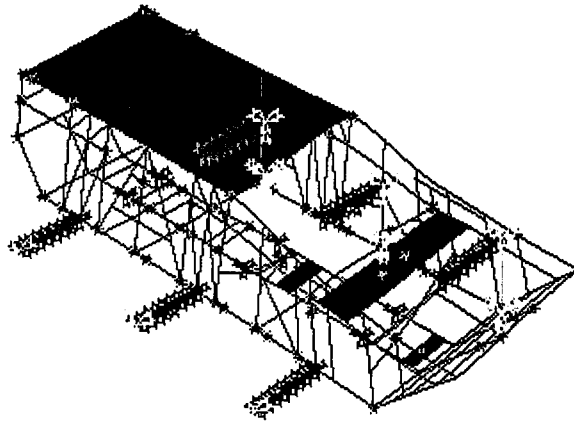
AN

JUN 4 2002
 00:11:28
 DISPLACEMENT
 STEP=1
 SUB =4
 FREQ=14.443
 PowerGraphics
 EFACET=1
 AURES=Max
 DMX =.202384
 CE



Şekil 13.4 4. Mod şekli

AN

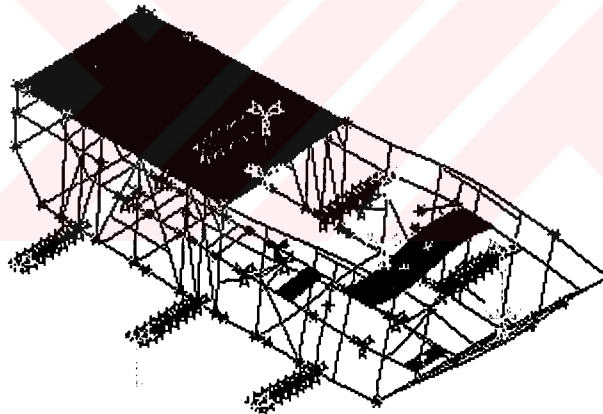


JUN 4 2002
00:12:38
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =5
FREQ=18.505
PowerGraphics
EFACET=1
AURES=Mat
DMX =.060275

CE

Şekil 13.5 5. Mod şekli

AN

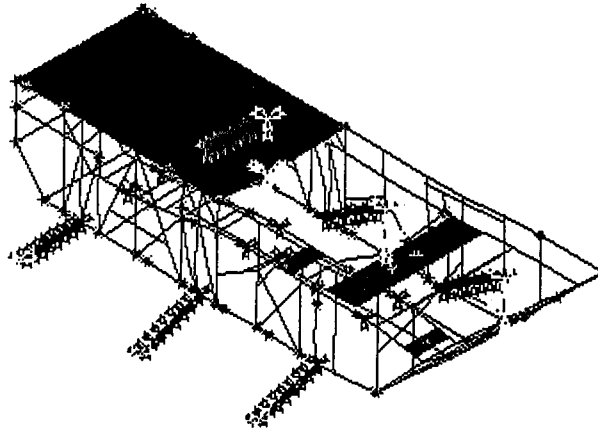


JUN 4 2002
00:13:35
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =6
FREQ=27.596
PowerGraphics
EFACET=1
AURES=Mat
DMX =.073764

CE

Şekil 13.6 6. Mod şekli

AN

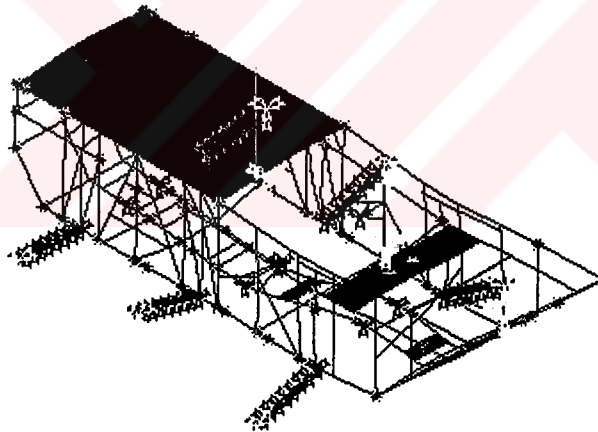


JUN 4 2002
00:14:20
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =7
FREQ=31.91
PowerGraphics
EFACET=1
AURES=Mat
DMX =.066552

CE

Şekil 13.7 7.Mod şekli

AN

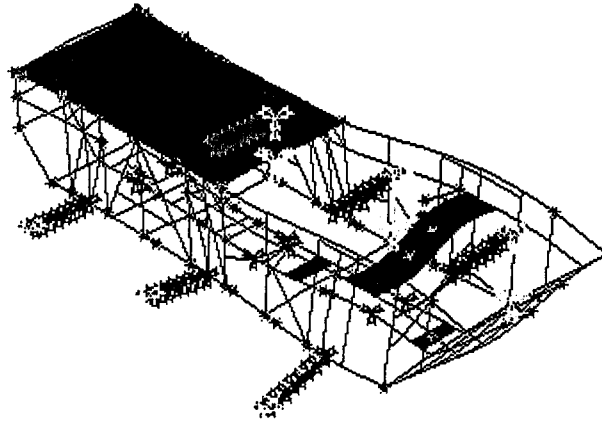


JUN 4 2002
00:15:34
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =8
FREQ=34.26
PowerGraphics
EFACET=1
AURES=Mat
DMX =.070783

CE

Şekil 13.8 8. Mod şekli

AN

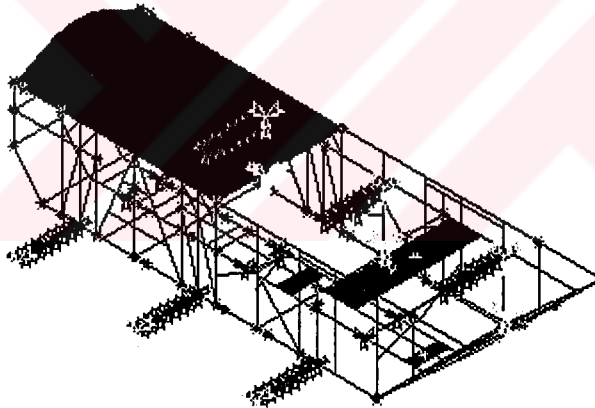


JUN 4 2002
00:15:12
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =9
FREQ=35.859
PowerGraphics
EFACET=1
AURES=Mat
DMX =.056012

CE

Şekil 13.9 9.Mod şekli

AN

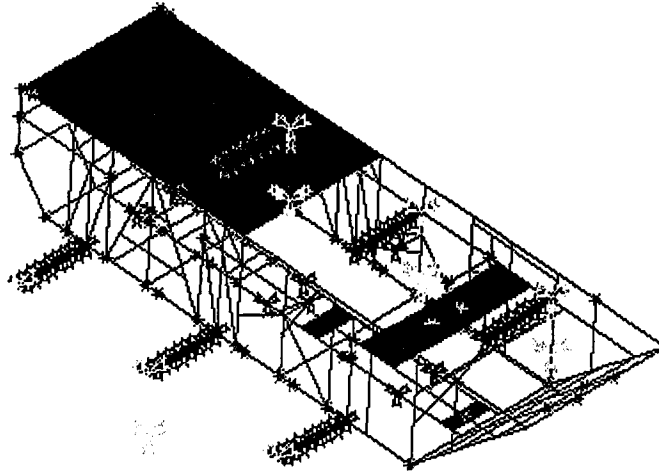


JUN 4 2002
00:17:12
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =10
FREQ=37.577
PowerGraphics
EFACET=1
AURES=Mat
DMX =.418802

CE

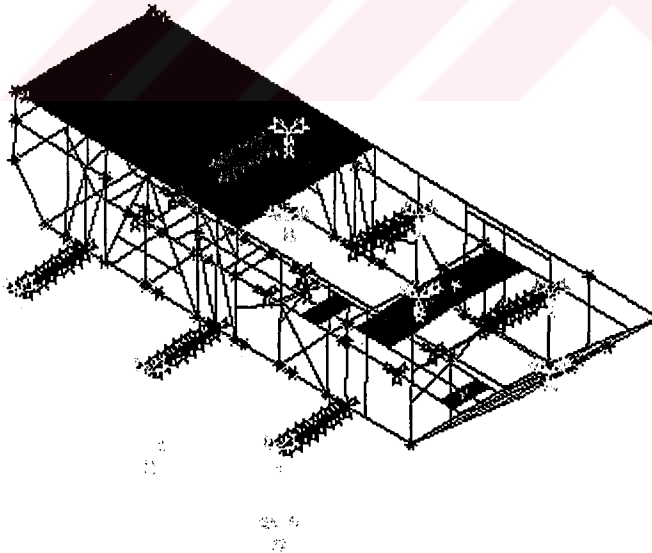
Şekli 13.10 10. Mod şekli

Ek. 14. Yüksüz Anfibik Olmayan Taşıtın Mod Şekilleri



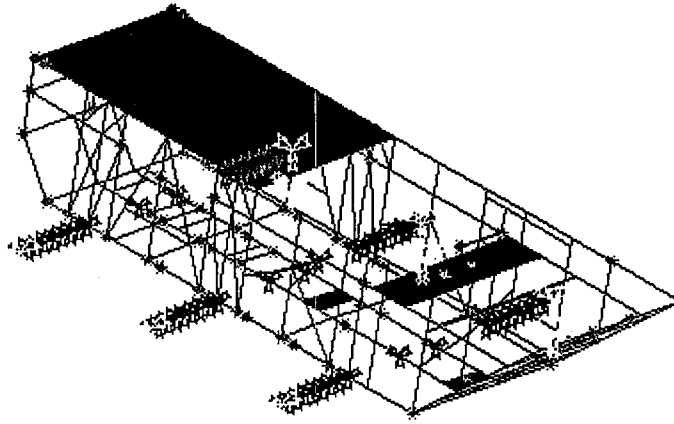
ANSYS 5.7
JUN 3 2002
16:57:38
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =1
FREQ=4.528
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =.052173
U
V
W
CE

Şekil 14.1 1. Mod şekli



ANSYS 5.7
JUN 3 2002
16:21:34
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =2
FREQ=5.791
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =.026417
U
V
W
CE

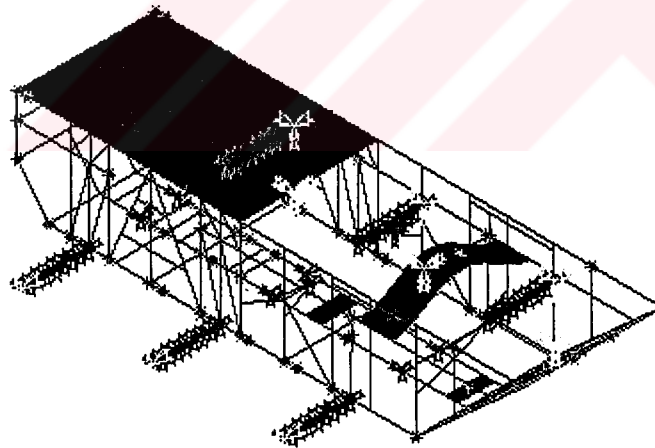
Şekil 14.2 2.Mod şekli



ANSYS 5.7
JUN 3 2002
16:23:14
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =3
FREQ=9.607
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =.032569

CE

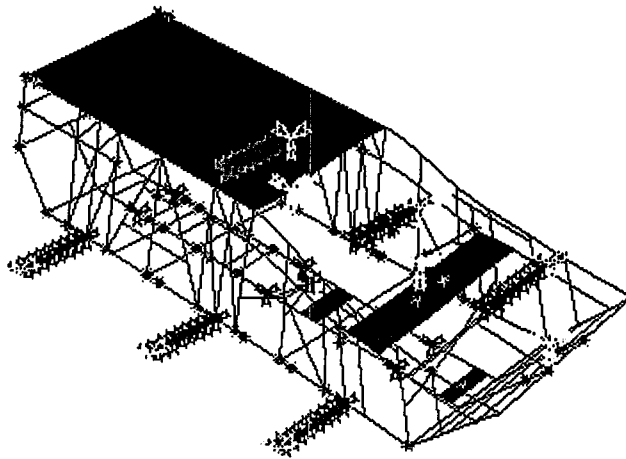
Şekil 14.3 3. Mod şekli



ANSYS 5.7
JUN 3 2002
16:25:23
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =4
FREQ=14.571
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =.200997

CE

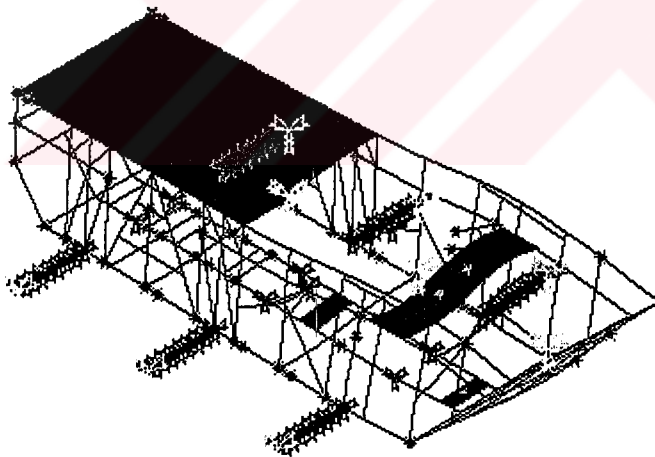
Şekil 14. 4. Mod şekli



ANSYS 5.7
JUN 3 2002
16:26:32
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =5
FREQ=20.421
PowerGraphics
EFACIT=1
AVRES=Mat
DMX =.063229

CE

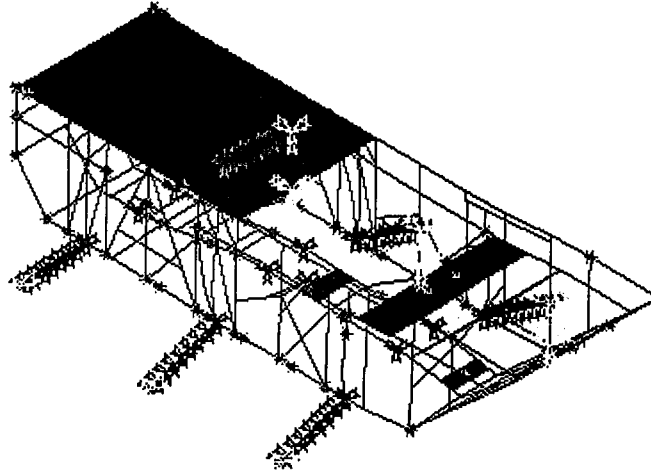
Şekil 14. 5. Mod şekli



ANSYS 5.7
JUN 3 2002
16:31:46
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =6
FREQ=28.818
PowerGraphics
EFACIT=1
AVRES=Mat
DMX =.085156

CE

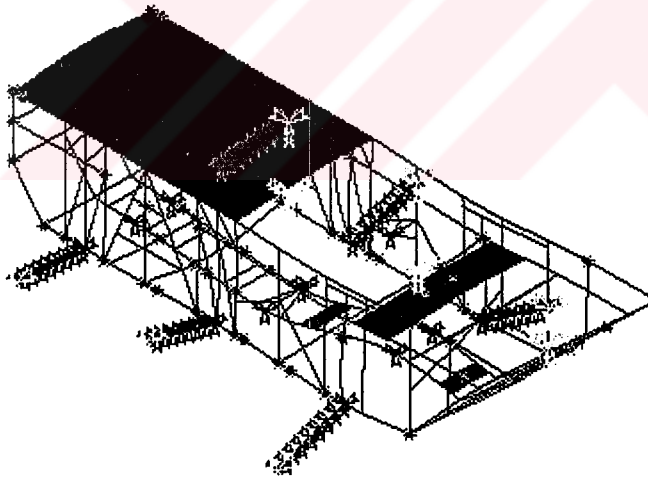
Şekil 14.6 6. Mod şekli



ANSYS 5.7
JUN 3 2002
16:41:59
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =7
FREQ=31.937
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =.066559

CE

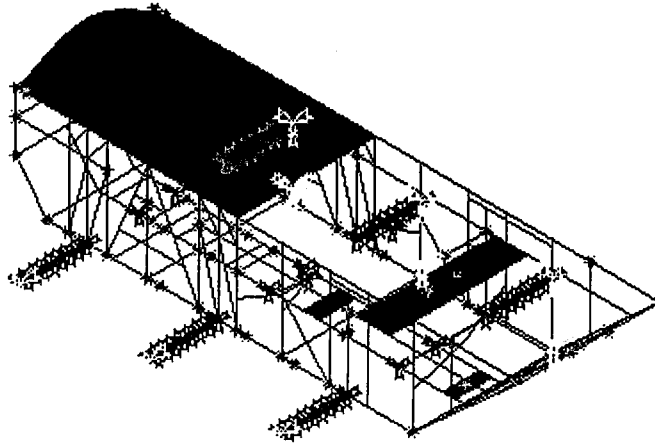
Şekil 14.7 7. Mod şekli



ANSYS 5.7
JUN 3 2002
16:43:14
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =8
FREQ=34.395
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =.071639

CE

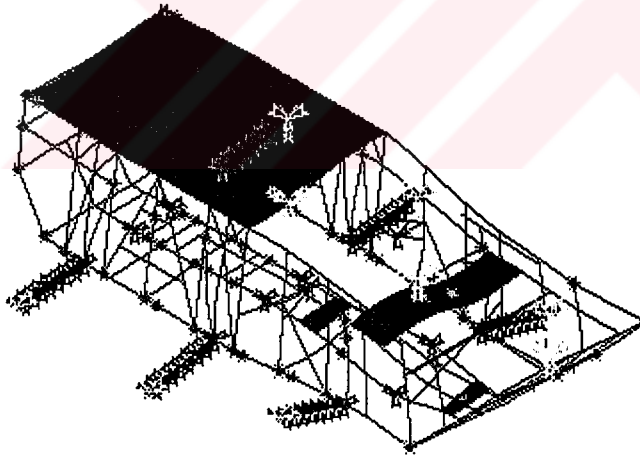
Şekil 14.8 8. Mod şekli



ANSYS 5.7
JUN 3 2002
16:44:44
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =9
FREQ=37.728
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =.418747

CE

Şekil 14.9 9. Mod şekli



ANSYS 5.7
JUN 3 2002
16:46:20
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =10
FREQ=39.541
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =.054717

CE

Şekil 14.10 10. Mod şekli

Ek. 15. Anfibik Taşıt Üzerine Eklenen Kütlelerin Koordinatları

	AĞIRLIK MERKEZİ			YÜKLÜ				
	KÜTLE	node	X	Y	Z	MX	MY	MZ
LEVHA + KARKAS	532.28		1.4525	0.43407	0.48904	773.1367	231.0468	260.3062
MOTOR1	150	22647	1.895	0.37878	0.19	284.25	56.817	28.5
MOTOR2	150	22773	1.895	0.37878	0.79	284.25	56.817	118.5
MOTOR3	40	8668	1.895	0.26858	0	75.8	10.7432	0
MOTOR4	40	8692	1.895	0	0	75.8	0	0
MOTOR5	40	11468	1.995	0	0	79.8	0	0
MOTOR6	40	14510	1.895	0.26858	0.98	75.8	10.7432	39.2
MOTOR7	40	14534	1.895	0	0.98	75.8	0	39.2
MOTOR8	40	17310	1.995	0	0.98	79.8	0	39.2
MOTOR9	100	12760	1.442	0.5125	0.98	144.2	51.25	98
DEPO1	10	19523	0	0.5125	0.49	0	5.125	4.9
DEPO2	10	19789	0	0.2775	0.49	0	2.775	4.9
DEPO3	10	12579	0	0.5125	0.98	0	5.125	9.8
DEPO4	10	15060	0	0.2775	0.98	0	2.775	9.8
teker1	45	1	0.5125	0	-0.475	23.0625	0	-21.375
teker2	47	2	1.442	0	-0.475	67.774	0	-22.325
teker3	47	3	2.3725	0	-0.475	111.5075	0	-22.325
teker4	45	4	0.5125	0	1.455	23.0625	0	65.475
teker5	47	5	1.442	0	1.455	67.774	0	68.385
teker6	47	6	2.3725	0	1.455	111.5075	0	68.385
Aktarma	10	11270	1.03	0	0	10.3	0	0

Bağlanti	10	17112	1.03	0	0.98	10.3	0	9.8
noktalari	10	11477	2.085	0	0	20.85	0	0
	10	17319	2.085	0	0.98	20.85	0	9.8
	10	17920	1.03	0	0.36	10.3	0	3.6
	10	18739	1.03	0	0.62	10.3	0	6.2
	10	18132	2.085	0	0.36	20.85	0	3.6
	10	18951	2.085	0	0.62	20.85	0	6.2
Radyatör	15	22929	2.372	0.5125	0.3	35.58	7.6875	4.5
Bağlantıları	15	12948	2.372	0.5125	0.98	35.58	7.6875	14.7
	15	22959	2.372	0.4	0.3	35.58	6	4.5
	15	14692	2.372	0.4	0.98	35.58	6	14.7
Aktarma	20	6000	0.5125	0	0	10.25	0	0
Bağlanti	20	6001	1.442	0	0	28.84	0	0
noktalari	20	6002	2.3725	0	0	47.45	0	0
Ana	20	6003	0.5125	0	0.98	10.25	0	19.6
	20	6004	1.442	0	0.98	28.84	0	19.6
	20	6005	2.3725	0	0.98	47.45	0	19.6
	20	17795	0.5125	0	0.36	10.25	0	7.2
	20	17985	1.442	0	0.36	28.84	0	7.2
	20	18173	2.3725	0	0.36	47.45	0	7.2
	20	18614	0.5125	0	0.62	10.25	0	12.4
	20	18804	1.442	0	0.62	28.84	0	12.4
	20	18992	2.3725	0	0.62	47.45	0	12.4
Diferansiyel	10	18642	0.5925	0	0.62	5.925	0	6.2
Bölgesi	10	18670	0.6925	0	0.62	6.925	0	6.2
	10	18680	0.7925	0	0.62	7.925	0	6.2

	10	17861	0.7925	0	0.36	7.925	0	3.6
	10	17851	0.6925	0	0.36	6.925	0	3.6
	10	17823	0.5925	0	0.36	5.925	0	3.6
	20	18582	0.3225	0	0.62	6.45	0	12.4
	20	17763	0.3225	0	0.36	6.45	0	7.2
	30	17800	0.42411	0	0.36	12.7233	0	10.8
	30	18619	0.42411	0	0.62	12.7233	0	18.6
Akü	5	6917	1.305	0.5125	0	6.525	2.5625	0
	5	6918	1.442	0.5125	0	7.21	2.5625	0
ÖN plaka	10	19048	2.68	0	0.62	26.8	0	6.2
	10	18229	2.68	0	0.36	26.8	0	3.6
Ön yukarı	65	18429	3.4005	0.5125	0.36	221.0325	33.3125	23.4
	65	19248	3.4005	0.5125	0.62	221.0325	33.3125	40.3
	19.86	6814	0.5125	0.5125	0	10.17825	10.17825	0
	19.86	12656	0.5125	0.5125	0.98	10.17825	10.17825	19.4628
	50	6006	0	0.6925	0	0	34.625	0
	50	11848	0	0.6925	0.98	0	34.625	49
	100	8224	0.65	0.6925	0	65	69.25	0
	2430		1.471629	0.255946	0.49551	3576.0578	621.9487	1204.089
	G		xg	yg	zg			
	2430		1.4795	0.257	0.49	3595.185	624.51	1190.7
	0		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	19.1272	2.56132	-13.389

Ek. 16. Anfibik Olmayan Taşıt Üzerine Eklenen Kütlelerin Koordinatları

	AĞIRLIK MERKEZİ			YÜKLÜ				
	KÜTLE	node	X	Y	Z	MX	MY	MZ
LEVHA + KARKAS	504		1.4868	0.31074	0.48888	749.3472	156.613	246.3955
MOTOR1	50	22771	1.895	0.37878	0.19	94.75	18.939	9.5
MOTOR2	50	22897	1.895	0.37878	0.79	94.75	18.939	39.5
MOTOR3	50	6974	1.895	0.268584	0	94.75	13.4292	0
MOTOR4	50	12878	1.895	0.268584	0.98	94.75	13.4292	49
MOTOR5	50	8754	1.895	0	0	94.75	0	0
MOTOR6	50	14658	1.895	0	0.98	94.75	0	49
MOTOR7	25	8662	1.58	0	0	39.5	0	0
MOTOR8	25	14566	1.58	0	0.98	39.5	0	24.5
MOTOR9	25	8808	2.235	0	0	55.875	0	0
MOTOR10	25	14712	2.235	0	0.98	55.875	0	24.5
MOTOR11	25	8754	1.895	0	0.36	47.375	0	9
MOTOR12	25	14658	1.895	0	0.62	47.375	0	15.5
MOTOR13	25	11456	1.64	0	0.62	41	0	15.5
MOTOR14	25	17360	1.64	0	0.36	41	0	9
Arka1	25	11910	0	0.6925	0.98	0	17.3125	24.5
Arka2	25	6006	0	0.6925	0	0	17.3125	0
Arka3	25	6007	7.00E-02	0.6925	0	1.75	17.3125	0
Arka4	25	11911	7.00E-02	0.6925	0.98	1.75	17.3125	24.5
ön1	25	6637	3.6	0.6925	0	90	17.3125	0
ön2	25	12541	3.6	0.6925	0.98	90	17.3125	24.5

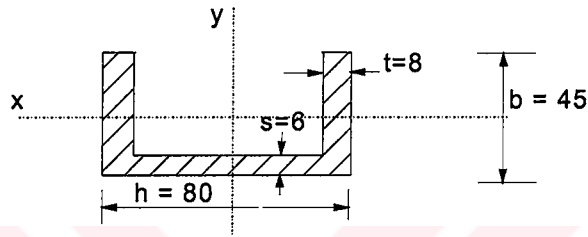
ön3	25	6581	3.1075	0.6925	0	77.6875	17.3125	0
ön4	25	12485	3.1075	0.6925	0.98	77.6875	17.3125	24.5
DEPO1	10	19913	0	0.2775	0.49	0	2.775	4.9
DEPO2	10	15184	0	0.2775	0.98	0	2.775	9.8
DEPO3	10	19647	0	0.5125	0.49	0	5.125	4.9
DEPO4	10	12641	0	0.5125	0.98	0	5.125	9.8
teker1	45	1	0.5125	0	-0.475	23.0625	0	-21.375
teker2	45	2	1.442	0	-0.475	64.89	0	-21.375
teker3	44	3	2.3725	0	-0.475	104.39	0	-20.9
teker4	45	4	0.5125	0	1.455	23.0625	0	65.475
teker5	45	5	1.442	0	1.455	64.89	0	65.475
teker6	44	6	2.3725	0	1.455	104.39	0	64.02
Diferansiyel	10	8078	0.3225	0	0.36	3.225	0	3.6
Diferansiyel	10	13982	0.3225	0	0.62	3.225	0	6.2
Bölgesi	10	17975	0.5925	0	0.36	5.925	0	3.6
	10	18794	0.5925	0	0.62	5.925	0	6.2
	10	18005	0.6925	0	0.36	6.925	0	3.6
	10	18824	0.6925	0	0.62	6.925	0	6.2
	10	8286	0.94	0	0.36	9.4	0	3.6
	10	14190	0.94	0	0.62	9.4	0	6.2
	10	12746	0.65	0	0	6.5	0	0
	10	6842	0.65	0	0.98	6.5	0	9.8
	10	9557	0.65	0.5125	0.98	6.5	5.125	9.8
	10	15461	0.65	0.5125	0	6.5	5.125	0
	10	6871	0.94	0	0	9.4	0	0
	10	12775	0.94	0	0.98	9.4	0	9.8

	10	8390	0.94	0.4625	0	9.4	4.625	0
	10	14294	0.94	0.4625	0.98	9.4	4.625	9.8
	10	6917	1.305	0	0	13.05	0	0
	10	12821	1.305	0	0.98	13.05	0	9.8
	10	18083	1.305	0.5125	0	13.05	5.125	0
	10	18902	1.305	0.5125	0.98	13.05	5.125	9.8
	10	17947	1.22	0	0.36	12.2	0	3.6
	10	18766	1.22	0	0.62	12.2	0	6.2
Aktarma	5	11332	1.03	0	0	5.15	0	0
Bağlantı	5	18044	1.03	0	0.36	5.15	0	1.8
noktaları	5	17236	1.03	0	0.98	5.15	0	4.9
	5	18863	1.03	0	0.62	5.15	0	3.1
	5	11529	1.985	0	0	9.925	0	0
	5	18246	1.985	0	0.36	9.925	0	1.8
	5	17433	1.985	0	0.98	9.925	0	4.9
	5	19065	1.985	0	0.62	9.925	0	3.1
Radyatör	10	23053	2.372	0.5125	0.3	23.72	5.125	3
Bağlantıları	10	23083	2.372	0.4	0.3	23.72	4	3
	10	14816	2.372	0.4	0.98	23.72	4	9.8
	10	13010	2.372	0.5125	0.98	23.72	5.125	9.8
Aktarma	5	6000	0.5125	0	0	2.5625	0	0
Bağlantı	5	6001	1.442	0	0	7.21	0	0
noktaları	5	6002	2.3725	0	0	11.8625	0	0
	5	6003	0.5125	0	0.98	2.5625	0	4.9
	5	6004	1.442	0	0.98	7.21	0	4.9
	5	6005	2.3725	0	0.98	11.8625	0	4.9

Ek. 17 Taşıt Yapısını Oluşturan Kirişlerin Profilleri Ve Mukavemet Değerleri

Taşıt yapısı çeşitli profillerdeki kirişlerden oluşmaktadır. Kirişler U-profil, Dikdörtgen profil ve L- profillerinden meydana gelmektedir.

1. U- profil (DIN 1026)

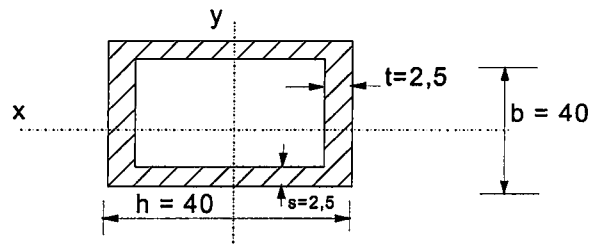


Alan $A = 1100 \text{ mm}^2$

Atalet Momentleri

$I_x = 194000 \text{ mm}^4$; $I_y = 1060000 \text{ mm}^4$

2 Dikdörtgen profil

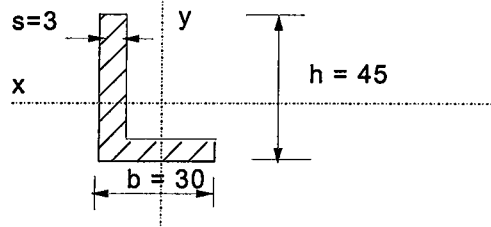


Alan $A = 375 \text{ mm}^2$

Atalet Momentleri

$$I_x = 88281,25 \text{ mm}^4 ; I_y = 88281,25 \text{ mm}^4$$

3. L – Profil



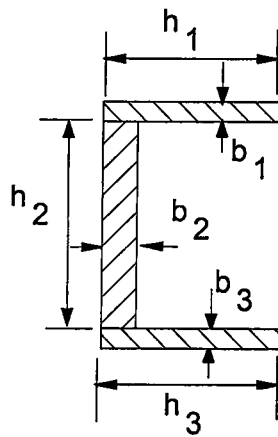
Alan $A = 219 \text{ mm}^2$

Atalet Momentleri

$$I_x = 44700 \text{ mm}^4 ; I_y = 160000 \text{ mm}^4$$

4 Burulma Moment Sabitlerinin Hesaplanması

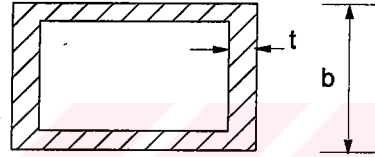
Açık kesitli u- profil ve l-profil kirişler için ;



$J_b = \lambda \frac{1}{3} \sum h_i b_i^3$ formülü tabloda verilen λ düzeltme katsayıları ile beraber kullanılabilir.

Profil	L - profil	U – profil	T -profil	I –profil
λ	1	1,12	1,15	1,25

Kapalı dikdörtgen profil için ise burulma moment sabiti



$$J_b = b^3 t$$

Yukarıda verilen formüllere göre Burulma sabitleri;

U – profil için $J_b = 22364,16$

Dikdörtgen profil için $J_b = 160000$

L – profil için 675 şeklinde bulunur.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	18.12.1973	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1987-1990	Kemal Hasoğlu Lisesi
Lisans	1990-1994	Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak. Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1994-1997	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, Enerji Programı
Doktora	1997-	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, Konstrüksiyon Programı

Çalıştığı kurum(lar)

1996 - Devam ediyor

YTÜ Makina Fakültesi Araştırma Görevlisi.