

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**4x4 ARAZİ TAŞITLARININ ŞASI VE KAROSERLERİNDE
GERİLME VE TİTREŞİM ANALİZLERİ**

Makine Müh. Kutay EDİS

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Konstrüksiyon Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Necati TAHRALI

İSTANBUL, 2006

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1 7. Bakım Merkezi Komutanlığı'nın Tarihçesi	1
1.2 4x4 Tayfun Silah Aracının Tanımlanması	1
1.3 Geçmişten Günümüze Literatürde Yapılan Çalışmalar	2
2. 4X4 TAŞITA AİT FİZİKSEL ÖZELLİKLERİN ELDE EDİLMESİ	5
2.1 Taşıta Ait Kütleler ve Kütleli Atalet Momentlerinin Hesaplanması	5
2.2 Amortisör Verileri	9
2.3 Yay Katsayıları	10
3. 4X4 TAŞITIN YEDİ SERBESTLİK DERECELİ ANALİTİK MODELİ	11
3.1 Modelin Lagrange Denklemleri	11
3.2 Modelin Diferansiyel Denklemleri	13
3.3 Modelin Doğal Frekansları	20
3.4 Modelin Harmonik Zorlayıcı Kuvvet Etkisindeki Titreşimleri	24
3.5 Modelin Hareket Denklemlerinin Durum Uzayı Formunda Yazılması	33
4. YEDİ SERBESTLİK DERECELİ TAŞIT MODELİNİN SİMULASYONU	35
4.1 Yol Fonksiyonlarının Hazırlanması ve Gecikmelerin Hesabı	37
4.2 Her İki Ön Tekerleğinin Aynı Anda Düz tümsekten geçme durumu	39
4.3 Sol Tekerleklerin Yarım Düz Tümsekten Geçme Durumu	51
4.4 Tekerleklerin Çapraz Tümsekten Geçme Durumu	63
5. TAŞITIN SONLU ELEMANLAR MODELİ VE ANALİZLERİ	75
5.1 Modelin Hazırlanması	75
5.1.1 Dosya Yapısı	77
5.1.2 Elemanlar	79
5.1.3 Malzeme Modeli	80
5.2 Taşıtin Modal Analizi	81
5.2.1 Sınır Koşulları	81

5.2.2	Analiz Parametreleri	81
5.2.3	Sonuçlar	82
5.3	Taşıtın Çeşitli Tümsek Durumları İçin Gerilme analizleri	84
5.3.1	Sınır Koşulları Ve Yüklemeler	84
5.3.2	Analiz Parametreleri	85
5.3.3	Sonuçlar	86
6.	SONUÇLAR.....	95
KAYNAKLAR		96
Ek 1	Yedi Serbestlik Dereceli Taşıt Modelinin Matlab Programı	99
Ek 2	Yedi Serbestlik Dereceli Jip Modelinin Birinci Tümsek Modeli Blok Diyagramı	103
Ek 3	Yedi Serbestlik Dereceli Jip Modelinin İkinci Tümsek Modeli Blok Diyagramı	104
Ek 4	Yedi Serbestlik Dereceli Jip Modelinin Üçüncü Tümsek Modeli Blok Diyagramı	105
Ek 5	Yedi Serbestlik Dereceli Jip Modelinin Dördüncü Tümsek Modeli Blok Diyagramı	106
Ek 6	Taşıtın Sonlu elemanlar Modelinin Modal Analizi İçin Hazırlanan Ana Girdi Dosyası	107
Ek 7	Taşıtın Sonlu elemanlar Modelinin Gerilme Analizi İçin Hazırlanan Ana Girdi Dosyası	109
ÖZGEÇMİŞ.....		111

SİMGE LİSTESİ

A, B, C, D	: Şasi – süspansiyon elemanları bağlantı noktaları
A', B', C', D'	: Aks – süspansiyon elemanları bağlantı noktaları
A'', B'', C'', D''	: Aks – tekerlek bağlantı noktaları
c_1, c_2, c_3, c_4	: Tekerleklerle ait sönüm katsayıları
c_5, c_6, c_7, c_8	: Ön ve arka süspansiyon sistemlerine ait sönüm katsayıları
E_c	: Toplam sönüm enerjisi
E_k	: Toplam kinetik enerji
E_p	: Toplam potansiyel enerji
J_1, J_2	: Aksların yalpalama (y) eksenindeki atalet momentleri
J_3	: Gövdenin yalpalama (y) eksenindeki atalet momenti
J_4	: Gövdenin kafa vurma (z) eksenindeki atalet momenti
k_1, k_2, k_3, k_4	: Tekerleklerle ait yay katsayıları
k_5, k_6, k_7, k_8	: Ön ve arka süspansiyon sistemlerine ait yay katsayıları
L_1, L_3	: Diferansiyel kovanı ile süspansiyon elemanları arası mesafeler
L_2, L_4	: Süspansiyon elemanları ile tekerlek bağlantı noktaları arası mesafeler
L_5	: Gövde yalpalama (y) eksenini ile süspansiyon elemanları arası mesafe
L_6, L_7	: Gövde kafa vurma (z) eksenini ile akslar arası mesafeler
m_1, m_2	: Ön ve arka aks – tekerlek kütleleri
m_3	: Taşıt gövdesinin kütlesi
Q_j	: Genelleştirilmiş zorlayıcı etkiler
x_1, x_2	: Aksların düşey titreşim genlikleri
x_3	: Gövdenin düşey titreşim genliği
$x_4 = \alpha_1, x_5 = \alpha_2$	: Aksların yalpalama titreşim genlikleri
$x_6 = \alpha_3$	: Gövdenin yalpalama titreşim genliği
$x_7 = \theta$	: Gövdenin kafa vurma titreşim genliği
x_A, x_B, x_C, x_D	: Şasi – süspansiyon elemanları bağlantı noktalarının düşey titreşim genlikleri
$x_{A'}, x_{B'}, x_{C'}, x_{D'}$	: Aks – süspansiyon elemanları bağlantı noktalarının düşey titreşim genlikleri
$x_{A''}, x_{B''}, x_{C''}, x_{D''}$	: Aks – tekerlek bağlantı noktalarının düşey titreşim genlikleri
$x_{y_1}, x_{y_2}, x_{y_3}, x_{y_4}$	: Yol fonksiyonları (pürüzlülükleri)
x_j	: Genelleştirilmiş koordinatlar
w	: Zorlayıcı frekans
w_n	: Doğal frekans

KISALTMA LİSTESİ

CAD	Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
SEM	Sonlu Elemanlar Metodu

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.3.1 Beş serbestlik dereceli taşıt modeli	2
Şekil 1.3.2 Beş serbestlik dereceli taşıt modeli	3
Şekil 1.3.3 Yekpare sonlu elemanlar modeli	4
Şekil 1.3.4 Sonlu elemanlar modeline punta kaynaklarının dahil edilmesi	4
Şekil 2.1.1 Ön diferansiyelin CATIA V5 yazılımında modellenmesi	5
Şekil 2.1.2 Arka diferansiyelin CATIA V5 yazılımında modellenmesi	5
Şekil 2.1.3 Motorun CATIA V5 yazılımında modellenmesi	6
Şekil 2.1.4 Şasinin sonlu elemanlar modeli	6
Şekil 2.1.5 Karoserinin sonlu elemanlar modeli	7
Şekil 3.1.1 Yedi serbestlik dereceli taşıt modeli	11
Şekil 3.3.1 Taşıtın yüksüz durumdaki birinci mod şekli	22
Şekil 3.3.2 Taşıtın yüksüz durumdaki ikinci mod şekli	22
Şekil 3.3.3 Taşıtın yüksüz durumdaki üçüncü mod şekli	22
Şekil 3.3.4 Taşıtın yüksüz durumdaki dördüncü mod şekli	22
Şekil 3.3.5 Taşıtın yüksüz durumdaki beşinci mod şekli	23
Şekil 3.3.6 Taşıtın yüksüz durumdaki altıncı mod şekli	23
Şekil 3.3.7 Taşıtın yüksüz durumdaki yedinci mod şekli	23
Şekil 3.4.1 Ön aksın düşey titreşimleri (yüksüz durum)	25
Şekil 3.4.2 Arka aksın düşey titreşimleri (yüksüz durum)	26
Şekil 3.4.3 Gövdenin düşey titreşimleri (yüksüz durum)	26
Şekil 3.4.4 Ön aksın yalpa titreşimleri (yüksüz durum)	27
Şekil 3.4.5 Arka aksın yalpa titreşimleri (yüksüz durum)	27
Şekil 3.4.6 Gövdenin yalpa titreşimleri (yüksüz durum)	28
Şekil 3.4.7 Gövdenin kafa vurma titreşimleri (yüksüz durum)	28
Şekil 3.4.8 Ön aksın düşey titreşimleri (yükli durum)	29
Şekil 3.4.9 Arka aksın düşey titreşimleri (yükli durum)	29
Şekil 3.4.10 Gövdenin düşey titreşimleri (yükli durum)	30
Şekil 3.4.11 Ön aksın yalpa titreşimleri (yükli durum)	30
Şekil 3.4.12 Arka aksın yalpa titreşimleri (yükli durum)	31
Şekil 3.4.13 Gövdenin yalpa titreşimleri (yükli durum)	31
Şekil 3.4.14 Gövdenin kafa vurma titreşimleri (yükli durum)	32
Şekil 4.1 Çözüm yapısı	35
Şekil 4.2 Düz tümsek	35
Şekil 4.3 Yarım düz tümsek	36
Şekil 4.4 Çapraz tümsek	36
Şekil 4.5 Düz tümsek ve hendek	37
Şekil 4.1.1 Tümsek geometrisi	37
Şekil 4.1.2 İlk üç durum için hazırlanan sinyal	38
Şekil 4.1.3 Son durum için hazırlanan sinyal	38
Şekil 4.2.1 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 7,2 km/h hızla düz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri	39
Şekil 4.2.2 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 7,2 km/h hızla düz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme	39
Şekil 4.2.3 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 7,2 km/h hızla düz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri	40
Şekil 4.2.4 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 7,2 km/h hızla düz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri	40
Şekil 4.2.5 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 18 km/h hızla düz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri	41

Şekil 4.2.6 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 18 km/h hızla düz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme	41
Şekil 4.2.7 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 18 km/h hızla düz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri	42
Şekil 4.2.8 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 18 km/h hızla düz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri	42
Şekil 4.2.9 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 36 km/h hızla düz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri	43
Şekil 4.2.10 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 36 km/h hızla düz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme	43
Şekil 4.2.11 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 36 km/h hızla düz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri	44
Şekil 4.2.12 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 36 km/h hızla düz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri	44
Şekil 4.2.13 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 7,2 km/h hızla düz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri	45
Şekil 4.2.14 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 7,2 km/h hızla düz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme	45
Şekil 4.2.15 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 7,2 km/h hızla düz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri	46
Şekil 4.2.16 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 7,2 km/h hızla düz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri	46
Şekil 4.2.17 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 18 km/h hızla düz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri	47
Şekil 4.2.18 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 18 km/h hızla düz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme	47
Şekil 4.2.19 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 18 km/h hızla düz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri	48
Şekil 4.2.20 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 18 km/h hızla düz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri	48
Şekil 4.2.21 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 36 km/h hızla düz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri	49
Şekil 4.2.22 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 36 km/h hızla düz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme	49
Şekil 4.2.23 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 36 km/h hızla düz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri	50
Şekil 4.2.24 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 36 km/h hızla düz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri	50
Şekil 4.3.1 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 7,2 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri	51
Şekil 4.3.2 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 7,2 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme	51
Şekil 4.3.3 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 7,2 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri	52
Şekil 4.3.4 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 7,2 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri	52
Şekil 4.3.5 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 18 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri	53
Şekil 4.3.6 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 18 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme	53
Şekil 4.3.7 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 18 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi	

süspansiyon yay kuvvetleri	54
Şekil 4.3.8 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 18 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri	54
Şekil 4.3.9 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 36 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri	55
Şekil 4.3.10 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 36 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme ..	55
Şekil 4.3.11 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 36 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri	56
Şekil 4.3.12 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 36 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri	56
Şekil 4.3.13 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 7,2 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri	57
Şekil 4.3.14 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 7,2 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme ..	57
Şekil 4.3.15 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 7,2 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri	58
Şekil 4.3.16 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 7,2 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri	58
Şekil 4.3.17 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 18 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri	59
Şekil 4.3.18 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 18 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme	59
Şekil 4.3.19 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 18 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri	60
Şekil 4.3.20 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 18 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri	60
Şekil 4.3.21 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 36 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri	61
Şekil 4.3.22 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 36 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme	61
Şekil 4.3.23 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 36 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri	62
Şekil 4.3.24 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 36 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri	62
Şekil 4.4.1 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 7,2 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri	63
Şekil 4.4.2 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 7,2 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme	63
Şekil 4.4.3 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 7,2 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda süspansiyon yay kuvvetleri	64
Şekil 4.4.4 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 7,2 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda süspansiyon sönüm kuvvetleri	64
Şekil 4.4.5 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 18 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri	65
Şekil 4.4.6 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 18 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme	65
Şekil 4.4.7 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 18 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri	66
Şekil 4.4.8 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 18 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri	66

Şekil 4.4.9 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 36 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri	67
Şekil 4.4.10 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 36 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme	67
Şekil 4.4.11 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 36 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri	68
Şekil 4.4.12 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 36 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri	68
Şekil 4.4.13 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 7,2 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri	69
Şekil 4.4.14 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 7,2 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme	69
Şekil 4.4.15 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 7,2 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri	70
Şekil 4.4.16 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 7,2 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri	70
Şekil 4.4.17 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 18 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri	71
Şekil 4.4.18 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 18 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme	71
Şekil 4.4.19 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 18 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri	72
Şekil 4.4.20 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 18 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri	72
Şekil 4.4.21 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 36 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri	73
Şekil 4.4.22 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 36 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme	73
Şekil 4.4.23 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 36 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri	74
Şekil 4.4.24 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 36 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri	74
Şekil 5.1.1 Taşıtın CATIA V5 modeli.....	75
Şekil 5.1.2 Taşıta ait bir sac parçanın imalat için hazırlanmış CAD modeli.....	76
Şekil 5.1.3 Taşıta ait bir sac parçanın SEM için hazırlanmış CAD modeli	76
Şekil 5.1.4 Taşıtın ABAQUS SE modeli.....	77
Şekil 5.1.1.1 Girdi dosyası	78
Şekil 5.1.2.1 Yay ve sönüm elemanları	79
Şekil 5.1.2.2 Civata ve perçin bağlantıları.....	80
Şekil 5.2.1.1 Modal analiz için sınır koşulları.....	81
Şekil 5.2.3.1 Taşıtın yüksüz halde ilk üç mod şekli	82
Şekil 5.2.3.1 Taşıtın yüklü halde ilk üç mod şekli	83
Şekil 5.3.1.1 Taşıtın gerilme analizleri için sınır koşulları.....	84
Şekil 5.3.3.1 Düz tümsekten geçiş benzetimi.....	86
Şekil 5.3.3.2 Düz tümsekten geçiş esnasında şasideki gerilme dağılımları	87
Şekil 5.3.3.3 Düz tümsekten geçiş esnasında karoserideki gerilme dağılımları.....	88
Şekil 5.3.3.4 Yarım düz tümsekten geçiş benzetimi.....	89
Şekil 5.3.3.5 Yarım düz tümsekten geçiş esnasında şasideki gerilme dağılımları	90
Şekil 5.3.3.6 Yarım düz tümsekten geçiş esnasında karoserideki gerilme dağılımları	91
Şekil 5.3.3.7 Çapraz tümsekten geçiş benzetimi	92
Şekil 5.3.3.8 Çapraz tümsekten geçiş esnasında şasideki gerilme dağılımları.....	93

Şekil 5.3.3.9 Çapraz tümsekten geçiş esnasında karoserideki gerilme dağılımları	94
---	----

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1.1 Taşıta ait kütleli veriler	8
Çizelge 2.2.1 Amortisör verileri	9
Çizelge 3.3.1 Modelin doğal frekansları	20
Çizelge 3.3.2 Yüklü modelin özvektör değerleri.....	21
Çizelge 3.3.3 Yüksüz modelin özvektör değerleri	21

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması K.K. Komutanlığı'nın FÜSİP (Fabrika Üniversite Sanayi İşbirliği Programı) kapsamı içinde 7. Bakım Merkezi Komutanlığı (Tuzla Jip Fabrikası) teknik yetkilileriyle birlikte gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmam süresince, bilgi, tecrübe ve destekleriyle yol gösteren danışmanlarım Prof. Necati Tahralı'ya ve Yrd. Doç. Dr. Cihan Demir'e, FÜSİP kapsamındaki çalışmalarımızda her türlü kolaylığı ve imkanı hazırlayan Fabrika Müdürü Kd. Alb. İsmail Kocaoğlu'na, Teknik Müdür Yük. Müh. Alb. Timuçin İnce'ye, tez konusundaki taşıtla ilgili bilgi ve pratik değerlendirmelerde çok yararlandığım Müh. Üğtm. Hilal Kemal Şenyılmaz'a ve Tekn. Levent Tan'a ve tüm fabrika personeline içten teşekkürlerimi sunarım.

Müh. Kutay Edis

ÖZET

Bu çalışma, 7. Bakım Merkezi Komutanlığı, Tuzla Fabrikası'nda imal edilen 4x4 Tayfun Silah Aracının çeşitli arazi koşullarındaki dinamik davranışlarını incelemek maksadıyla gerçekleştirilmiştir. İlk olarak taşıtın yedi serbestlik dereceli analitik modeli oluşturulmuştur. Bilgisayar ortamında yedi serbestlik dereceli model olarak her bir farklı yol koşulunda farklı yük durumları için benzetim yapılmıştır. Simulasyon için Matlab ve Simulink yazılımları kullanılmıştır.

Taşıtın çeşitli tümseklerden geçtiği durum için şasi ve karoseride sonlu elemanlar metodu kullanılarak gerilme ve titreşim analizleri gerçekleştirilmiştir. Bunun için ilk önce tam taşıtın bir sonlu elemanlar modeli hazırlanmış ve doğal frekansları buldurulmuştur. Yazılım olarak ABAQUS kullanılmıştır. Daha sonra ise tümsekten geçiş senaryoları için benzetimler yapılmıştır. Böylece çeşitli yol durumlarında taşıt yapısında mukavemet açısından kritik bölgeler tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Taşıt dinamiği, modal analiz, sonlu elemanlar metodu, titreşim

ABSTRACT

This work was carried out for research of the dynamic response of the 4WD Tayfun gun vehicle which is produced by 7. Bakım Merkezi Komutanlığı, Tuzla Plant in different road conditions. First of all, a seven degrees of freedom analytical model of the vehicle was built. Simulation was made in computer environment for different payload and road conditions for seven degrees of freedom analytical model. Matlab and Simulink softwares were used for simulations.

Stress and vibration analysis were made by using finite element methods for chassis and body in white, while vehicle is going over various bumps. First, a finite element model of the vehicle was prepared and natural frequencies of the vehicle were found. ABAQUS was used as a package software. After that, simulations were made for the scenarios which include the vehicle going over bumps. So critical areas on the vehicle structure in terms of strength in various road types were determined.

Keywords: Vehicle dynamics, modal analysis, finite element method, vibration

1. GİRİŞ

1.1 7. Bakım Merkezi Komutanlığı'nın Tarihçesi

7. Bakım Merkezi Komutanlığı 1954 yılında kısmen yabancı sermaye iştirakiyle “Türk Willys Overland adı altında İstanbul’un Tuzla ilçesinde 260.000 m²’lik bir alan üzerinde kurulmuştur.

Bu tarihten itibaren yurt dışından temin edilen malzemelerin montajı ile jip türü araç üretimine başlanmıştır. Özel Verdi Ltd. Şirketi yönetiminde 1971 yılına kadar Araç Montaj Fabrikası olarak faaliyet göstermiştir.

Türk Otomotiv Sanayisinin ilk tesisi olan fabrika, 1971 yılında Milli Savunma Bakanlığı tarafından satın alınarak 1013. Tekerlekli Araç Yenileştirme Yedek Parça ve Montaj Fabrikası adı altında faaliyete geçmiştir.

Fabrikanın ismi 15 Mayıs 1987 tarihi itibarıyla, 1013. Ordu Donatım Ana Tamir Fabrikası Müdürlüğü, Temmuz 2003 tarihinden itibaren 7. Bakım Merkezi Komutanlığı olarak değiştirilmiştir.

1.2 4x4 Tayfun Silah Aracının Tanımlanması

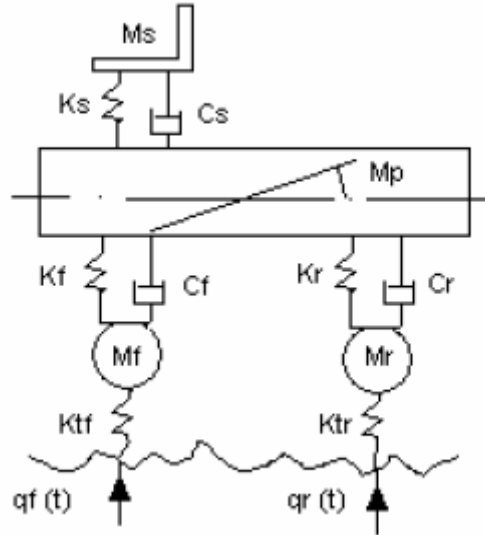
Aşağıda jipe ait bazı katalog bilgileri yer almaktadır.

Motor Durotorq 2.4 L MFI (Puma)	: 2400 cc İntercooler Turbo Dizel
Silindir Sayısı	: 4
Silindir Hacmi	: 2402 cc
Max. Güç	: 88 KW (120 PS) 4000 d/d
Şanzıman	: MT-75 5 İleri 1 Geri
Debriyaj	: Hidrolik
Lastik (Arazi – Cadde)	: 7,50x16
Fren Sistemi	: Vakum takviyeli hidrolik
Ön Fren Tertibatı	: Disk
Arka Fren Tertibatı	: Kampana
Direksiyon Sistemi	: Hidrolik
Elektrik Sistemi	: 24 Volt 60 Amper

1.3 Geçmişten Günümüze Literatürde Yapılan Çalışmalar

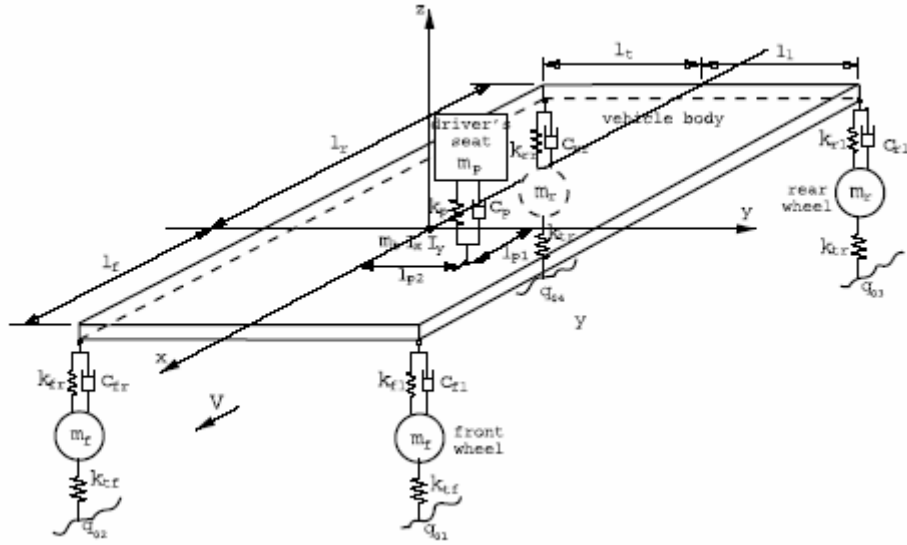
Şasi-süspansiyon sistemlerinin taşıtlarda güvenlikten konfora kadar genel performanslarında pek çok önemli etkileri vardır. gelmektedir. Son zamanlarda süspansiyon sistemleri konusundaki çalışmaları artmış olmasına rağmen, pasif süspansiyonlar güncelliğini korumaktadır. Pasif süspansiyon sistemlerinin ucuzluğu, taşıta ek bir ağırlık getirmemesi, sistem güç kaynaklarını kullanan elemanlarının olmayışı, basitliği ve güvenilirliğini kanıtlamış olması en önemli avantajlarıdır.

L,-J, Zhang, C.,-M. Lee, ve Y. S. Wang, yaptıkları çalışmada bir taşıtın durağan olmayan rastgele titreşimlerini çözmek için iki yeni metod geliştirmişlerdir. Bu metodlar için ilk önce beş serbestlik dereceli bir taşıt modeli kurmuşlardır.



Şekil 1.3.1 Beş serbestlik dereceli taşıt modeli

Lei Zuo ve Samir A. Nayfeh LQG/H2 optimizasyon tekniğini sekiz serbestlik dereceli taşıt modeline uygulamışlardır. Sürüş konforu, yol tutuşu süspansiyon deformasyonunu performans indisi olarak almışlardır. Bu metod ayrıca aktif süspansiyonlu sistemlere de uygulanabilmektedir.



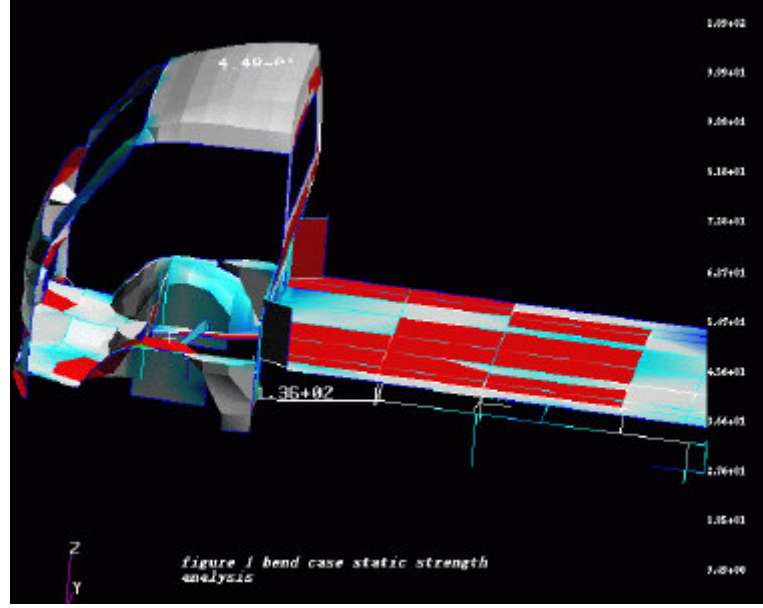
Şekil 1.3.2 Beş serbestlik dereceli taşıt modeli

Lijun Zhang, Tianxia Zhang ve Hui He ise yaptıkları çalışmada bir taşıtın durağan olmayan rastgele titreşimlerini frekans ekseninde çözmek için geleneksel FFT metodundan daha fazla avantajı olduğu ileri sürülen maksimum entropi metodu beş serbestlik dereceli taşıt modeline uygulanmıştır.

Taşıtların yukarıda bahsedilen dinamik özelliklerinin yanında, bir taşıtın tasarımı yapılırken göz önünde bulundurulması gereken en önemli noktalardan biri de taşıt elemanlarının kendilerinden beklenen mukavemet değerlerini sağlamalarıdır. Taşıtın koroseri, motor aktarma organları, yolcu kabini gibi kısımlarını taşımakta olan şasi de çeşitli zorlanmalara (eğilme, burulma vs...) karşı mukavemet göstermek zorundadır.

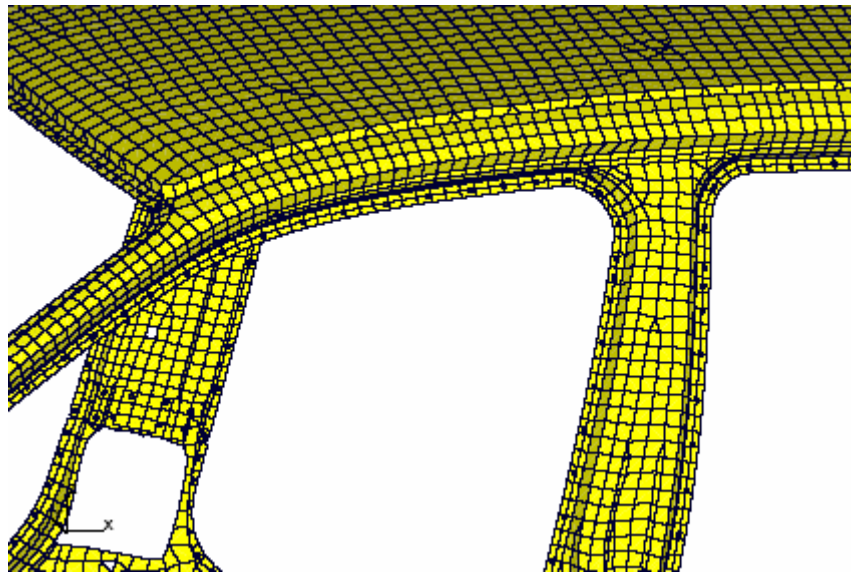
Gerek tasarım sürecinin kısaltılması gerekse prototip maliyetlerinde düşüş amacıyla günümüzde taşıt tasarımında sonlu elemanlar metodu yaygın olarak kullanılmaktadır.

İlk oluşturulan sonlu elemanlar modelleri Jin yi-min' in kullandığı gibi yekpare model olarak tanımlanan yaklaşık 30000-35000 arası elemandan oluşan yapılardır. Bu yapılarda sac parçalar arasında herhangi bir punta kaynağı bağıntısı hesaba katılmamıştır.



Şekil 1.3.3 Yekpare sonlu elemanlar modeli

Gelişen matris çözücüler ve donanımlar sayesinde günümüzde taşıt gövde yapılarında sistemin bütünlüğünde katılık matrisine etki eden punta kaynak modelleri de benzetimlere dahil edilmiştir. Bu konuda Dipl.-Phys. Daniel Heiserer, Mladen Chargin, Dipl.-Ing. Juergen Siela elde ettikleri kodları punta kaynaklarının optimize edilmesi amacıyla kullanmışlardır. Basavapatna P Naganarayana, S Shankar, Viswanath S Bhattachar 'ın çalışmalarında ise yapıda kullanılan bağlantılardan kaynaklanan sönüm etkisi çözüm açısından bağımsız olarak kullanılan punta kaynak modelleriyle irdelenmiştir.



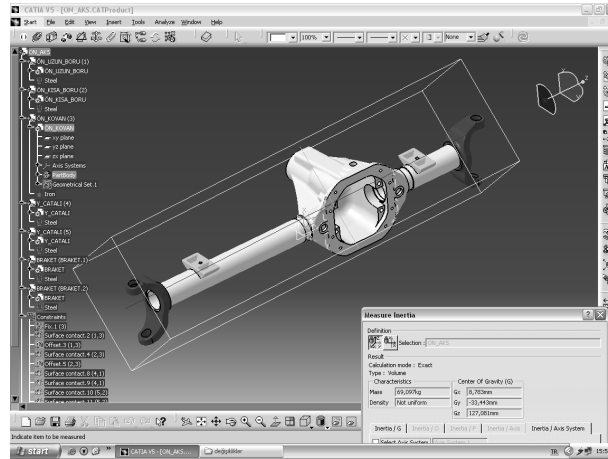
Şekil 1.3.4 Sonlu elemanlar modeline punta kaynaklarının dahil edilmesi

2. 4X4 TAŞITA AİT FİZİKSEL ÖZELLİKLERİN ELDE EDİLMESİ

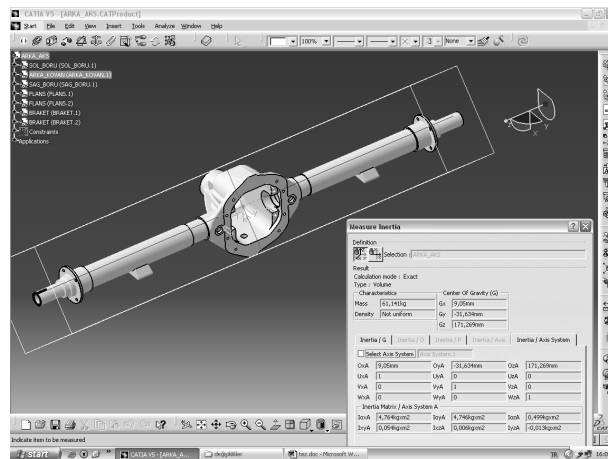
2.1 Taşıta Ait Kütleler ve Kütlesel Atalet Momentlerinin Hesaplanması

Taşıta ait kütleler ve taşıta ait kütleli atalet momentlerinin bir kısmı gerçeğe mümkün mertebe yaklaşmak amacıyla ölçüm yapılarak elde edildi, diğer bir kısmı ise ileriki bölümlerde detaylı bahsedilecek olan sonlu elemanlar metodu kullanılarak hesaplandı. Bu bölümde ilk önce yukarıda bahsedilen fiziksel özelliklerin nasıl elde edildiği anlatılmış , daha sonra ise bu değerler bir tablo halinde sunulmuştur.

Tekerleklerle ait kütleler ölçülerek elde edilmiştir. Ön ve Arka diferansiyellere ait kütleler ölçüm ile, kütleli atalet momentleri ise CATIA V5 yazılımında hesaplatılmıştır.

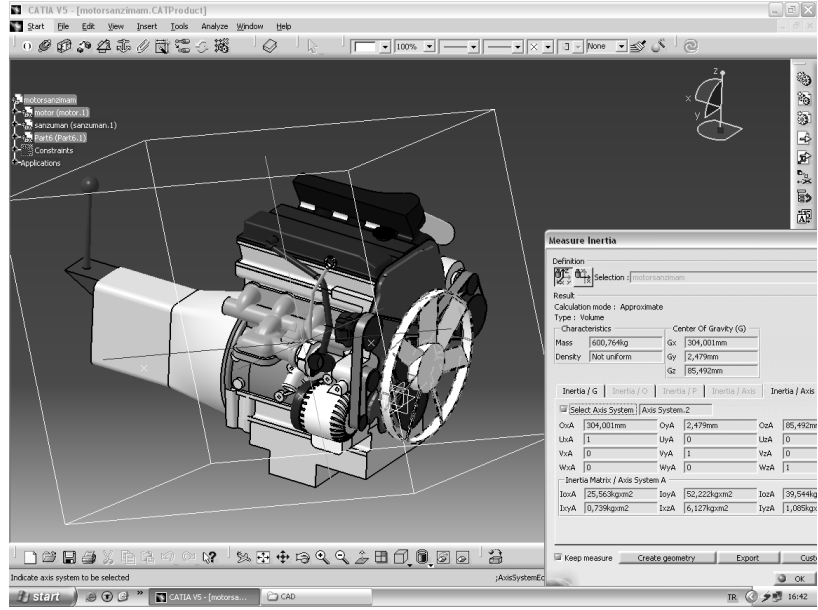


Şekil 2.1.1 Ön diferansiyelin CATIA V5 yazılımında modellenmesi



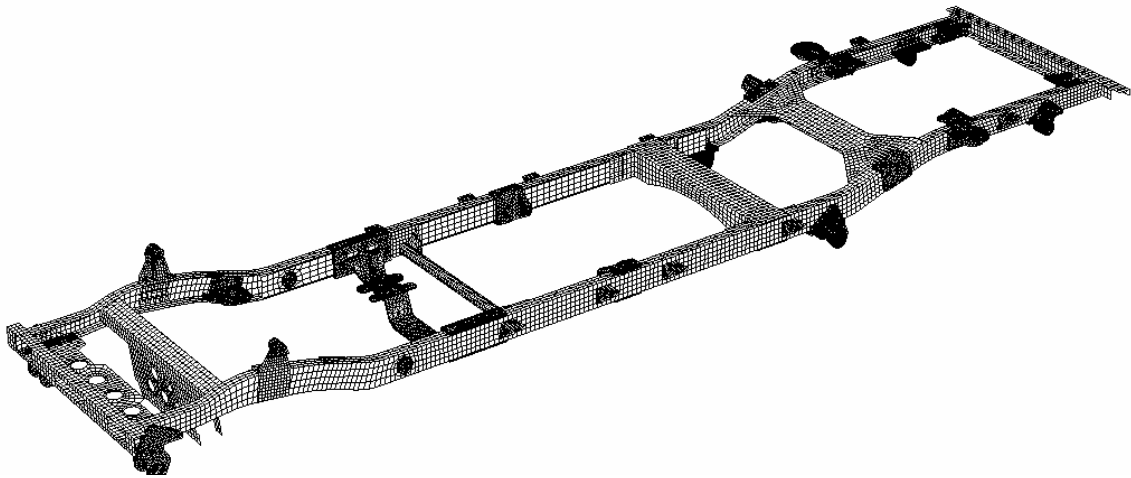
Şekil 2.1.2 Arka diferansiyelin CATIA V5 yazılımında modellenmesi

Motora ait kütle değeri katalogdan okunmuştur, kütleli atalet momentleri ise CATIA V5 yazılımında hesaplatılmıştır.

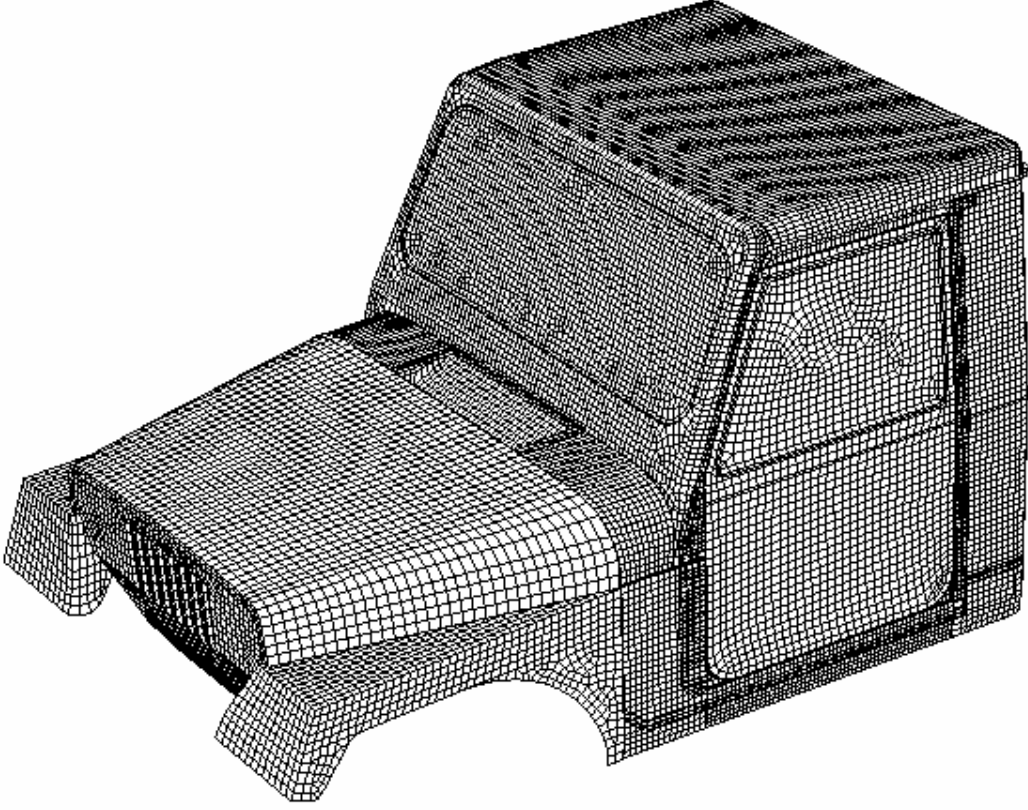


Şekil 2.1.3 Motorun CATIA V5 yazılımında modellenmesi

Yakıt deposu ve transfer kutusunun kütleleri, ölçüm yapılarak elde edilmiştir. Şasi ve karoseriye ait kütleler ve kütleli atalet momentleri ise sonlu elemanlar metodu kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.1.4 Şasinin sonlu elemanlar modeli



Şekil 2.1.5 Karoserinin sonlu elemanlar modeli

Yukarıdakilere ek olarak bir de taşıtın dolu ve boş kütlelerine ulaşmak için modele dahil edilmesi gereken ek kütleler vardır. Bu ek kütleler taşıt toplam kütesinden, daha önce hesaplayabildiğimiz kütleleri çıkartarak elde edilir ve modele uygun bir biçimde dahil edilir.

Çizelge 2.1.1 Taşıta ait kütleler verileri

ALT SİSTEMLER	YÜKSÜZ (kg)	YÜKLÜ (kg)
ön aks kütlesi	70	70
arka aks kütlesi	61	61
tekerlek kütleleri	80	80
depo kütlesi	100	100
motor-şanzuman kütlesi	600	600
transfer kutusu kütlesi	50	50
şasi kütlesi	215	215
karoseri kütlesi	172	172
ek kütleler	652	1652
TOPLAM	2000	3000

2.2 Amortisor Verileri

Hesaplamalar öncesinde amortisör verilerinin saptanması ve bu bilgilere göre gerekli değerlendirmelerin yapılması gerekir. Bundan dolayı amortisör verileri her üç amortisör için aşağıda ki gibi verilmiştir.

Çizelge 2.2.1 Amortisor verileri

15476 No'lu Amortisör						
Piston Hızı (m/s)	0,052	0,052	0,131	0,131	0,262	0,262
Façma (daN) , min-max	67	101	108	154	130	176
Fkapama (daN) , min-max	11	21	23	35	31	43
Caçma (Ns/m) , min-max	12884,62	19423,08	8244,27	11755,73	4961,83	6717,56
Ckapama (Ns/m) , min-max	2115,38	4038,46	1755,73	2671,76	1183,21	1641,22
15477 No'lu Amortisör						
Piston Hızı (m/s)	0,052	0,052	0,131	0,131	0,262	0,262
Façma (daN) , min-max	13	23	62	90	117	159
Fkapama (daN) , min-max	19	31	38	54	48	64
Caçma (Ns/m) , min-max	2500	4423,08	4732,82	6870,23	4465,65	6068,7
Ckapama (Ns/m) , min-max	3653,85	5961,54	2900,76	4122,14	1832,06	2442,75
SACHS BELDESAN						
Piston Hızı (m/s)	0,105	0,105	0,576	0,576		
Façma (daN) , min-max	144	196	216	293		
Fkapama (daN) , min-max	51	69	127	172		
Caçma (Ns/m) , min-max	13714,29	18666,67	3750	5086,81		
Ckapama (Ns/m) , min-max	4857,14	6571,43	2204,86	2986,11		

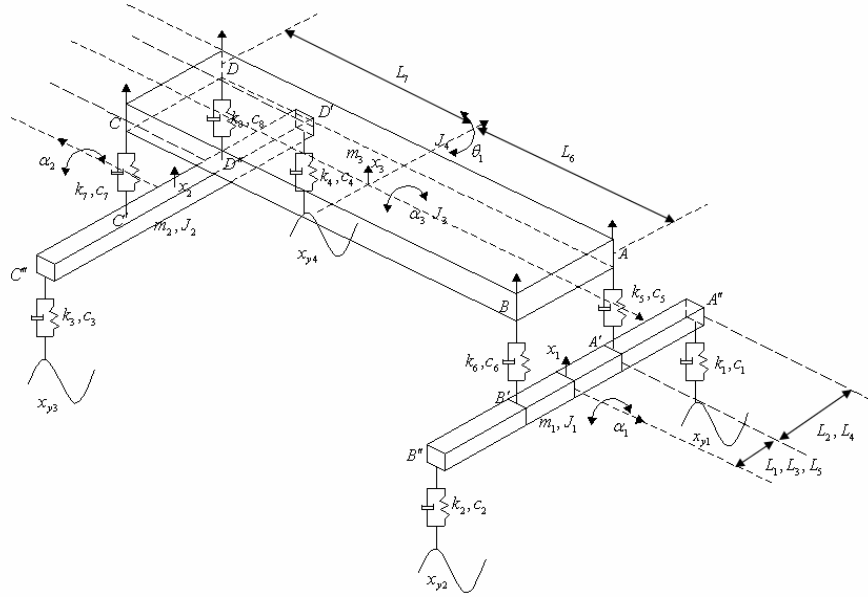
2.3 Yay Katsayıları

Yaprak yay katsayıları hazır veri olarak 85000 N/m, helezon yay katsayıları ise yine hazır veri olarak 32000 N/m alınmıştır.

3. 4X4 TAŞITIN YEDİ SERBESTLİK DERECELİ ANALİTİK MODELİ

3.1 Modelin Lagrange Denklemleri

Yedi serbestlik dereceli modeller literatürde, tam taşıt modeli veya üç boyutlu model olarak da geçer. Model iki adet bağımsız aks ve bir adet gövdeden oluşur. Her iki aks da gövdeye doğrusal yay ve sönüm elemanları ile bağlanmıştır. Lastikler ise doğrusal yay ve sönüm elemanı olarak modellenmiştir.



Şekil 3.1.1 Yedi serbestlik dereceli taşıt modeli

Simge anlamları aşağıda verilmiştir.

A, B, C, D : Şasi – süspansiyon elemanları bağlantı noktaları

A', B', C', D' : Aks – süspansiyon elemanları bağlantı noktaları

A'', B'', C'', D'' : Aks – tekerlek bağlantı noktaları

m_1, m_2 : Ön ve arka aks – tekerlek kütleleri

m_3 : Taşıt gövdesinin kütlesi

J_1, J_2 : Aksların yalpalama (y) eksenindeki atalet momentleri

J_3 : Gövdenin yalpalama (y) eksenindeki atalet momentleri

J_4 : Gövdenin kafa vurma (z) eksenindeki atalet momenti

L_1, L_3 : Diferansiyel kovarı ile süspansiyon elemanları arası mesafeler

L_2, L_4 : Süspansiyon elemanları ile tekerlek bağlantı noktaları arası mesafeler

L_5 : Gövde yalpalama (y) eksenini ile süspansiyon elemanları arası mesafe

L_6, L_7 : Gövde kafa vurma (z) eksenini ile akslar arası mesafeler

k_1, k_2, k_3, k_4 : Tekerleklerle ait yay katsayıları

k_5, k_6, k_7, k_8 : Ön ve arka süspansiyon sistemlerine ait yay katsayıları

c_1, c_2, c_3, c_4 : Tekerleklerle ait sönüm katsayıları

c_5, c_6, c_7, c_8 : Ön ve arka süspansiyon sistemlerine ait sönüm katsayıları

x_1, x_2 : Aksların düşey titreşim genlikleri

x_3 : Gövdenin düşey titreşim genliği

$x_4 = \alpha_1, x_5 = \alpha_2$: Aksların yalpalama titreşim genlikleri

$x_6 = \alpha_3$: Gövdenin yalpalama titreşim genliği

$x_7 = \theta$: Gövdenin kafa vurma titreşim genliği

x_A, x_B, x_C, x_D : Şasi – süspansiyon elemanları bağlantı noktalarının düşey titreşim genlikleri

$x_{A'}, x_{B'}, x_{C'}, x_{D'}$: Aks – süspansiyon elemanları bağlantı noktalarının düşey titreşim genlikleri

$x_{A''}, x_{B''}, x_{C''}, x_{D''}$: Aks – tekerlek bağlantı noktalarının düşey titreşim genlikleri

$x_{y_1}, x_{y_2}, x_{y_3}, x_{y_4}$: Yol fonksiyonları (pürüzlülükleri)

Lagrange denklemi en genel haliyle aşağıdaki gibidir:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial q_j} + \frac{\partial E_p}{\partial q_j} + \frac{\partial E_c}{\partial q_j} = Q_j \quad (3.1.1)$$

$$x_A > x_{A'}, x_B > x_{B'}, x_C > x_{C'}, x_D > x_{D'} \quad (3.1.2)$$

$$x_{A''} > x_{y1}, x_{B''} > x_{y2}, x_{C''} > x_{y3}, x_{D''} > x_{y4} \quad (3.1.3)$$

kabulleri yapıldıktan sonra enerji denklemleri yazıldı.

Sistemin toplam kinetik enerjisinin ifadesi;

$$E_K = \frac{1}{2} m_1 \dot{x}_1'' + \frac{1}{2} J_1 \dot{\alpha}_1'' + \frac{1}{2} m_2 \dot{x}_2'' + \frac{1}{2} J_2 \dot{\alpha}_2'' + \frac{1}{2} m_3 \dot{x}_3'' + \frac{1}{2} J_3 \dot{\alpha}_3'' + \frac{1}{2} J_4 \dot{\theta}_1'' \quad (3.1.4)$$

Toplam potansiyel enerjisinin ifadesi;

$$E_P = \frac{1}{2} k_5 (x_A - x_{A'})^2 + \frac{1}{2} k_6 (x_B - x_{B'})^2 + \frac{1}{2} k_7 (x_C - x_{C'})^2 + \frac{1}{2} k_8 (x_D - x_{D'})^2 + \frac{1}{2} k_1 (x_{A''} - x_{y1})^2 + \frac{1}{2} k_2 (x_{B''} - x_{y2})^2 + \frac{1}{2} k_3 (x_{C''} - x_{y3})^2 + \frac{1}{2} k_4 (x_{D''} - x_{y4})^2 \quad (3.1.5)$$

Toplam sönüm enerjisinin ifadesi,

$$E_D = \frac{1}{2} c_5 (\dot{x}_A - \dot{x}_{A'})^2 + \frac{1}{2} c_6 (\dot{x}_B - \dot{x}_{B'})^2 + \frac{1}{2} c_7 (\dot{x}_C - \dot{x}_{C'})^2 + \frac{1}{2} c_8 (\dot{x}_D - \dot{x}_{D'})^2 + \frac{1}{2} c_1 (\dot{x}_{A''} - \dot{x}_{y1})^2 + \frac{1}{2} c_2 (\dot{x}_{B''} - \dot{x}_{y2})^2 + \frac{1}{2} c_3 (\dot{x}_{C''} - \dot{x}_{y3})^2 + \frac{1}{2} c_4 (\dot{x}_{D''} - \dot{x}_{y4})^2 \quad (3.1.6)$$

şeklindedir.

3.2 Modelin Diferansiyel Denklemleri

$$x_B > x_A; x_C > x_D; x_B > x_C; x_A > x_D \quad (3.2.1)$$

$$x_{A''} > x_{B''}; x_{D''} > x_{C''} \quad (3.2.2)$$

koşulları kabul edilerek şasi – süspansiyon elemanları bağlantı noktalarının genelleştirilmiş koordinatlar cinsinden karşılıkları yazıldı:

$$x_A = x_3 + L_6 \theta + L_5 \alpha_3 \quad (3.2.3)$$

$$x_B = x_3 + L_6 \theta - L_5 \alpha_3 \quad (3.2.4)$$

$$x_C = x_3 - L_7 \theta + L_5 \alpha_3 \quad (3.2.5)$$

$$x_D = x_3 - L_7 \theta - L_5 \alpha_3 \quad (3.2.6)$$

$$x_{A^*} = x_1 + (L_1 + L_2)\alpha_1 \quad (3.2.7)$$

$$x_{B^*} = x_1 - (L_1 + L_2)\alpha_1 \quad (3.2.8)$$

$$x_{C^*} = x_2 - (L_3 + L_4)\alpha_2 \quad (3.2.9)$$

$$x_{D^*} = x_2 + (L_3 + L_4)\alpha_2 \quad (3.2.10)$$

Değişiklikler sönüm ve potansiyel enerji ifadelerine yansıtıldığında aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$\begin{aligned} E_p = & \frac{1}{2}k_1(x_1 + (L_1 + L_2)x_4 - x_{y1})^2 + \frac{1}{2}k_2(x_1 - (L_1 + L_2)x_4 - x_{y2})^2 + \\ & \frac{1}{2}k_3(x_2 - (L_3 + L_4)x_5 - x_{y3})^2 + \frac{1}{2}k_4(x_2 + (L_3 + L_4)x_5 - x_{y4})^2 + \\ & \frac{1}{2}k_5(x_3 - L_6x_7 + L_5x_6 - x_1 - L_1x_4)^2 + \frac{1}{2}k_6(x_3 - L_6x_7 + L_5x_6 - x_1 + L_1x_4)^2 + \\ & \frac{1}{2}k_7(x_3 + L_7x_7 - L_5x_6 - x_2 + L_3x_5)^2 + \frac{1}{2}k_8(x_3 + L_7x_7 + L_5x_6 - x_2 - L_3x_5)^2 \end{aligned} \quad (3.2.11)$$

$$\begin{aligned} E_D = & \frac{1}{2}c_1(\dot{x}_1 + (L_1 + L_2)\dot{x}_4 - \dot{x}_{y1})^2 + \frac{1}{2}c_2(\dot{x}_1 - (L_1 + L_2)\dot{x}_4 - \dot{x}_{y2})^2 + \\ & \frac{1}{2}c_3(\dot{x}_2 - (L_3 + L_4)\dot{x}_5 - \dot{x}_{y3})^2 + \frac{1}{2}c_4(\dot{x}_2 + (L_3 + L_4)\dot{x}_5 - \dot{x}_{y4})^2 + \\ & \frac{1}{2}c_5(\dot{x}_3 - L_6\dot{x}_7 + L_5\dot{x}_6 - \dot{x}_1 - L_1\dot{x}_4)^2 + \frac{1}{2}c_6(\dot{x}_3 - L_6\dot{x}_7 + L_5\dot{x}_6 - \dot{x}_1 + L_1\dot{x}_4)^2 + \\ & \frac{1}{2}c_7(\dot{x}_3 + L_7\dot{x}_7 - L_5\dot{x}_6 - \dot{x}_2 + L_3\dot{x}_5)^2 + \frac{1}{2}c_8(\dot{x}_3 + L_7\dot{x}_7 + L_5\dot{x}_6 - \dot{x}_2 - L_3\dot{x}_5)^2 \end{aligned} \quad (3.2.12)$$

Yukarıdaki denklemlerin her titreşim genliği değişkeni için teker teker türevleri alınıp düzenlendiğinde modelin diferansiyel denklemleri elde edilmiş olur.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial q_j} + \frac{\partial E_p}{\partial q_j} + \frac{\partial E_D}{\partial q_j} = Q_j \quad (3.2.13)$$

Birinci değişken için işlem yapılırsa:

$$\begin{aligned} q_j &= x_1; \\ \frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_1} &= m_1\dot{x}_1, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_1} \right) = m_1\ddot{x}_1, \quad \frac{\partial E_k}{\partial x_1} = 0, \quad Q_{x_1} = 0 \end{aligned} \quad (3.2.14)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_p}{\partial \dot{x}_1} &= k_1(x_1 + (L_1 + L_2)x_4 - x_{y1}) + k_2(x_1 - (L_1 + L_2)x_4 - x_{y2}) - \\ &\quad k_5(x_3 - L_6x_7 + L_5x_6 - x_1 - L_1x_4) - k_6(x_3 - L_6x_7 + L_5x_6 - x_1 + L_1x_4) \end{aligned} \quad (3.2.15)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_D}{\partial \dot{x}_1} &= c_1(\dot{x}_1 + (L_1 + L_2)\dot{x}_4 - \dot{x}_{y1}) + c_2(\dot{x}_1 - (L_1 + L_2)\dot{x}_4 - \dot{x}_{y2}) - \\ &\quad c_5(\dot{x}_3 - L_6\dot{x}_7 + L_5\dot{x}_6 - \dot{x}_1 - L_1\dot{x}_4) - c_6(\dot{x}_3 - \dot{L}_6x_7 + \dot{L}_5x_6 - \dot{x}_1 + L_1\dot{x}_4) \end{aligned} \quad (3.2.16)$$

İkinci değişken için işlem yapılırsa:

$$\begin{aligned} q_j &= x_2; \\ \frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_2} &= m_2\dot{x}_2, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_2} \right) = m_2\ddot{x}_2, \quad \frac{\partial E_k}{\partial x_2} = 0, \quad Q_{x_2} = 0 \end{aligned} \quad (3.2.17)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_p}{\partial x_2} &= k_3(x_2 - (L_3 + L_4)x_5 - x_{y3}) + k_4(x_2 + (L_3 + L_4)x_5 - x_{y4}) - \\ &\quad k_7(x_3 + L_7x_7 - L_5x_6 - x_2 + L_3x_5) - k_8(x_3 + L_7x_7 + L_5x_6 - x_2 - L_3x_5) \end{aligned} \quad (3.2.18)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_D}{\partial \dot{x}_2} &= c_3(\dot{x}_2 - (L_3 + L_4)\dot{x}_5 - \dot{x}_{y3}) + c_4(\dot{x}_2 + (L_3 + L_4)\dot{x}_5 - \dot{x}_{y4}) - \\ &\quad c_7(\dot{x}_3 + L_7\dot{x}_7 - L_5\dot{x}_6 - \dot{x}_2 + L_3\dot{x}_5) - c_8(\dot{x}_3 + L_7\dot{x}_7 + L_5\dot{x}_6 - \dot{x}_2 - L_3\dot{x}_5) \end{aligned} \quad (3.2.19)$$

Üçüncü değişken için işlem yapılırsa:

$$\begin{aligned} q_j &= x_3; \\ \frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_3} &= m_3\dot{x}_3, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_3} \right) = m_3\ddot{x}_3, \quad \frac{\partial E_k}{\partial x_3} = 0, \quad Q_{x_3} = 0 \end{aligned} \quad (3.2.20)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_p}{\partial x_3} &= k_5(x_3 - L_6x_7 + L_5x_6 - x_1 - L_1x_4) + k_6(x_3 - L_6x_7 + L_5x_6 - x_1 + L_1x_4) + \\ &\quad k_7(x_3 + L_7x_7 - L_5x_6 - x_2 + L_3x_5) + k_8(x_3 + L_7x_7 + L_5x_6 - x_2 - L_3x_5) \end{aligned} \quad (3.2.21)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_D}{\partial \dot{x}_3} &= c_5(\dot{x}_3 - L_6\dot{x}_7 + L_5\dot{x}_6 - \dot{x}_1 - L_1\dot{x}_4) + c_6(\dot{x}_3 - \dot{L}_6x_7 + \dot{L}_5x_6 - \dot{x}_1 + L_1\dot{x}_4) + \\ &\quad c_7(\dot{x}_3 + L_7\dot{x}_7 - L_5\dot{x}_6 - \dot{x}_2 + L_3\dot{x}_5) + c_8(\dot{x}_3 + L_7\dot{x}_7 + L_5\dot{x}_6 - \dot{x}_2 - L_3\dot{x}_5) \end{aligned} \quad (3.2.22)$$

Dördüncü değişken için işlem yapılırsa:

$$q_j = x_4;$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_4} = J_1 \dot{x}_4, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_4} \right) = J_1 \ddot{x}_4, \quad \frac{\partial E_k}{\partial x_4} = 0, \quad Q_{x_4} = 0 \quad (3.2.23)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_p}{\partial x_4} = & k_1(L_1 + L_2)(x_1 + (L_1 + L_2)x_4 - x_{y1}) - k_2(L_1 + L_2)(x_1 - (L_1 + L_2)x_4 - x_{y2}) - \\ & k_5L_1(x_3 - L_6x_7 + L_5x_6 - x_1 - L_1x_4) + k_6L_1(x_3 - L_6x_7 + L_5x_6 - x_1 + L_1x_4) \end{aligned} \quad (3.2.24)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_D}{\partial \dot{x}_4} = & c_1(L_1 + L_2)(\dot{x}_1 + (L_1 + L_2)\dot{x}_4 - \dot{x}_{y1}) - c_2(L_1 + L_2)(\dot{x}_1 - (L_1 + L_2)\dot{x}_4 - \dot{x}_{y2}) - \\ & c_5L_1(\dot{x}_3 - L_6\dot{x}_7 + L_5\dot{x}_6 - \dot{x}_1 - L_1\dot{x}_4) + c_6L_1(\dot{x}_3 - L_6\dot{x}_7 + L_5\dot{x}_6 - \dot{x}_1 + L_1\dot{x}_4) \end{aligned} \quad (3.2.25)$$

Beşinci değişken için işlem yapılırsa:

$$q_j = x_5;$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_5} = J_2 \dot{x}_5, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_5} \right) = J_2 \ddot{x}_5, \quad \frac{\partial E_k}{\partial x_5} = 0, \quad Q_{x_5} = 0 \quad (3.2.26)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_p}{\partial x_5} = & -k_3(L_3 + L_4)(x_2 - (L_3 + L_4)x_5 - x_{y3}) + k_4(L_3 + L_4)(x_2 + (L_3 + L_4)x_5 - x_{y4}) + \\ & k_7L_3(x_3 + L_7x_7 - L_5x_6 - x_2 + L_3x_5) - k_8L_3(x_3 + L_7x_7 + L_5x_6 - x_2 - L_3x_5) \end{aligned} \quad (3.2.27)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_D}{\partial \dot{x}_5} = & -c_3(L_3 + L_4)(\dot{x}_2 - (L_3 + L_4)\dot{x}_5 - \dot{x}_{y3}) + c_4(L_3 + L_4)(\dot{x}_2 + (L_3 + L_4)\dot{x}_5 - \dot{x}_{y4}) + \\ & c_7L_3(\dot{x}_3 + L_7\dot{x}_7 - L_5\dot{x}_6 - \dot{x}_2 + L_3\dot{x}_5) - c_8L_3(\dot{x}_3 + L_7\dot{x}_7 + L_5\dot{x}_6 - \dot{x}_2 - L_3\dot{x}_5) \end{aligned} \quad (3.2.28)$$

Altıncı değişken için işlem yapılırsa:

$$q_j = x_6;$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_6} = J_3 \dot{x}_6, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_6} \right) = J_3 \ddot{x}_6, \quad \frac{\partial E_k}{\partial x_6} = 0, \quad Q_{x_6} = 0 \quad (3.2.29)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_p}{\partial x_6} = & -k_5L_5(x_3 - L_6x_7 + L_5x_6 - x_1 - L_1x_4) + k_6L_5(x_3 - L_6x_7 + L_5x_6 - x_1 + L_1x_4) - \\ & k_7L_5(x_3 + L_7x_7 - L_5x_6 - x_2 + L_3x_5) + k_8L_5(x_3 + L_7x_7 + L_5x_6 - x_2 - L_3x_5) \end{aligned} \quad (3.2.30)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_D}{\partial \dot{x}_6} = & -c_5 L_5 (\dot{x}_3 - L_6 \dot{x}_7 + L_5 \dot{x}_6 - \dot{x}_1 - L_1 \dot{x}_4) + c_6 L_5 (\dot{x}_3 - L_6 \dot{x}_7 + L_5 \dot{x}_6 - \dot{x}_1 + L_1 \dot{x}_4) - \\ & c_7 L_5 (\dot{x}_3 + L_7 \dot{x}_7 - L_5 \dot{x}_6 - \dot{x}_2 + L_3 \dot{x}_5) + c_8 L_5 (\dot{x}_3 + L_7 \dot{x}_7 + L_5 \dot{x}_6 - \dot{x}_2 - L_3 \dot{x}_5) \end{aligned} \quad (3.2.31)$$

Yedinci değişken için işlem yapılırsa:

$$q_j = x_7;$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_7} = J_4 \dot{x}_7, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_7} \right) = J_4 \ddot{x}_7, \quad \frac{\partial E_k}{\partial x_7} = 0, \quad Q_{x_7} = 0 \quad (3.2.32)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_p}{\partial x_7} = & -k_5 L_6 (x_3 - L_6 x_7 + L_5 x_6 - x_1 - L_1 x_4) - k_6 L_6 (x_3 - L_6 x_7 + L_5 x_6 - x_1 + L_1 x_4) + \\ & k_7 L_7 (x_3 + L_7 x_7 - L_5 x_6 - x_2 + L_3 x_5) + k_8 L_7 (x_3 + L_7 x_7 + L_5 x_6 - x_2 - L_3 x_5) \end{aligned} \quad (3.2.33)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_D}{\partial \dot{x}_7} = & -c_5 L_6 (\dot{x}_3 - L_6 \dot{x}_7 + L_5 \dot{x}_6 - \dot{x}_1 - L_1 \dot{x}_4) - c_6 L_6 (\dot{x}_3 - L_6 \dot{x}_7 + L_5 \dot{x}_6 - \dot{x}_1 + L_1 \dot{x}_4) + \\ & c_7 L_7 (\dot{x}_3 + L_7 \dot{x}_7 - L_5 \dot{x}_6 - \dot{x}_2 + L_3 \dot{x}_5) + c_8 L_7 (\dot{x}_3 + L_7 \dot{x}_7 + L_5 \dot{x}_6 - \dot{x}_2 - L_3 \dot{x}_5) \end{aligned} \quad (3.2.34)$$

Buradan sisteme ait diferansiyel denklemler aşağıdaki gibi yazılır.

$$\begin{aligned} (1) m_1 \ddot{x}_1 + c_1 (\dot{x}_1 + (L_1 + L_2) \dot{x}_4 - \dot{x}_{y1}) + c_2 (\dot{x}_1 - (L_1 + L_2) \dot{x}_4 - \dot{x}_{y2}) - \\ c_5 (\dot{x}_3 - L_6 \dot{x}_7 + L_5 \dot{x}_6 - \dot{x}_1 - L_1 \dot{x}_4) - c_6 (\dot{x}_3 - L_6 \dot{x}_7 + L_5 \dot{x}_6 - \dot{x}_1 + L_1 \dot{x}_4) + \\ k_1 (x_1 + (L_1 + L_2) x_4 - x_{y1}) + k_2 (x_1 - (L_1 + L_2) x_4 - x_{y2}) - \\ k_5 (x_3 - L_6 x_7 + L_5 x_6 - x_1 - L_1 x_4) - k_6 (x_3 - L_6 x_7 + L_5 x_6 - x_1 + L_1 x_4) = 0 \end{aligned} \quad (3.2.35)$$

$$\begin{aligned} (2) m_2 \ddot{x}_2 + c_3 (\dot{x}_2 - (L_3 + L_4) \dot{x}_5 - \dot{x}_{y3}) + c_4 (\dot{x}_2 + (L_3 + L_4) \dot{x}_5 - \dot{x}_{y4}) - \\ c_7 (\dot{x}_3 + L_7 \dot{x}_7 - L_5 \dot{x}_6 - \dot{x}_2 + L_3 \dot{x}_5) - c_8 (\dot{x}_3 + L_7 \dot{x}_7 + L_5 \dot{x}_6 - \dot{x}_2 - L_3 \dot{x}_5) + \\ k_3 (x_2 - (L_3 + L_4) x_5 - x_{y3}) + k_4 (x_2 + (L_3 + L_4) x_5 - x_{y4}) - \\ k_7 (x_3 + L_7 x_7 - L_5 x_6 - x_2 + L_3 x_5) - k_8 (x_3 + L_7 x_7 + L_5 x_6 - x_2 - L_3 x_5) + \end{aligned} \quad (3.2.36)$$

$$\begin{aligned} (3) m_3 \ddot{x}_3 + c_5 (\dot{x}_3 - L_6 \dot{x}_7 + L_5 \dot{x}_6 - \dot{x}_1 - L_1 \dot{x}_4) + c_6 (\dot{x}_3 - L_6 \dot{x}_7 + L_5 \dot{x}_6 - \dot{x}_1 + L_1 \dot{x}_4) + \\ c_7 (\dot{x}_3 + L_7 \dot{x}_7 - L_5 \dot{x}_6 - \dot{x}_2 + L_3 \dot{x}_5) + c_8 (\dot{x}_3 + L_7 \dot{x}_7 + L_5 \dot{x}_6 - \dot{x}_2 - L_3 \dot{x}_5) + \\ k_5 (x_3 - L_6 x_7 + L_5 x_6 - x_1 - L_1 x_4) + k_6 (x_3 - L_6 x_7 + L_5 x_6 - x_1 + L_1 x_4) + \\ k_7 (x_3 + L_7 x_7 - L_5 x_6 - x_2 + L_3 x_5) + k_8 (x_3 + L_7 x_7 + L_5 x_6 - x_2 - L_3 x_5) = 0 \end{aligned} \quad (3.2.37)$$

$$\begin{aligned} (4) J_1 \ddot{x}_4 + c_1 (L_1 + L_2) (\dot{x}_1 + (L_1 + L_2) \dot{x}_4 - \dot{x}_{y1}) - c_2 (L_1 + L_2) (\dot{x}_1 - (L_1 + L_2) \dot{x}_4 - \dot{x}_{y2}) - \\ c_5 L_1 (\dot{x}_3 - L_6 \dot{x}_7 + L_5 \dot{x}_6 - \dot{x}_1 - L_1 \dot{x}_4) + c_6 L_1 (\dot{x}_3 - L_6 \dot{x}_7 + L_5 \dot{x}_6 - \dot{x}_1 + L_1 \dot{x}_4) + \\ k_1 (L_1 + L_2) (x_1 + (L_1 + L_2) x_4 - x_{y1}) - k_2 (L_1 + L_2) (x_1 - (L_1 + L_2) x_4 - x_{y2}) - \\ k_5 L_1 (x_3 - L_6 x_7 + L_5 x_6 - x_1 - L_1 x_4) + k_6 L_1 (x_3 - L_6 x_7 + L_5 x_6 - x_1 + L_1 x_4) = 0 \end{aligned} \quad (3.2.38)$$

$$(5)J_2\dot{x}_5 - c_3(L_3 + L_4)(\dot{x}_2 - (L_3 + L_4)\dot{x}_5 - \dot{x}_{y3}) + c_4(L_3 + L_4)(\dot{x}_2 + (L_3 + L_4)\dot{x}_5 - \dot{x}_{y4}) + \quad (3.2.39)$$

$$c_7L_3(\dot{x}_3 + L_7\dot{x}_7 - L_5\dot{x}_6 - \dot{x}_2 + L_3\dot{x}_5) - c_8L_3(\dot{x}_3 + L_7\dot{x}_7 + L_5\dot{x}_6 - \dot{x}_2 - L_3\dot{x}_5) - \\ k_3(L_3 + L_4)(x_2 - (L_3 + L_4)x_5 - x_{y3}) + k_4(L_3 + L_4)(x_2 + (L_3 + L_4)x_5 - x_{y4}) + \\ k_7L_3(x_3 + L_7x_7 - L_5x_6 - x_2 + L_3x_5) - k_8L_3(x_3 + L_7x_7 + L_5x_6 - x_2 - L_3x_5) = 0$$

$$(6)J_3\dot{x}_6 - c_5L_5(\dot{x}_3 - L_6\dot{x}_7 + L_5\dot{x}_6 - \dot{x}_1 - L_1\dot{x}_4) + c_6L_5(\dot{x}_3 - L_6\dot{x}_7 + L_5\dot{x}_6 - \dot{x}_1 + L_1\dot{x}_4) - \quad (3.2.40)$$

$$c_7L_5(\dot{x}_3 + L_7\dot{x}_7 - L_5\dot{x}_6 - \dot{x}_2 + L_3\dot{x}_5) + c_8L_5(\dot{x}_3 + L_7\dot{x}_7 + L_5\dot{x}_6 - \dot{x}_2 - L_3\dot{x}_5) - \\ k_5L_5(x_3 - L_6x_7 + L_5x_6 - x_1 - L_1x_4) + k_6L_5(x_3 - L_6x_7 + L_5x_6 - x_1 + L_1x_4) - \\ k_7L_5(x_3 + L_7x_7 - L_5x_6 - x_2 + L_3x_5) + k_8L_5(x_3 + L_7x_7 + L_5x_6 - x_2 - L_3x_5) = 0$$

$$(7)J_4\dot{x}_7 - c_5L_6(\dot{x}_3 - L_6\dot{x}_7 + L_5\dot{x}_6 - \dot{x}_1 - L_1\dot{x}_4) - c_6L_6(\dot{x}_3 - L_6\dot{x}_7 + L_5\dot{x}_6 - \dot{x}_1 + L_1\dot{x}_4) + \quad (3.2.41)$$

$$c_7L_7(\dot{x}_3 + L_7\dot{x}_7 - L_5\dot{x}_6 - \dot{x}_2 + L_3\dot{x}_5) + c_8L_7(\dot{x}_3 + L_7\dot{x}_7 + L_5\dot{x}_6 - \dot{x}_2 - L_3\dot{x}_5) - \\ k_5L_6(x_3 - L_6x_7 + L_5x_6 - x_1 - L_1x_4) - k_6L_6(x_3 - L_6x_7 + L_5x_6 - x_1 + L_1x_4) + \\ k_7L_7(x_3 + L_7x_7 - L_5x_6 - x_2 + L_3x_5) + k_8L_7(x_3 + L_7x_7 + L_5x_6 - x_2 - L_3x_5) = 0$$

Yukarıdaki denklemler en genel haliyle matris formuna getirildiğinde aşağıdaki formu alacaklardır.

$$[M] \begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \\ \ddot{x}_4 \\ \ddot{x}_5 \\ \ddot{x}_6 \\ \ddot{x}_7 \end{bmatrix} + [C] \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \\ \dot{x}_5 \\ \dot{x}_6 \\ \dot{x}_7 \end{bmatrix} + [K] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \end{bmatrix} = [F] \quad (3.2.42)$$

Kütle matrisi;

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & J_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & J_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & J_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & J_4 \end{bmatrix} \quad (3.2.43)$$

Sönüm matrisi;

$$[C] = \begin{bmatrix} c_1+c_2+c_5+c_6 & 0 & -(c_5+c_6) & \left\{ \begin{matrix} (c_1-c_2+c_5-c_6)L_1 \\ +(c_1-c_2)L_2 \end{matrix} \right\} & 0 & (c_5-c_6)L_5 & (c_5+c_6)L_6 \\ 0 & c_3+c_4+c_7+c_8 & -(c_7+c_8) & 0 & \left\{ \begin{matrix} (c_4-c_3)(L_3+L_4) \\ +(c_8-c_7)L_3 \end{matrix} \right\} & (c_7-c_8)L_5 & -(c_7+c_8)L_7 \\ -(c_5+c_6) & -(c_7+c_8) & c_5+c_6+c_7+c_8 & (c_6-c_5)L_1 & (c_7-c_8)L_3 & (c_8-c_5+c_6-c_7)L_5 & \left\{ \begin{matrix} (c_7+c_8)L_7 \\ -(c_5+c_6)L_6 \end{matrix} \right\} \\ \left\{ \begin{matrix} (c_1-c_2+c_5-c_6)L_1 \\ +(c_1-c_2)L_2 \end{matrix} \right\} & 0 & (c_6-c_5)L_1 & \left\{ \begin{matrix} (c_1+c_2)(L_1+L_2)^2 \\ +(c_5+c_6)L_1^2 \end{matrix} \right\} & 0 & (c_6+c_5)L_1L_5 & (c_5-c_6)L_1L_6 \\ 0 & \left\{ \begin{matrix} (c_4-c_3)(L_3+L_4) \\ +(c_8-c_7)L_3 \end{matrix} \right\} & (c_7-c_8)L_3 & 0 & \left\{ \begin{matrix} (c_3+c_4)(L_3+L_4)^2 \\ +(c_7+c_8)L_3^2 \end{matrix} \right\} & -(c_7+c_8)L_3L_5 & (c_7-c_8)L_3L_7 \\ (c_5-c_6)L_5 & (c_7-c_8)L_5 & (c_8-c_5+c_6-c_7)L_5 & (c_6+c_5)L_1L_5 & -(c_7+c_8)L_3L_5 & (c_5+c_6+c_7+c_8)L_5^2 & \left\{ \begin{matrix} (c_5-c_6)L_5L_6 \\ +(c_8-c_7)L_5L_7 \end{matrix} \right\} \\ (c_5+c_6)L_6 & (c_5-c_6)L_5 & \left\{ \begin{matrix} (c_7+c_8)L_7 \\ -(c_5+c_6)L_6 \end{matrix} \right\} & (c_5-c_6)L_1L_6 & (c_7-c_8)L_3L_7 & \left\{ \begin{matrix} (c_5-c_6)L_5L_6 \\ +(c_8-c_7)L_5L_7 \end{matrix} \right\} & \left\{ \begin{matrix} (c_5+c_6)L_6^2 \\ +(c_7+c_8)L_7^2 \end{matrix} \right\} \end{bmatrix} \quad (3.2.44)$$

Katılık matrisi;

$$[C] = \begin{bmatrix} k_1+k_2+k_5+k_6 & 0 & -(k_5+k_6) & \left\{ \begin{matrix} (k_1-k_2+k_5-k_6)L_1 \\ +(k_1-k_2)L_2 \end{matrix} \right\} & 0 & (k_5-k_6)L_5 & (k_5+k_6)L_6 \\ 0 & k_3+k_4+k_7+k_8 & -(k_7+k_8) & 0 & \left\{ \begin{matrix} (k_4-k_3)(L_3+L_4) \\ +(k_8-k_7)L_3 \end{matrix} \right\} & (k_7-k_8)L_5 & -(k_7+k_8)L_7 \\ -(k_5+k_6) & -(k_7+k_8) & k_5+k_6+k_7+k_8 & (k_6-k_5)L_1 & (k_7-k_8)L_3 & (k_8-k_5+k_6-k_7)L_5 & \left\{ \begin{matrix} (k_7+k_8)L_7 \\ -(k_5+k_6)L_6 \end{matrix} \right\} \\ \left\{ \begin{matrix} (k_1-k_2+k_5-k_6)L_1 \\ +(k_1-k_2)L_2 \end{matrix} \right\} & 0 & (k_6-k_5)L_1 & \left\{ \begin{matrix} (k_1+k_2)(L_1+L_2)^2 \\ +(k_5+k_6)L_1^2 \end{matrix} \right\} & 0 & (k_6+k_5)L_1L_5 & (k_5-k_6)L_1L_6 \\ 0 & \left\{ \begin{matrix} (k_4-k_3)(L_3+L_4) \\ +(k_8-k_7)L_3 \end{matrix} \right\} & (k_7-k_8)L_3 & 0 & \left\{ \begin{matrix} (k_3+k_4)(L_3+L_4)^2 \\ +(k_7+k_8)L_3^2 \end{matrix} \right\} & -(k_7+k_8)L_3L_5 & (k_7-k_8)L_3L_7 \\ (k_5-k_6)L_5 & (k_7-k_8)L_5 & (k_8-k_5+k_6-k_7)L_5 & (k_6+k_5)L_1L_5 & -(k_7+k_8)L_3L_5 & (k_5+k_6+k_7+k_8)L_5^2 & \left\{ \begin{matrix} (k_5-k_6)L_5L_6 \\ +(k_8-k_7)L_5L_7 \end{matrix} \right\} \\ (k_5+k_6)L_6 & (k_5-k_6)L_5 & \left\{ \begin{matrix} (k_7+k_8)L_7 \\ -(k_5+k_6)L_6 \end{matrix} \right\} & (k_5-k_6)L_1L_6 & (k_7-k_8)L_3L_7 & \left\{ \begin{matrix} (k_5-k_6)L_5L_6 \\ +(k_8-k_7)L_5L_7 \end{matrix} \right\} & \left\{ \begin{matrix} (k_5+k_6)L_6^2 \\ +(k_7+k_8)L_7^2 \end{matrix} \right\} \end{bmatrix} \quad (3.2.45)$$

Kuvvet Vektörü;

$$\left\{ \begin{array}{c} k_1x_{y1} + k_2x_{y2} + c_1\dot{x}_{y1} + c_2\dot{x}_{y2} \\ k_3x_{y3} + k_4x_{y4} + c_3\dot{x}_{y3} + c_4\dot{x}_{y4} \\ F_d \\ k_1x_{y1}(L_1+L_2) - k_2x_{y2}(L_1+L_2) + c_1\dot{x}_{y1}(L_1+L_2) - c_2\dot{x}_{y2}(L_1+L_2) \\ -k_3x_{y3}(L_3+L_4) + k_4x_{y4}(L_3+L_4) - c_3\dot{x}_{y3}(L_3+L_4) + c_4\dot{x}_{y4}(L_3+L_4) \\ M_\alpha \\ M_\theta \end{array} \right\} \quad (3.2.46)$$

3.3 Modelin Doğal Frekansları

N serbestlik dereceli sönümsüz bir sistem için hareket denklemleri matris formunda aşağıdaki gibi yazılır.

$$[M]\{\ddot{x}(t)\} + [K]\{x(t)\} = \{f(t)\} \quad (3.3.1)$$

$[M]$ ve $[K]$ NxN boyutunda sırasıyla kütle ve katılık matrisleri ve $\{x(t)\}$, $\{f(t)\}$ ise Nx1 boyutunda zamana bağlı titreşim genliği ve kuvvet vektörleridir.

$$\{x(t)\} = \{X\} e^{i\omega t} \quad (3.3.2)$$

Bütün sistemin titreşim genliklerinin tek bir frekansta basit harmonik hareket şeklinde olduğu kabulü ile çözüm yapılırsa (x.x) ifadesi aşağıdaki formu alır.

$$([K] - \omega^2 [M])\{X\} e^{i\omega t} = \{f\} e^{i\omega t} \quad (3.3.3)$$

Yukarıdaki denkleme bakıldığında, sisteme zorlayıcı kuvvet etkimiyorsa yani serbest titreşim durumu varsa sağ taraf sıfır olmalıdır.

$$([K] - \omega^2 [M])\{X\} e^{i\omega t} = 0 \quad (3.3.4)$$

$$\det([K] - \omega^2 [M]) = 0 \quad (3.3.5)$$

Katsayılar matrisinin determinantı sıfıra eşitlenirse, buradan bulunan ω değerleri sistemin doğal frekanslarıdır. Sisteme ait matrisler Matlab ortamında hesaplatılmıştır. Çizelge 3.3.1’de 7SD taşıtın doğal frekansları her bir yük durumu için verilmiştir.

Çizelge 3.3.1 Modelin doğal frekansları

		Yüksüz Durum	Yüklü Durum
Doğal Frekanslar (Hz)	w_1	1.88	1.51
	w_2	2.10	1.62
	w_3	2.15	1.87
	w_4	11.13	11.11
	w_5	12.32	12.27
	w_6	14.66	14.65
	w_7	14.98	14.97

Çizelge 3.3.2’de taşıtın yüklü durumundaki doğal frekanslarına ait özvektör değerleri belirtilmiştir.

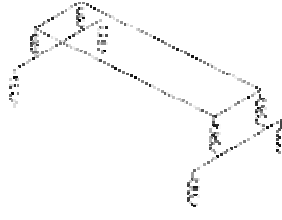
Çizelge 3.3.2 Yüklü modelin özvektör değerleri

	birinci mod	ikinci mod	üçüncü mod	dördüncü mod	beşinci mod	altıncı mod	yedinci mod
x_1	-0.007	0	-0.0074	-0.0948	-0.0011	0	0
x_2	-0.0066	0	0.0096	-0.0014	0.0988	0	0
x_3	-0.0018	0	0.0020	0.0012	-0.0014	0	0
x_4	0	-0.0051	0	0	0	-0.1923	0.0040
x_5	0	0.0067	0	0	0	-0.0042	-0.1923
x_6	0	0.0438	0	0	0	-0.0011	0.0016
x_7	0.0016	0	0.0151	-0.0013	-0.0016	0	0

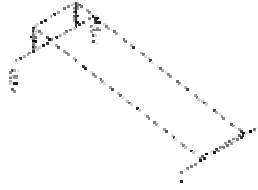
Çizelge 3.3.3’de taşıtın yüksüz durumundaki doğal frekanslarına ait özvektör değerleri belirtilmiştir.

Çizelge 3.3.3 Yüksüz modelin özvektör değerleri

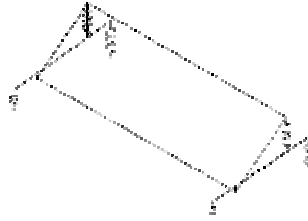
	birinci mod	ikinci mod	üçüncü mod	dördüncü mod	beşinci mod	altıncı mod	yedinci mod
x_1	0.0095	-0.0074	0	0.946	0.0008	0	0
x_2	0.0072	0.0117	0	0.0010	-0.985	0	0
x_3	0.0230	0.0048	0	-0.0019	0.0022	0	0
x_4	0	0	0.0068	0	0	-0.1922	0.0071
x_5	0	0	-0.0090	0	0	-0.0074	-0.1921
x_6	0	0	-0.0581	0	0	-0.0020	0.0028
x_7	-0.0035	0.0166	0	0.0016	0.0017	0	0



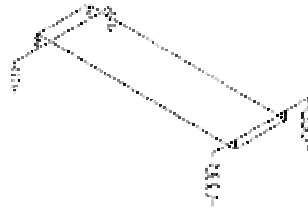
Şekil 3.3.1 Taşıtın yüksüz durumdaki birinci mod şekli



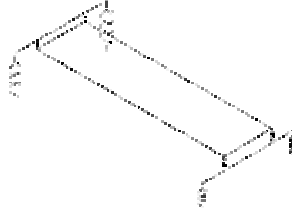
Şekil 3.3.2 Taşıtın yüksüz durumdaki ikinci mod şekli



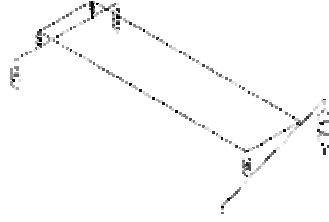
Şekil 3.3.3 Taşıtın yüksüz durumdaki üçüncü mod şekli



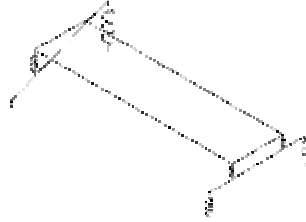
Şekil 3.3.4 Taşıtın yüksüz durumdaki dördüncü mod şekli



Şekil 3.3.5 Taşıtın yüksüz durumdaki beşinci mod şekli



Şekil 3.3.6 Taşıtın yüksüz durumdaki altıncı mod şekli



Şekil 3.3.7 Taşıtın yüksüz durumdaki yedinci mod şekli

3.4 Modelin Harmonik Zorlayıcı Kuvvet Etkisindeki Titreşimleri

Daha önceki bölümde taşıt modeli için bulunan diferansiyel denklemler, matris formunda aşağıdaki gibi gösterilmişti.

$$[M]\ddot{x} + [C]\dot{x} + [K]x = [f_1]x_y + [f_2]\dot{x}_y \quad (3.4.1)$$

Bu denklemlerin sol tarafını oluşturan zorlayıcı kuvvet arazi koşullarındaki düzgünsüzlüklerden meydana gelmektedir. Bu düzgünsüzlükler en genel halde sinüzoidal olarak kabul edilirse;

$$x_{yi} = X_{yi} \sin(\omega t + \alpha_i) = X_{yi} \cos(\alpha_i) (\sin(\omega t) + X_{yi} \sin(\alpha_i) \cos(\omega t)) \quad (3.4.2)$$

$$x_{yis} = X_{yi} \sin(\alpha_i), x_{yic} = X_{yi} \cos(\alpha_i) \quad (3.4.3)$$

olarak ifade edilir. Taşıtın cevapları yazılırsa

$$x_i = X_i \sin(\omega t + \beta_i) = X_{ic} \sin(\omega t) + X_{is} \cos(\omega t) \quad (3.4.4)$$

olur.

Birinci diferansiyel denklem sağ tarafı;

$$\begin{aligned} &= k_1 [x_{y1c} \sin(\omega t) + x_{y1s} \cos(\omega t)] + k_2 [x_{y2c} \sin(\omega t) + x_{y2s} \cos(\omega t)] + \\ &\omega c_1 [x_{y1c} \cos(\omega t) - x_{y1s} \sin(\omega t)] + \omega c_2 [x_{y2c} \cos(\omega t) - x_{y2s} \sin(\omega t)] \end{aligned} \quad (3.4.5)$$

İkinci diferansiyel denklem sağ tarafı;

$$\begin{aligned} &= k_3 [x_{y3c} \sin(\omega t) + x_{y3s} \cos(\omega t)] + k_4 [x_{y4c} \sin(\omega t) + x_{y4s} \cos(\omega t)] + \\ &\omega c_3 [x_{y3c} \cos(\omega t) - x_{y3s} \sin(\omega t)] + \omega c_4 [x_{y4c} \cos(\omega t) - x_{y4s} \sin(\omega t)] \end{aligned} \quad (3.4.6)$$

Dördüncü diferansiyel denklem sağ tarafı;

$$\begin{aligned} &= k_1 (L_1 + L_2) [x_{y1c} \sin(\omega t) + x_{y1s} \cos(\omega t)] - k_2 (L_1 + L_2) [x_{y2c} \sin(\omega t) + x_{y2s} \cos(\omega t)] \\ &+ c_1 \omega (L_1 + L_2) [x_{y1c} \cos(\omega t) - x_{y1s} \sin(\omega t)] - c_2 \omega (L_1 + L_2) [x_{y2c} \cos(\omega t) - x_{y2s} \sin(\omega t)] \end{aligned} \quad (3.4.7)$$

Beşinci diferansiyel denklem sağ tarafı;

$$= -k_3(L_3 + L_4) \left[x_{y3c} \sin(\omega t) + x_{y3s} \cos(\omega t) \right] + k_4(L_3 + L_4) \left[x_{y4c} \sin(\omega t) + x_{y4s} \cos(\omega t) \right] \quad (3.4.8)$$

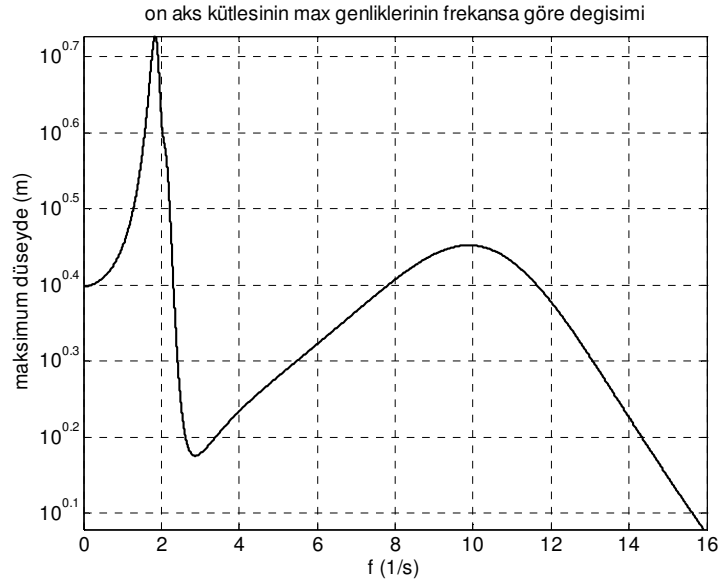
$$-c_3\omega(L_3 + L_4) \left[x_{y3c} \cos(\omega t) - x_{y3s} \sin(\omega t) \right] + c_4\omega(L_3 + L_4) \left[x_{y4c} \cos(\omega t) - x_{y4s} \sin(\omega t) \right]$$

elde edilmiş olur.

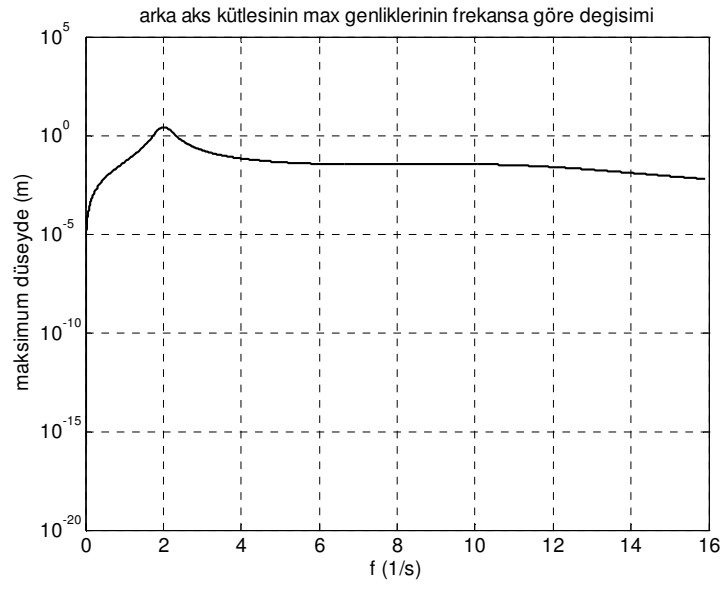
Bu denklemler matris formunda düzenlendiğinde aşağıdaki hali alır.

$$F(t) = \begin{bmatrix} -\omega c_1 & -\omega c_2 & 0 & 0 & k_1 & k_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\omega c_3 & -\omega c_4 & 0 & 0 & k_3 & k_4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -c_1\omega(L_1 + L_2) & c_2\omega(L_1 + L_2) & 0 & 0 & k_1(L_1 + L_2) & -k_2(L_1 + L_2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_3\omega(L_3 + L_4) & -c_4\omega(L_3 + L_4) & 0 & 0 & -k_3(L_3 + L_4) & k_4(L_3 + L_4) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_1 & k_2 & 0 & 0 & \omega c_1 & \omega c_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_3 & k_4 & 0 & 0 & \omega c_3 & \omega c_4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_1(L_1 + L_2) & -k_2(L_1 + L_2) & 0 & 0 & c_1\omega(L_1 + L_2) & -c_2\omega(L_1 + L_2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -k_3(L_3 + L_4) & k_4(L_3 + L_4) & 0 & 0 & -c_3\omega(L_3 + L_4) & c_4\omega(L_3 + L_4) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.4.9)$$

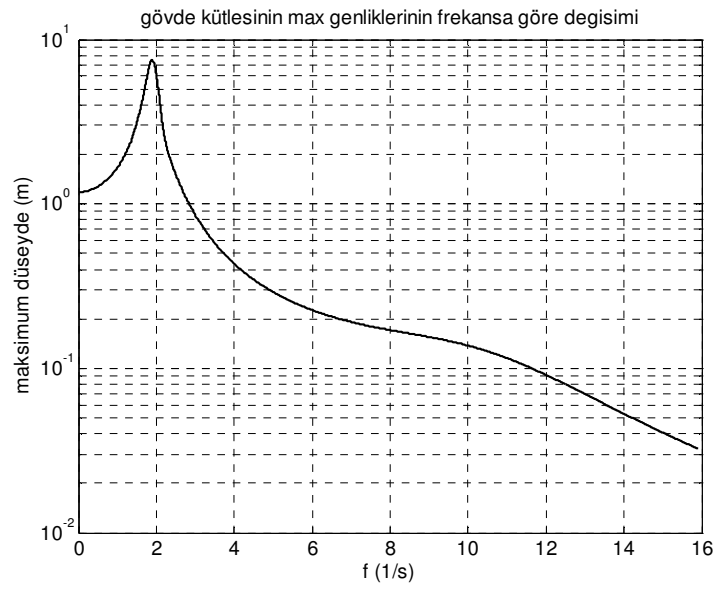
Aşağıdaki şekillerde yüksüz haldeki yedi serbestlik dereceli taşıt modelinin titreşim genliklerinin maksimumları görülmektedir.



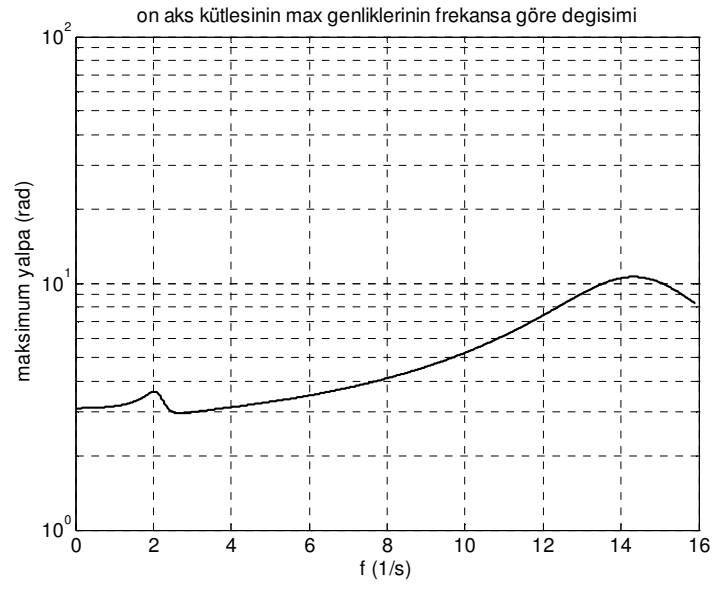
Şekil 3.4.1 Ön aksın düşey titreşimleri (yüksüz durum)



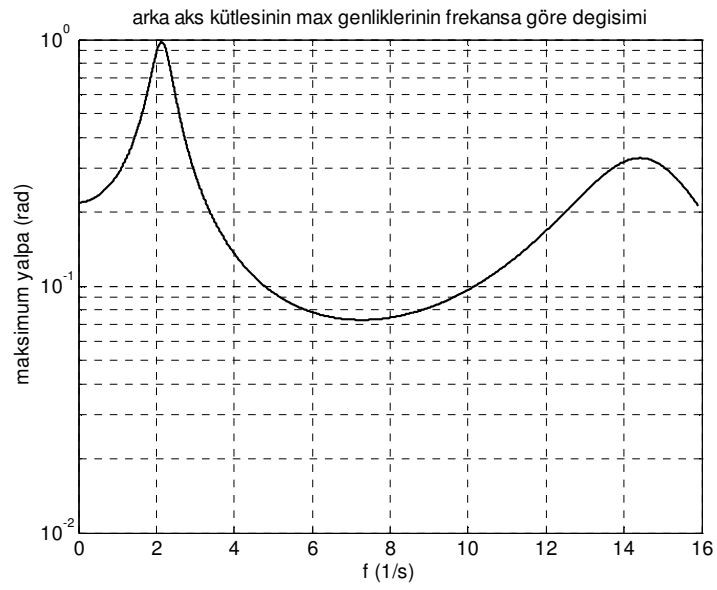
Şekil 3.4.2 Arka aksın düşey titreşimleri (yüksüz durum)



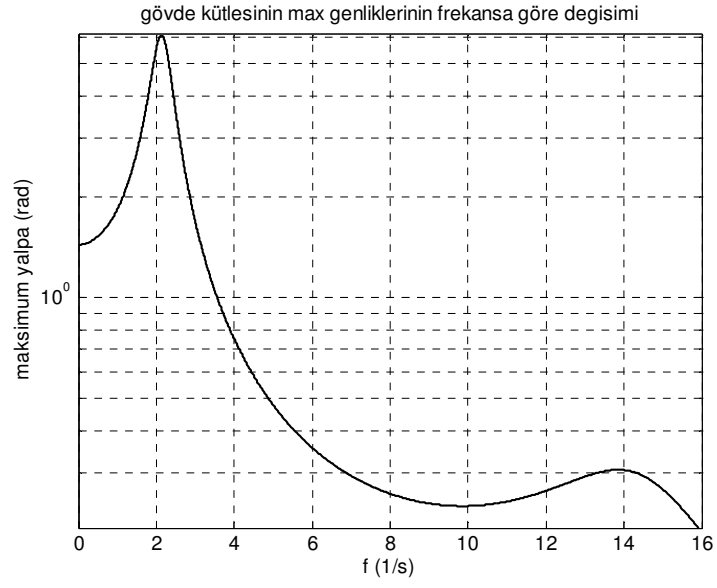
Şekil 3.4.3 Gövdenin düşey titreşimleri (yüksüz durum)



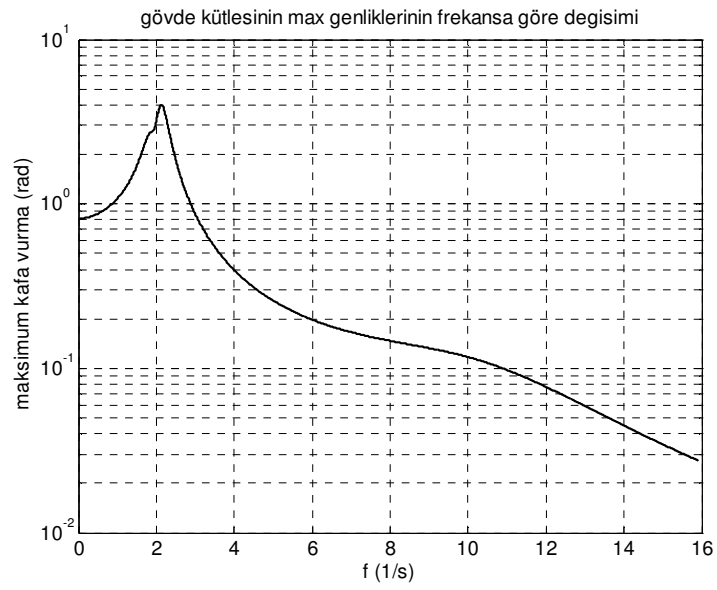
Şekil 3.4.4 Ön aksın yalpa titreşimleri (yüksüz durum)



Şekil 3.4.5 Arka aksın yalpa titreşimleri (yüksüz durum)

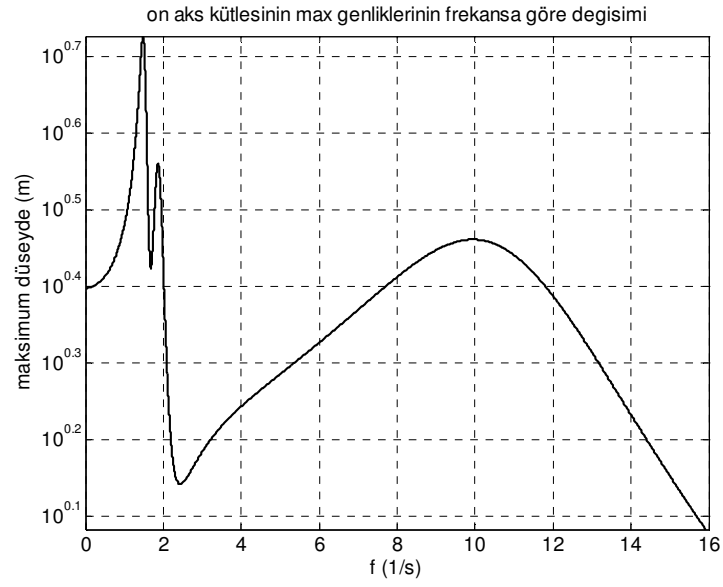


Şekil 3.4.6 Gövdenin yalpa titreşimleri (yüksüz durum)

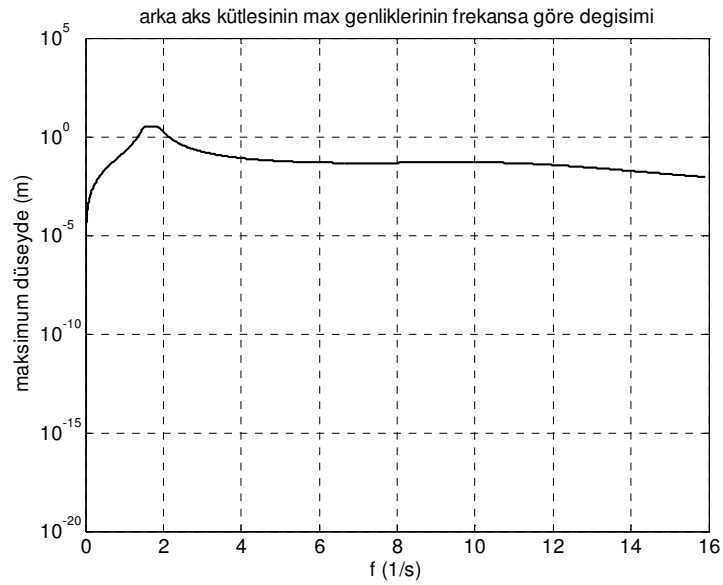


Şekil 3.4.7 Gövdenin kafa vurma titreşimleri (yüksüz durum)

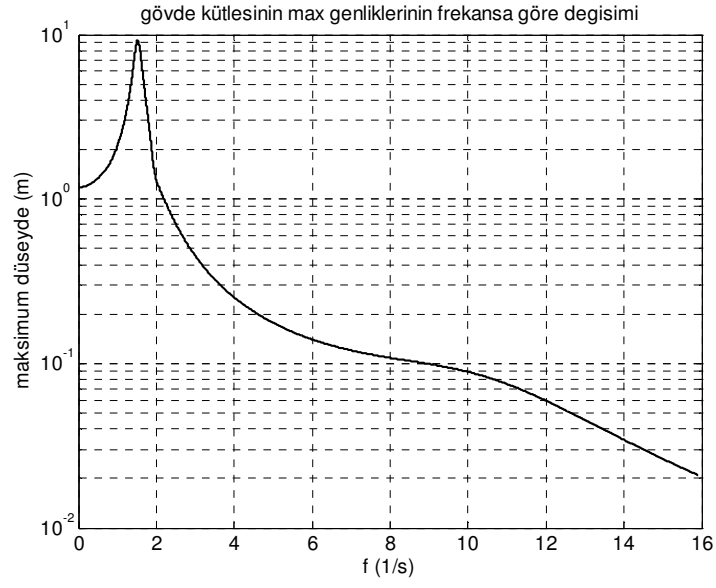
Aşağıdaki şekillerde yüklü haldeki yedi serbestlik dereceli taşıt modelinin titreşim genliklerinin maksimumları görülmektedir.



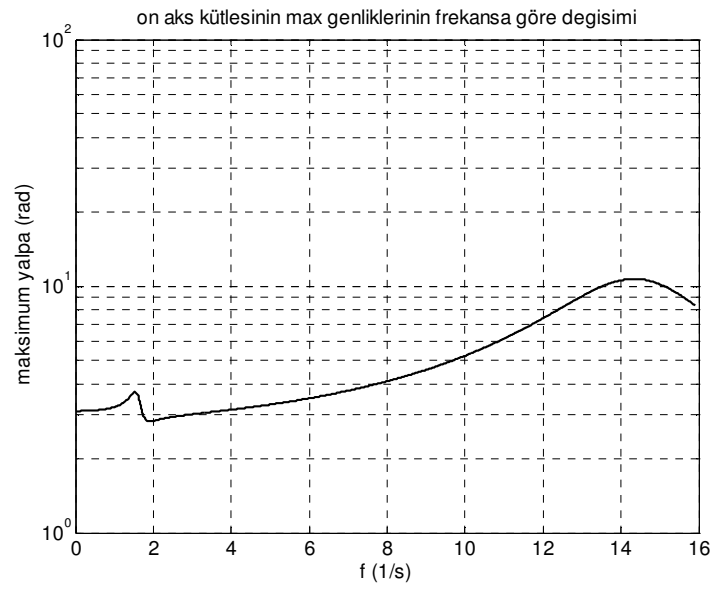
Şekil 3.4.8 Ön aksın düşey titreşimleri (yüklü durum)



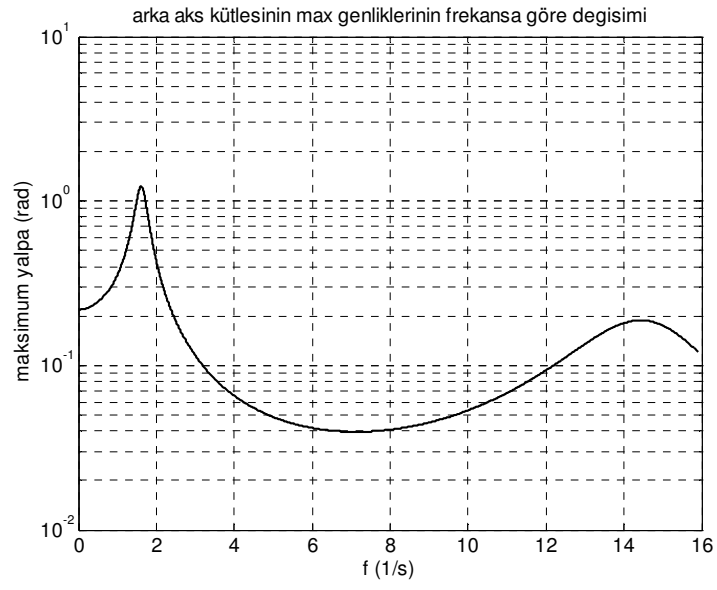
Şekil 3.4.9 Arka aksın düşey titreşimleri (yüklü durum)



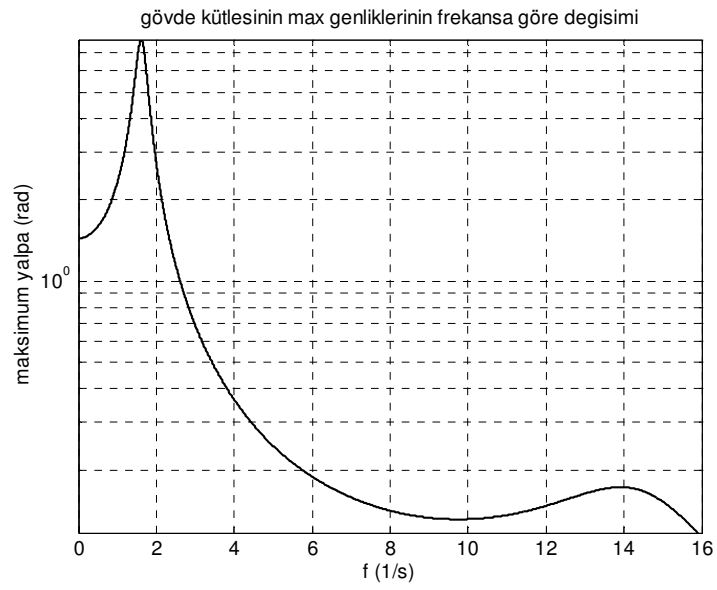
Şekil 3.4.10 Gövdenin düşey titreşimleri (yükli durum)



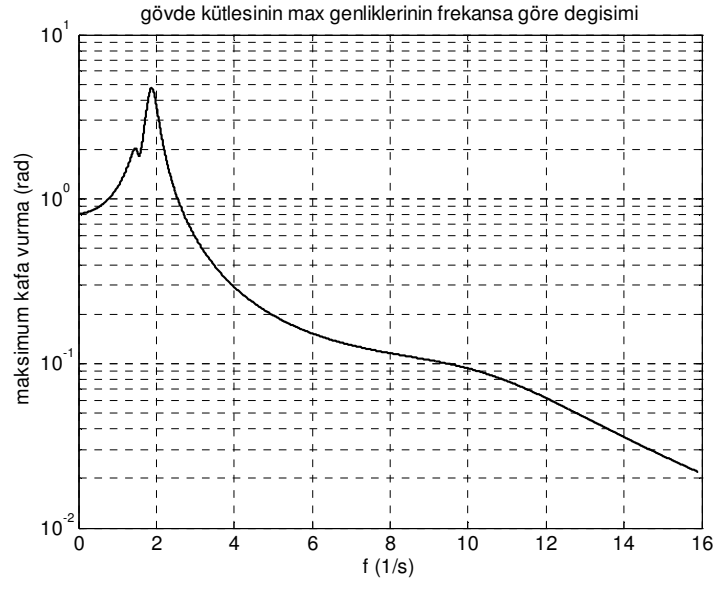
Şekil 3.4.11 Ön aksın yalpa titreşimleri (yükli durum)



Şekil 3.4.12 Arka aksın yalpa titreşimleri (yükli durum)



Şekil 3.4.13 Gövdenin yalpa titreşimleri (yükli durum)



Şekil 3.4.14 Gövdenin kafa vurma titreşimleri (yükli durum)

3.5 Modelin Hareket Denklemlerinin Durum Uzayı Formunda Yazılması

Bir durum-uzay modeli aşağıdaki bağıntıda gösterildiği üzere kurulur.

$$\begin{aligned} \dot{y} &= [A] \cdot y + [B] \cdot u \\ x &= [C] \cdot y + [D] \end{aligned} \quad (3.5.1)$$

Burada A (nxn) boyutlu Durum Matrisi, B (nrx) boyutlu Giriş Matrisi, C (mxn) boyutlu Çıkış Matrisi, D ise (mrx) boyutlu Kontrol Matrisi adını alır. Ayrıca x; durum vektörü (n elemanlı sütun vektörü), u; giriş vektörü (r elemanlı sütun vektörü), y; çıkış vektörü (m elemanlı satır vektörü)'dür .

Durum değişkenleri aşağıda verilmiştir:

$$\begin{aligned} x_1 &= y_1 & \dot{x}_1 &= y_{10} = \dot{y}_1 \\ x_2 &= y_2 & \dot{x}_2 &= y_{11} = \dot{y}_2 \\ x_3 &= y_3 & \dot{x}_3 &= y_{12} = \dot{y}_3 \\ x_4 &= y_4 & \dot{x}_4 &= y_{13} = \dot{y}_4 \\ x_5 &= y_5 & \dot{x}_5 &= y_{14} = \dot{y}_5 \\ x_6 &= y_6 & \dot{x}_6 &= y_{15} = \dot{y}_6 \\ x_7 &= y_7 & \dot{x}_7 &= y_{16} = \dot{y}_7 \\ x_8 &= y_8 & \dot{x}_8 &= y_{17} = \dot{y}_8 \\ x_9 &= y_9 & \dot{x}_9 &= y_{18} = \dot{y}_9 \end{aligned} \quad (3.5.2)$$

Buradan hareketle; i ve j satır ve sütun koordinatları olmak üzere aşağıdaki bağıntılar yazılabilir.

$$\exists i, j, k \in C \text{ ve } i, j < n; \quad \forall x_i, x_i = y_j \text{ ve } \forall \dot{x}_i = y_{j+n} = \dot{y}_i \quad (3.5.3)$$

$$\forall i, M_{ii} \cdot \ddot{x}_i + \sum_{j=1}^n [C_{ij} \cdot \dot{x}_j + K_{ij} \cdot x_j] - F_i = 0 \quad (3.5.4)$$

$$\forall i, \ddot{x}_i = \frac{-1}{M_{ii}} \left[\sum_{j=1}^n [C_{ij} \cdot \dot{x}_j + K_{ij} \cdot x_j] - F_i \right] \quad (3.5.5)$$

$$\forall i, \dot{y}_{i+n} = \frac{-1}{M_{ii}} \left[\sum_{j=1}^n [C_{ij} \cdot y_{j+n} + K_{ij} \cdot y_j] - F_i \right] \quad (3.5.6)$$

$$A = \begin{bmatrix} [N] & [I] \\ -\frac{[I]}{[M]} \cdot [K] & -\frac{[I]}{[M]} \cdot [C] \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} [N] \\ [I] \cdot |F| \end{bmatrix} \quad (3.5.7)$$

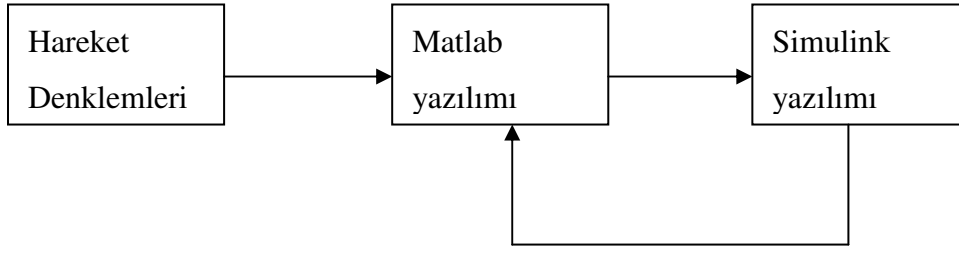
$$C = \begin{bmatrix} [I] & [N] \end{bmatrix}, \quad D = \begin{bmatrix} [N] \end{bmatrix}$$

Burada, n; serbestlik derecesini simgeleyecek şekilde:

$[M]$: nxn boyutlu kütle matrisi
 $[C]$: nxn boyutlu sönüm matrisi
 $[K]$: nxn boyutlu katılık matrisi
 $|F|$: n boyutlu kuvvet vektörü
 $[I]$: nxn boyutlu asal matris
 $[N]$: nxn boyutlu sıfır matris
 olmaktadır.

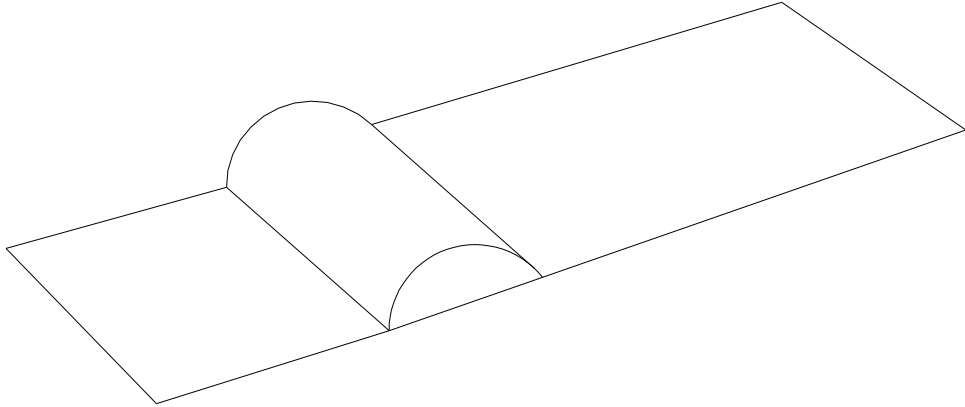
4. YEDİ SERBESTLİK DERECELİ TAŞIT MODELİNİN SİMULASYONU

Taşıt modelinin simülasyonu Matlab ve Simulink yazılımları kullanılarak gerçekleştirildi. Daha önce hazırlanan hareket denklemleri durum uzayına dönüştürülerek Matlab yazılımına aktarıldı. Simulink yazılımı ise Matlab yazılımından gerekli matrisleri okuyarak çözümleri gerçekleştirdi. Aşağıdaki şekilde çözüm yapısındaki veri akışı basit bir şema ile gösterilmektedir.



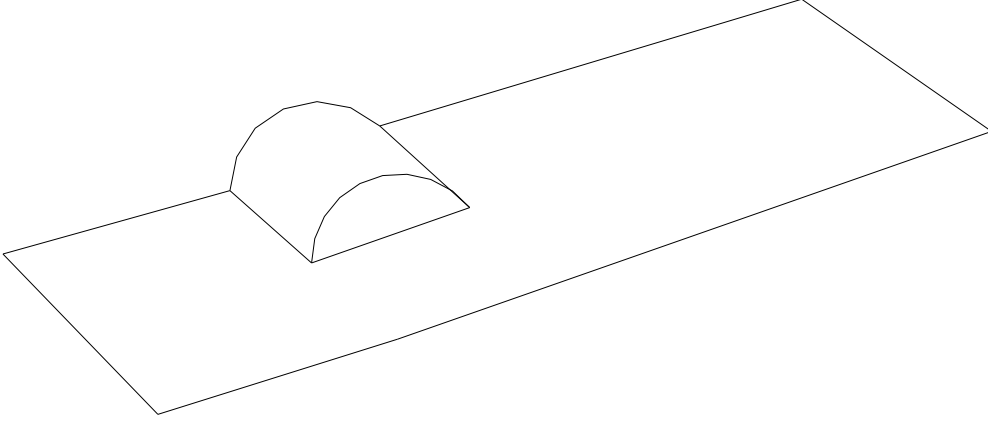
Şekil 4.1 Çözüm yapısı

Bu bölümde yedi serbestlik dereceli model için dört farklı simülasyon yapıldı. Bunlardan ilki taşıtın her iki ön tekerleğinin aynı anda 0.2 m yüksekliğindeki bir tümsekten geçme durumu(Şekil 4.2) .



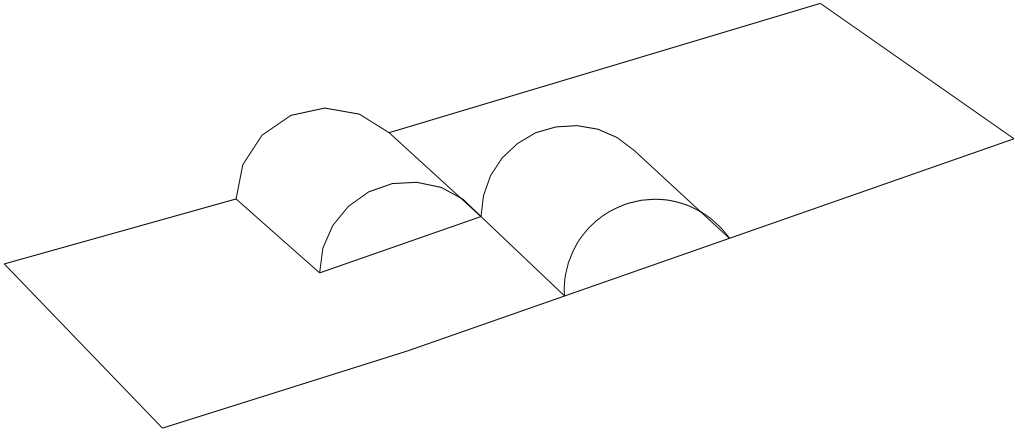
Şekil 4.2 Düz tümsek

İkincisinde taşıtın sadece ön sol tekerleğinin tümsekten geçmesi hali hesaplanmaktadır(Şekil 4.3).



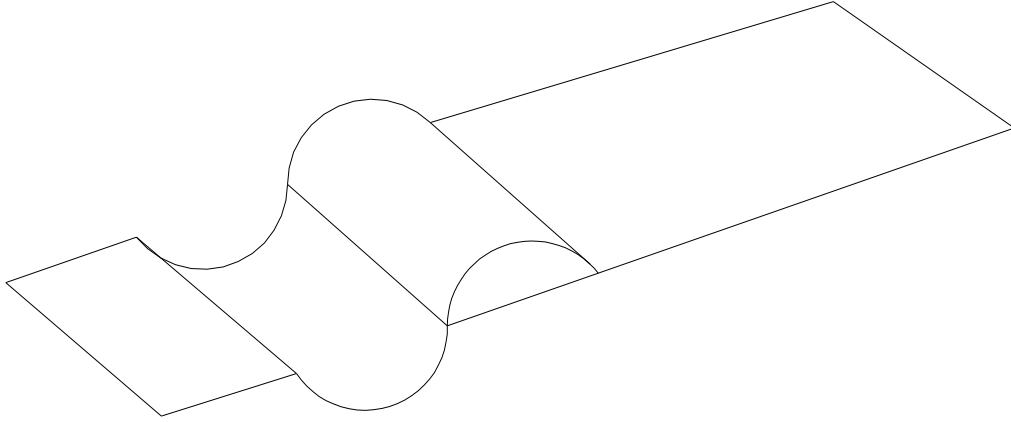
Şekil 4.3 Yarım düz tümsek

Üçüncüsünde taşıtın önce sağ tekerleğinin sonra sol tekerleğinin tümsekten geçmesi durumu incelenmektedir(Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Çapraz tümsek

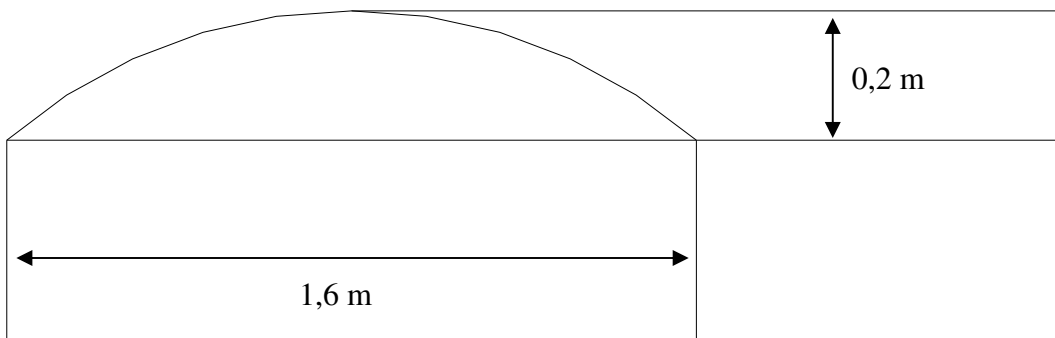
Son olarak da her iki ön tekerleğin önce hendekten, ardından hemen tümsekten geçmesi durumu incelenmektedir(Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Düz tümsek ve hendek

4.1 Yol Fonksiyonlarının Hazırlanması ve Gecikmelerin Hesabı

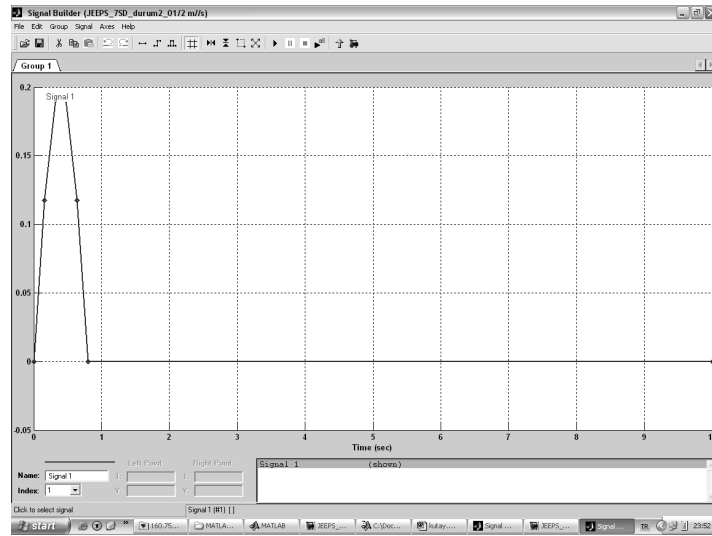
Taşıtın geçeceği tümsek ve hendekler ilk üç durum için yarım periyot, sonuncu durum için ise tam periyot sinüs sinyali olarak tanımlanmıştır. Tümsek yüksekliği veya hendek derinliği 0,2 m alınmış olup,uzunlukları ise 1,6 m'dir.



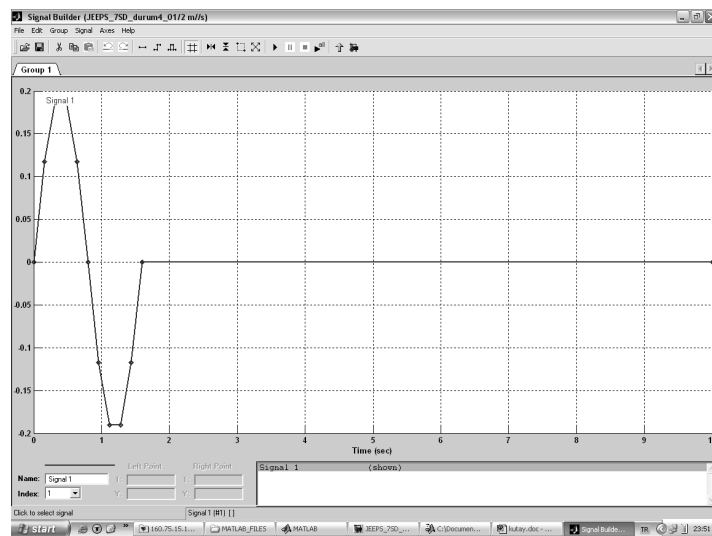
Şekil 4.1.1 Tümsek geometrisi

Taşıtın ilk durumda her iki tekerleğinin aynı anda tümsekten geçebilmesi için hazırlanan kaynak sinyaller,ön tekerlere simulasyon başında hemen,arka tekerleklere ise belirli bir gecikme uygulanmıştır. İkinci durumda, sadece sol ön tekerleğe girilen sinyal, belirli bir gecikme zamanı sonunda arka sol tekerleğe uygulanmıştır. Üçüncü durumda ön sol tekerlek hariç diğer tekerleklere farklı gecikme zamanları uygulanmıştır. Son durum ise birinci durumun aynısıdır.

Aşağıdaki şekillerde ise Simulink yazılımında hazırlanan yol sinyalleri görülmektedir.



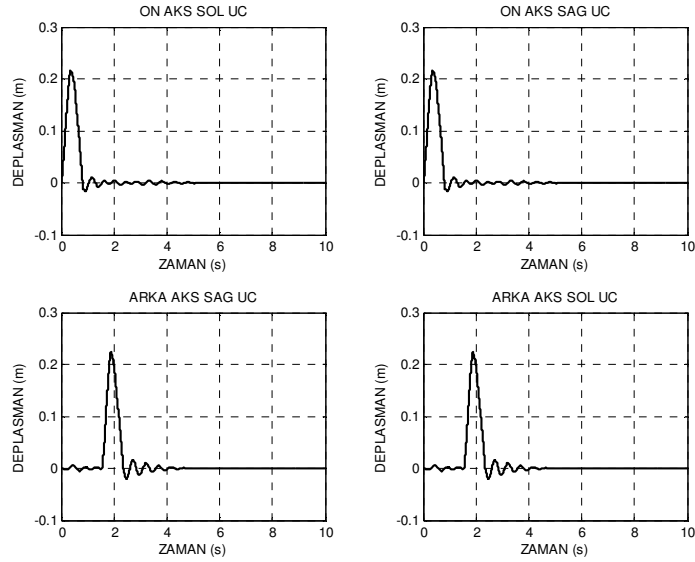
Şekil 4.1.2 İlk üç durum için hazırlanan sinyal



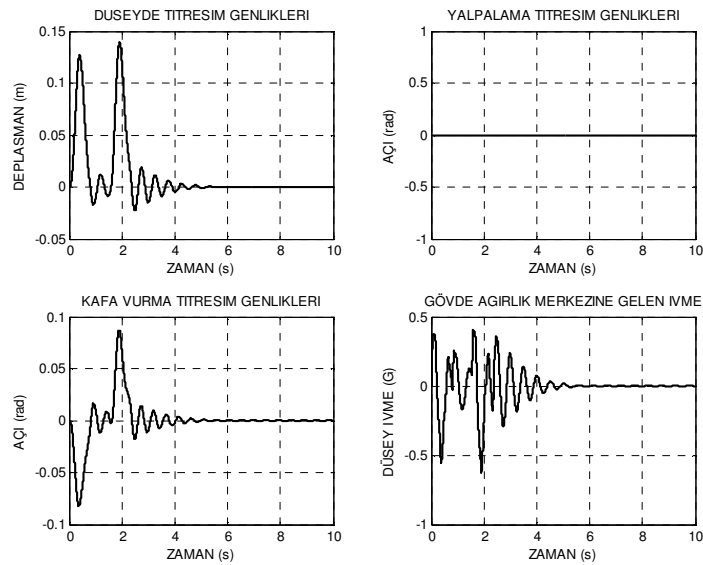
Şekil 4.1.3 Son durum için hazırlanan sinyal

4.2 Her İki Ön Tekerleğinin Aynı Anda Düz tümsekten geçme durumu

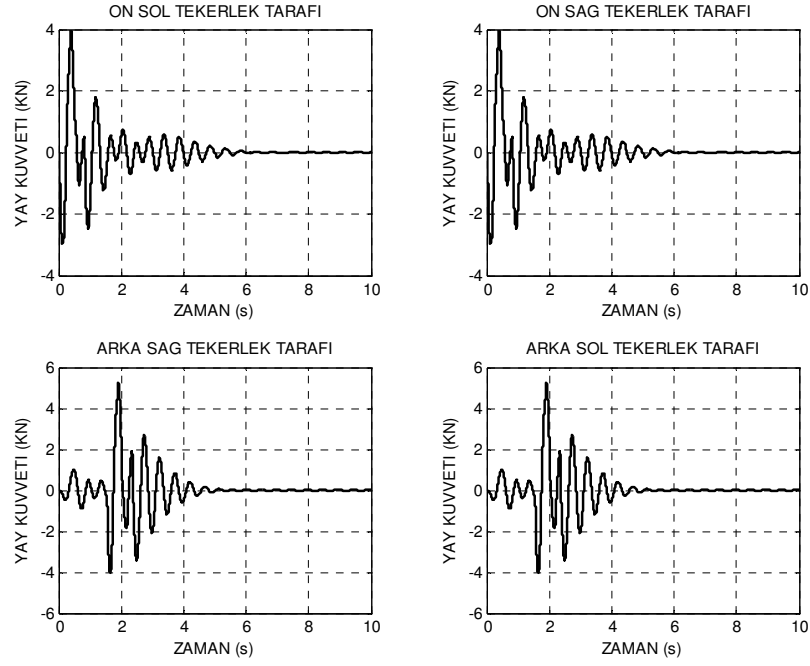
Taşıtın yüksüz olarak 7,2 km/h hızla düz tümsekten geçmesi durumunda aksların ve gövdenin titreşim genlikleri, gövdeye etki eden düşey ivme, yay ve sönüm kuvvetleri aşağıdaki şekillerde belirtilmiştir.



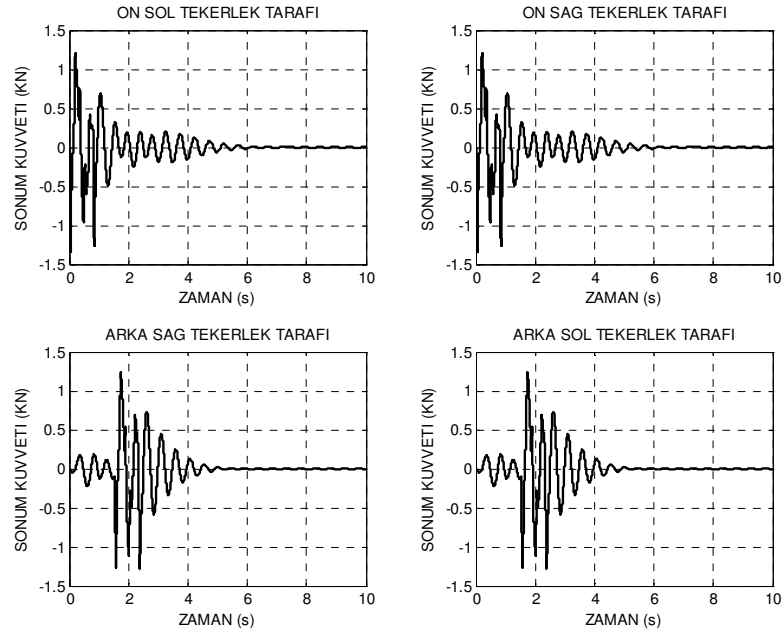
Şekil 4.2.1 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 7,2 km/h hızla düz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri



Şekil 4.2.2 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 7,2 km/h hızla düz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme

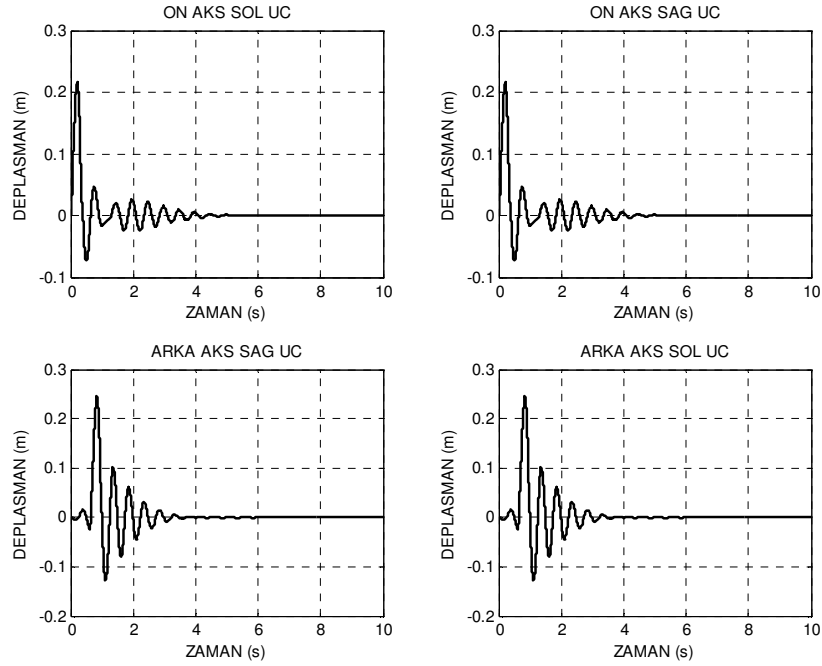


Şekil 4.2.3 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 7,2 km/h hızla düz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri

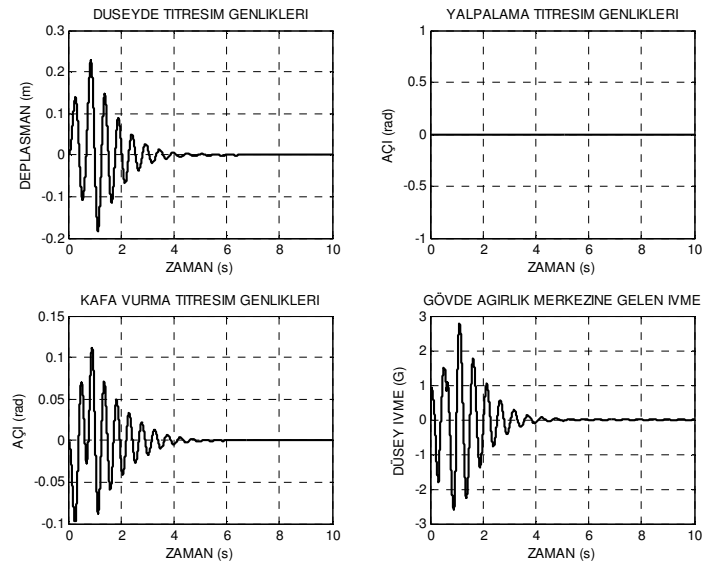


Şekil 4.2.4 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 7,2 km/h hızla düz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri

Taşıtın yüksüz olarak 18 km/h hızla düz tümsekten geçmesi durumunda aksların ve gövdenin titreşim genlikleri, gövdeye etki eden düşey ivme, yay ve sönüm kuvvetleri aşağıdaki şekillerde belirtilmiştir.

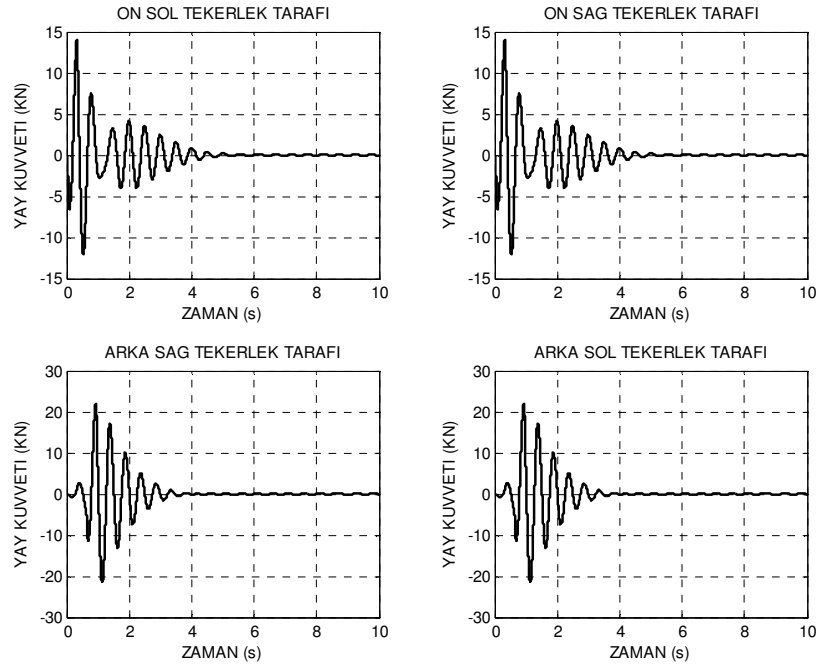


Şekil 4.2.5 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 18 km/h hızla düz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri

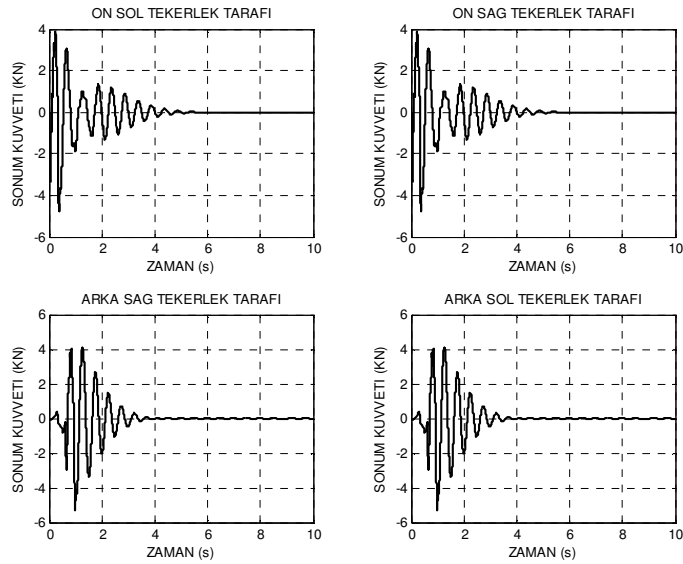


Şekil 4.2.6 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 18 km/h hızla düz tümsekten geçmesi

durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme

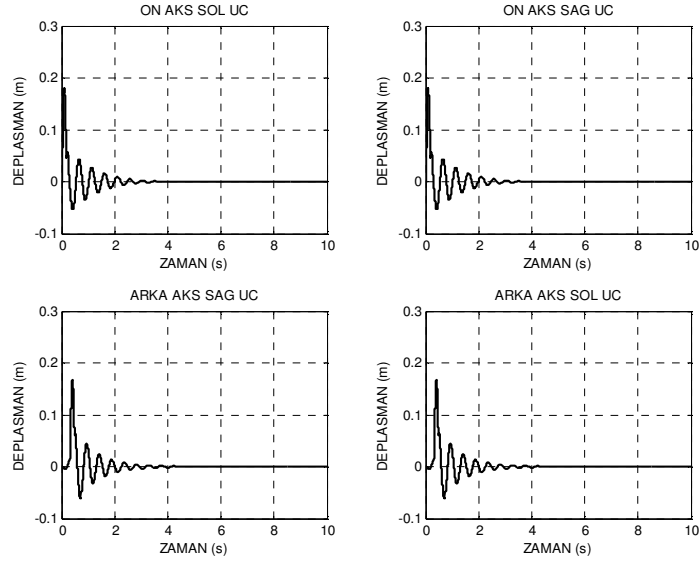


Şekil 4.2.7 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 18 km/h hızla düz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri

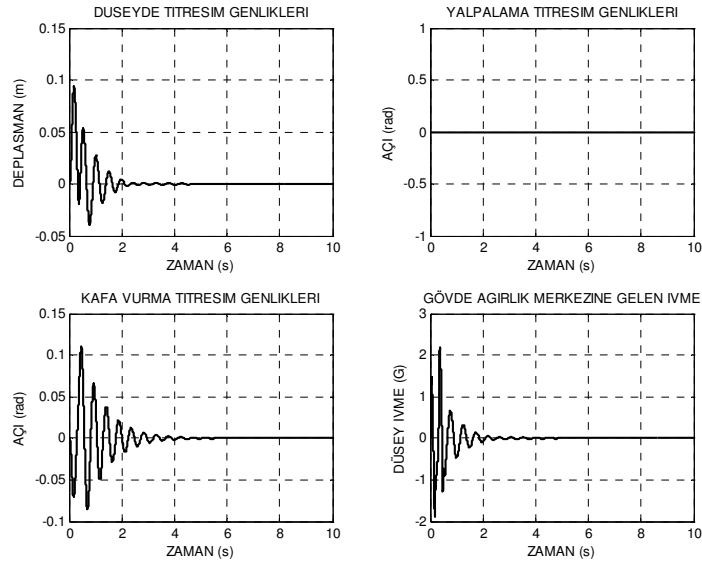


Şekil 4.2.8 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 18 km/h hızla düz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri

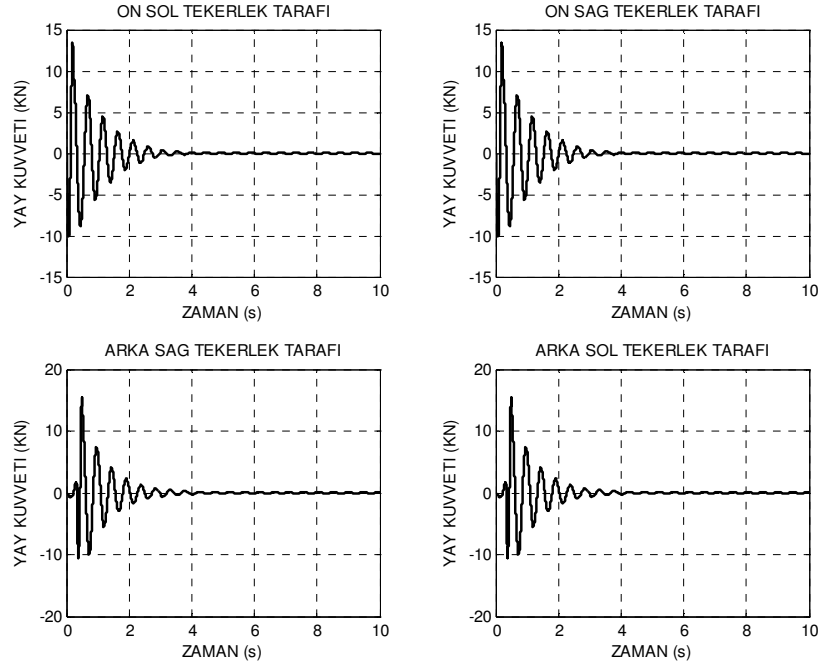
Taşıtın yüksüz olarak 36 km/h hızla düz tümsekten geçmesi durumunda aksların ve gövdenin titreşim genlikleri, gövdeye etki eden düşey ivme, yay ve sönüm kuvvetleri aşağıdaki şekillerde belirtilmiştir.



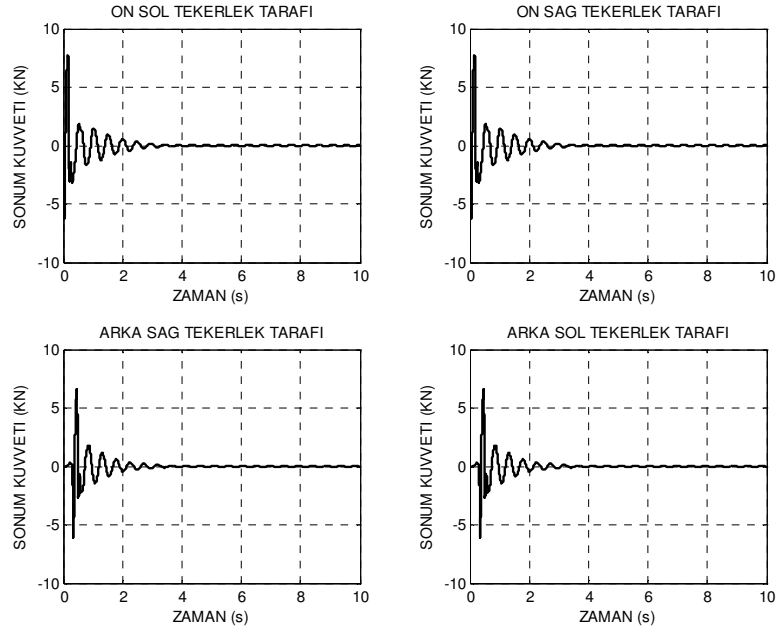
Şekil 4.2.9 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 36 km/h hızla düz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri



Şekil 4.2.10 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 36 km/h hızla düz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme

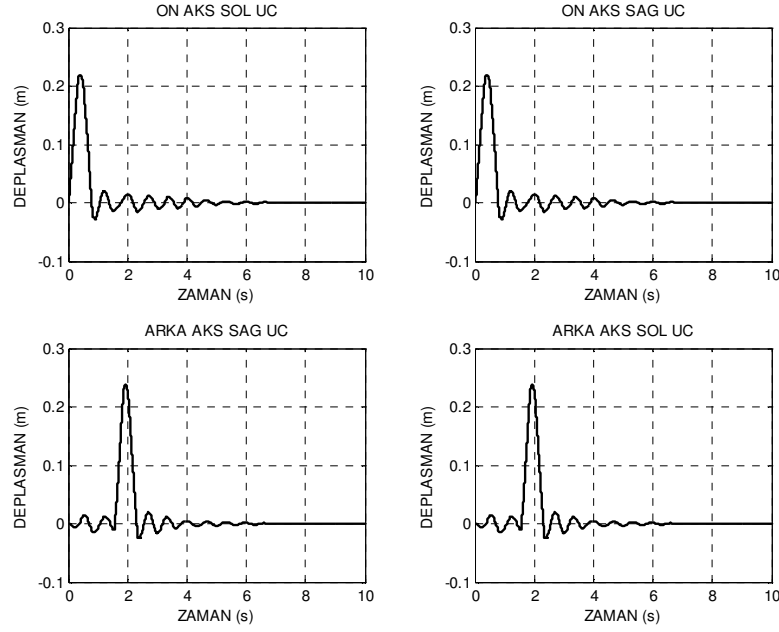


Şekil 4.2.11 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 36 km/h hızla düz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri

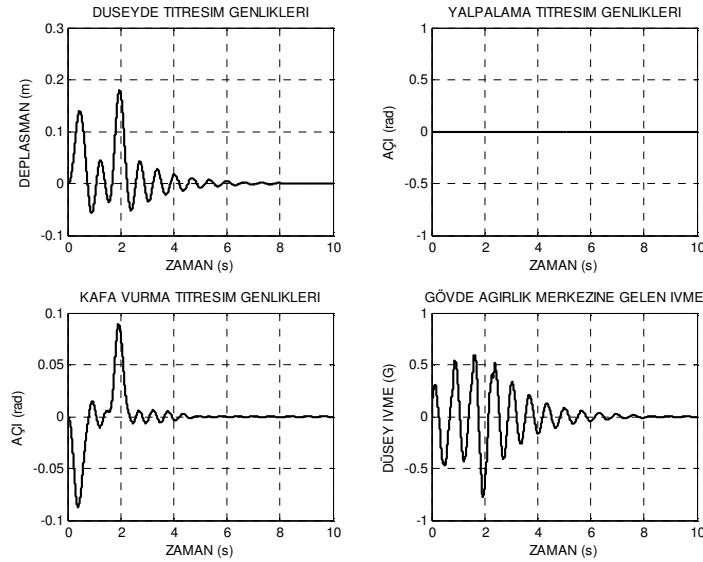


Şekil 4.2.12 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 36 km/h hızla düz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri

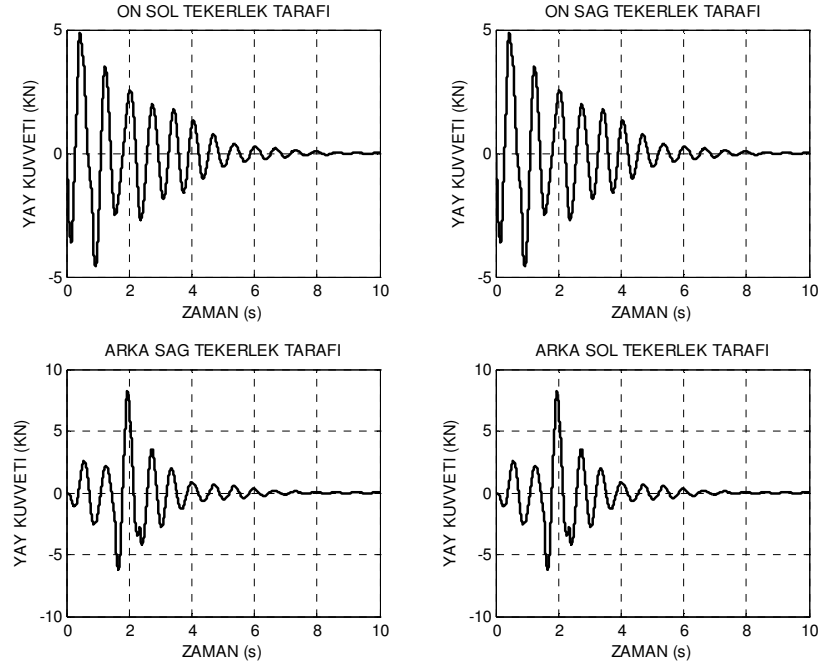
Taşıtın yüklü olarak 7,2 km/h hızla düz tümsekten geçmesi durumunda aksların ve gövdenin titreşim genlikleri, gövdeye etki eden düşey ivme, yay ve sönüm kuvvetleri aşağıdaki şekillerde belirtilmiştir.



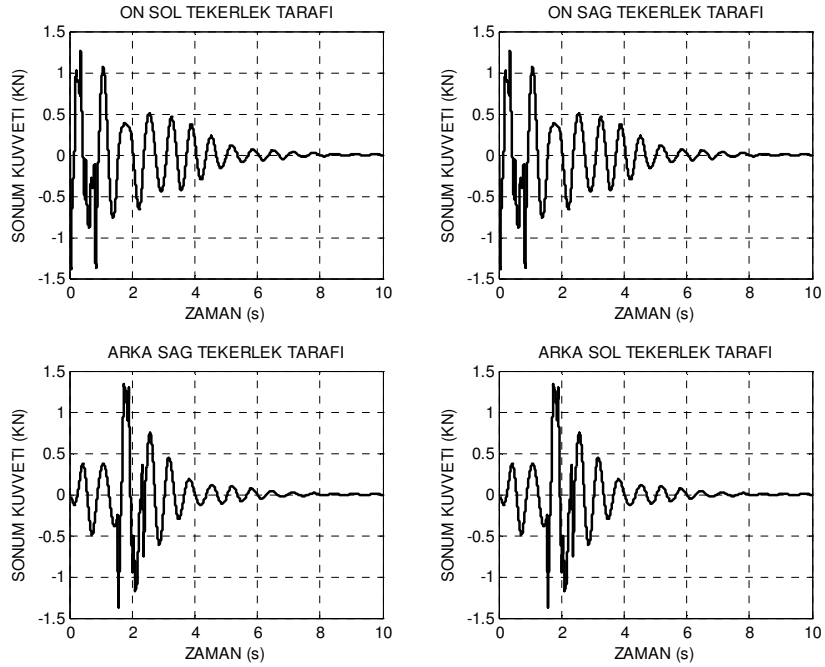
Şekil 4.2.13 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 7,2 km/h hızla düz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri



Şekil 4.2.14 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 7,2 km/h hızla düz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme

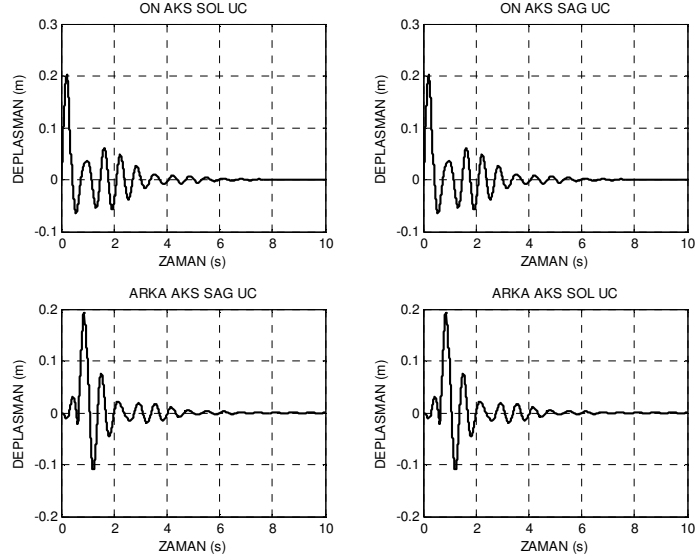


Şekil 4.2.15 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 7,2 km/h hızla düz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri

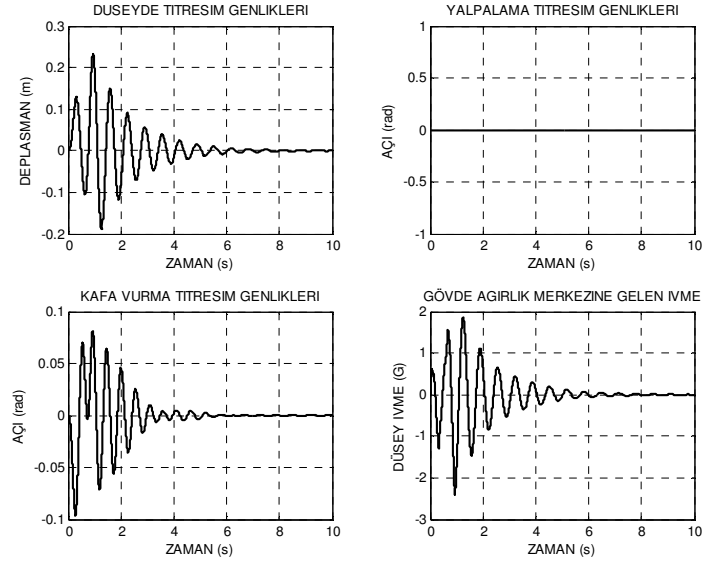


Şekil 4.2.16 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 7,2 km/h hızla düz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri

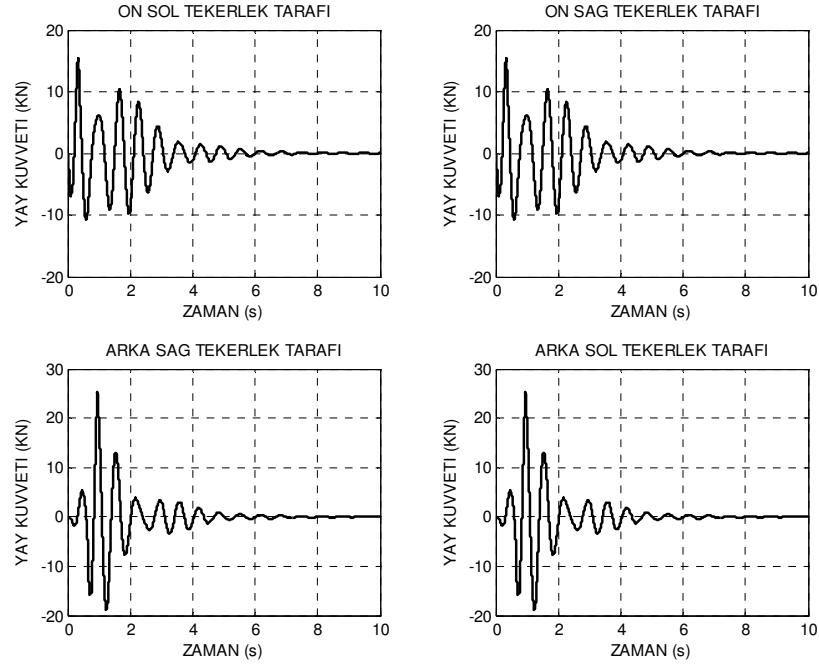
Taşıtın yüklü olarak 18 km/h hızla düz tümsekten geçmesi durumunda aksların ve gövdenin titreşim genlikleri, gövdeye etki eden düşey ivme, yay ve sönüm kuvvetleri aşağıdaki şekillerde belirtilmiştir.



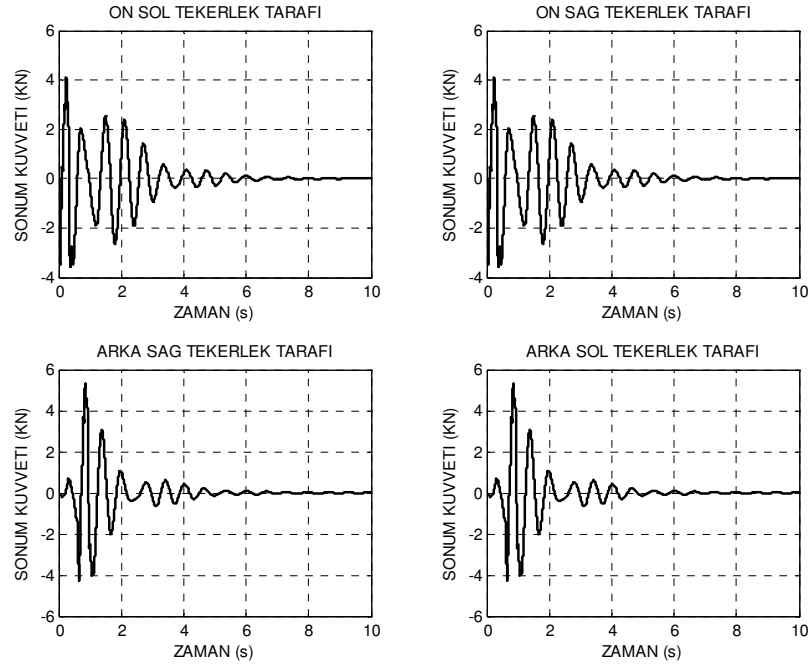
Şekil 4.2.17 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 18 km/h hızla düz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri



Şekil 4.2.18 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 18 km/h hızla düz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme

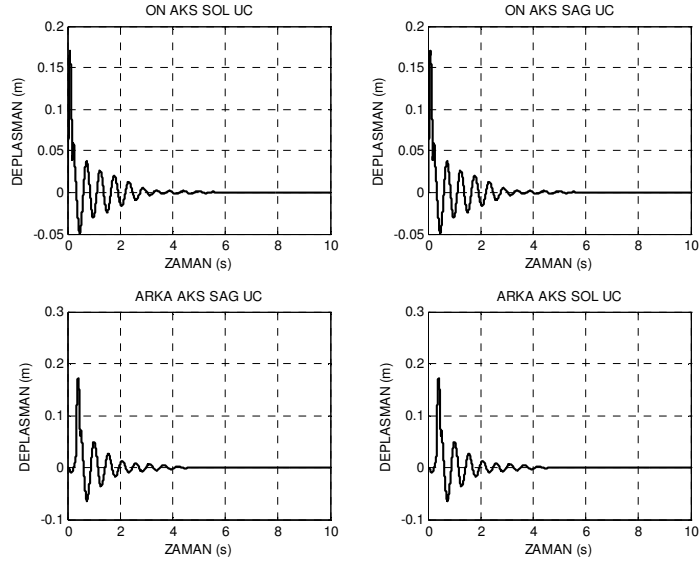


Şekil 4.2.19 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 18 km/h hızla düz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri

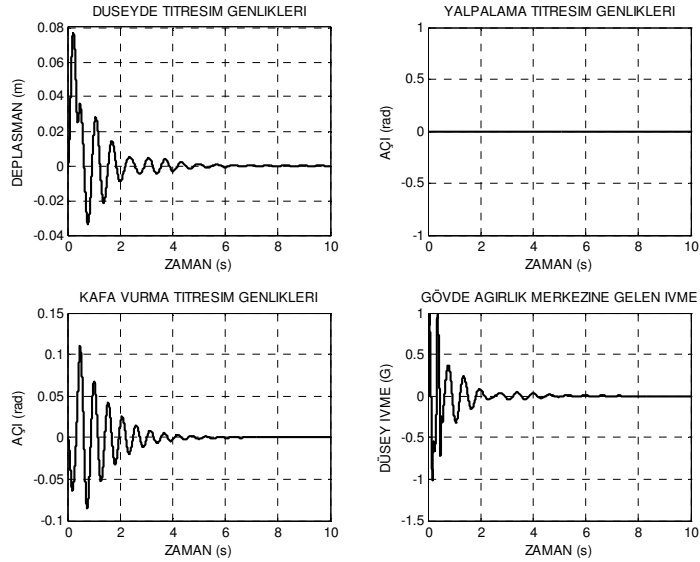


Şekil 4.2.20 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 18 km/h hızla düz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri

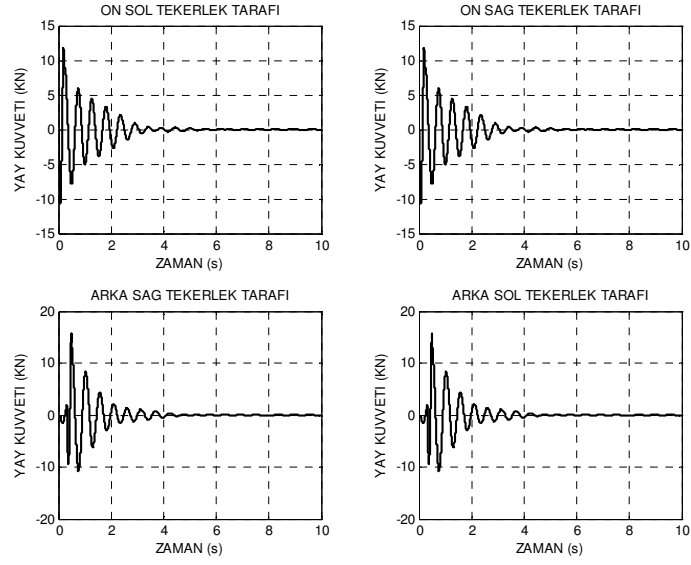
Taşıtın yüklü olarak 36 km/h hızla düz tümsekten geçmesi durumunda aksların ve gövdenin titreşim genlikleri, gövdeye etki eden düşey ivme, yay ve sönüm kuvvetleri aşağıdaki şekillerde belirtilmiştir.



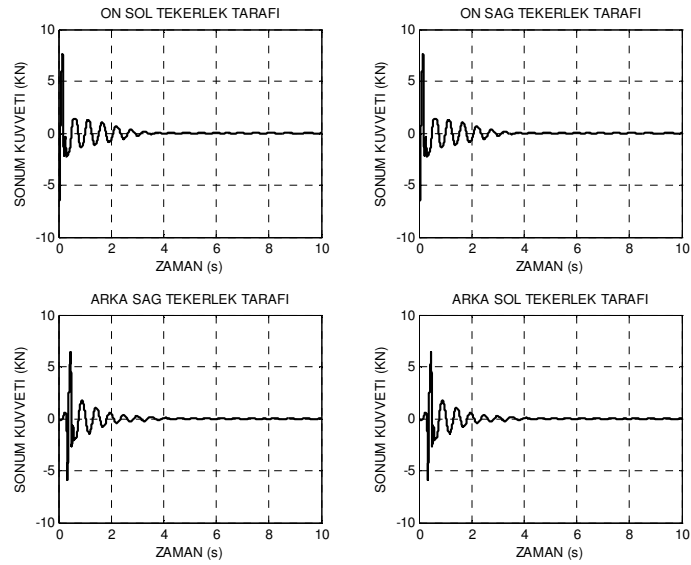
Şekil 4.2.21 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 36 km/h hızla düz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri



Şekil 4.2.22 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 36 km/h hızla düz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme



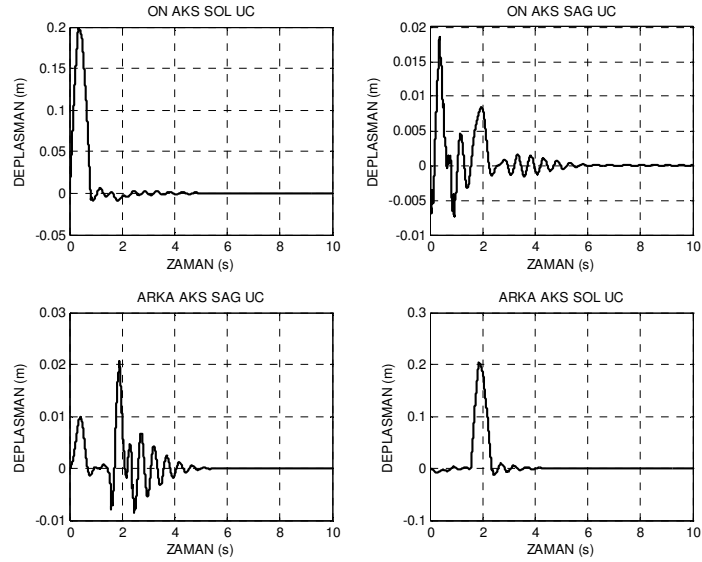
Şekil 4.2.23 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 36 km/h hızla düz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri



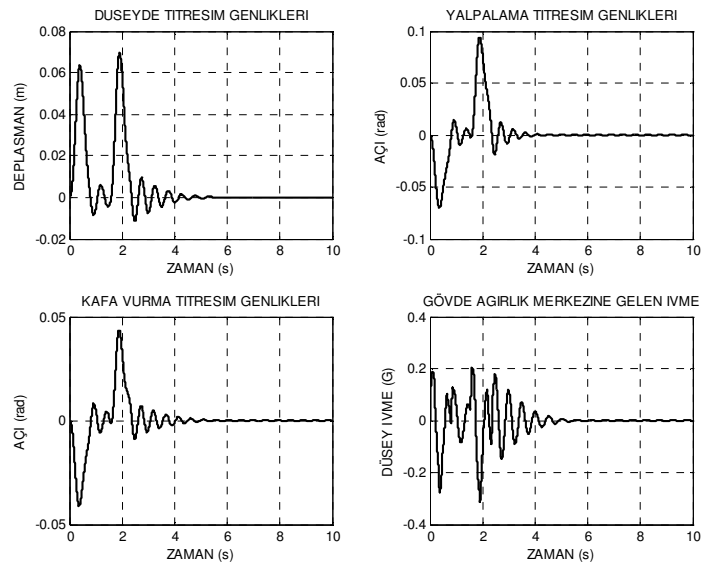
Şekil 4.2.24 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 36 km/h hızla düz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri

4.3 Sol Tekerleklerin Yarım Düz Tümsekten Geçme Durumu

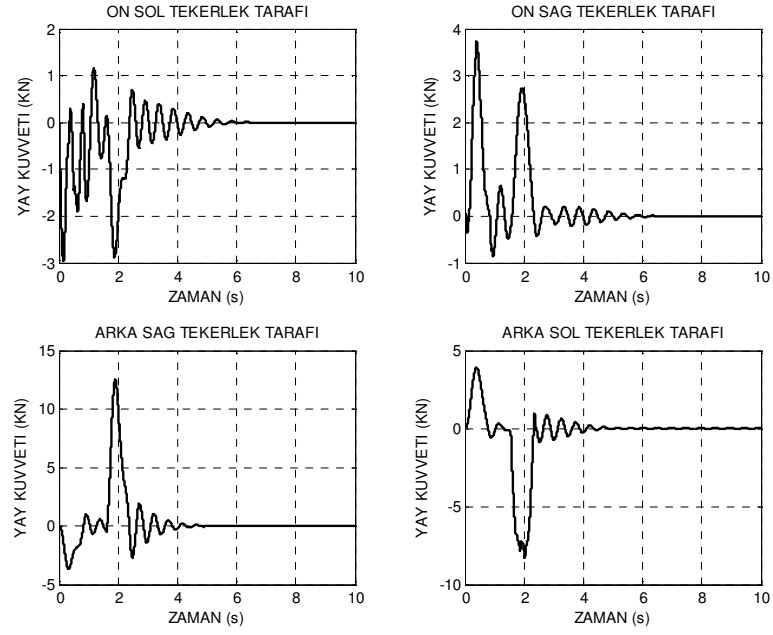
Taşıtın yüksüz olarak 7,2 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda aksların ve gövdenin titreşim genlikleri, gövdeye etki eden düşey ivme, yay ve sönüm kuvvetleri aşağıdaki şekillerde belirtilmiştir.



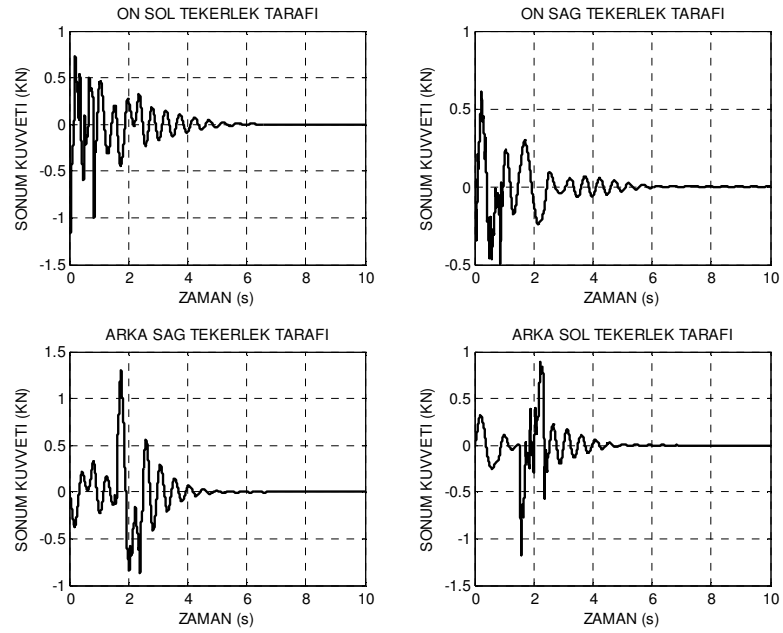
Şekil 4.3.1 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 7,2 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri



Şekil 4.3.2 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 7,2 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme

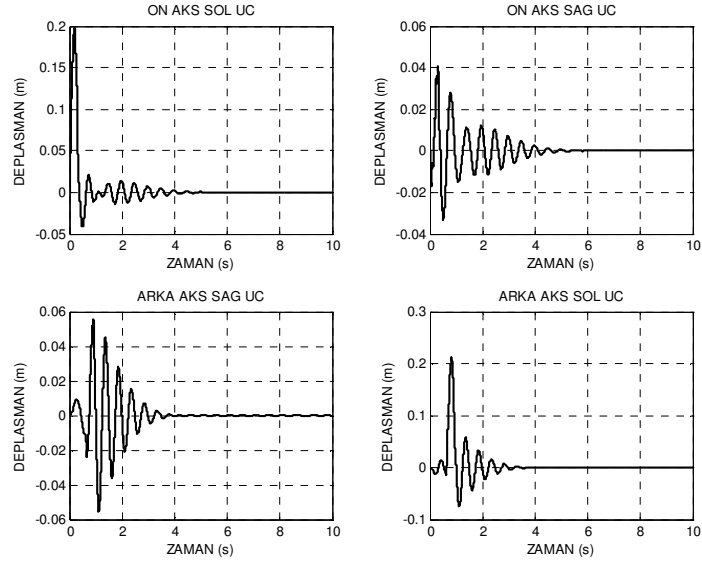


Şekil 4.3.3 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 7,2 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri

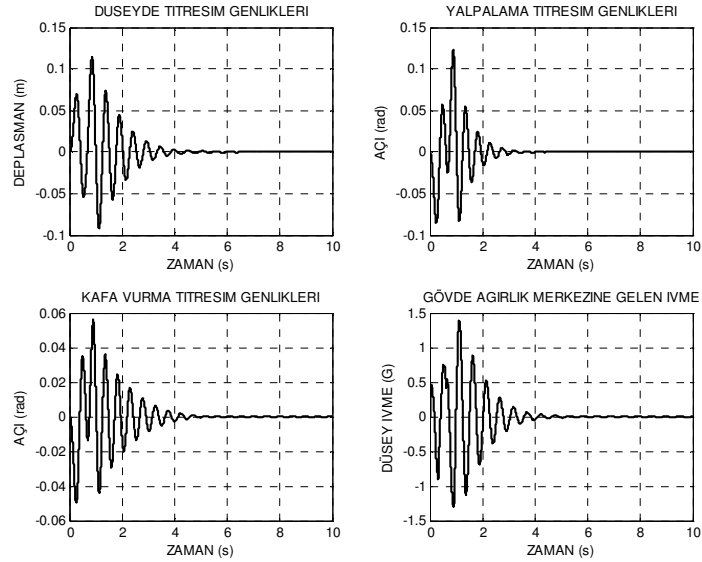


Şekil 4.3.4 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 7,2 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri

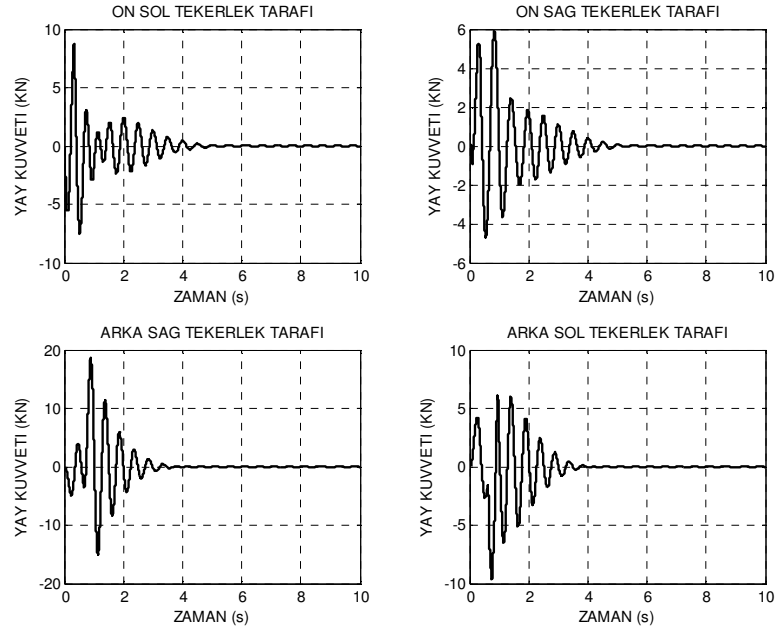
Taşıtın yüksüz olarak 18 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda aksların ve gövdenin titreşim genlikleri, gövdeye etki eden düşey ivme, yay ve sönüm kuvvetleri aşağıdaki şekillerde belirtilmiştir.



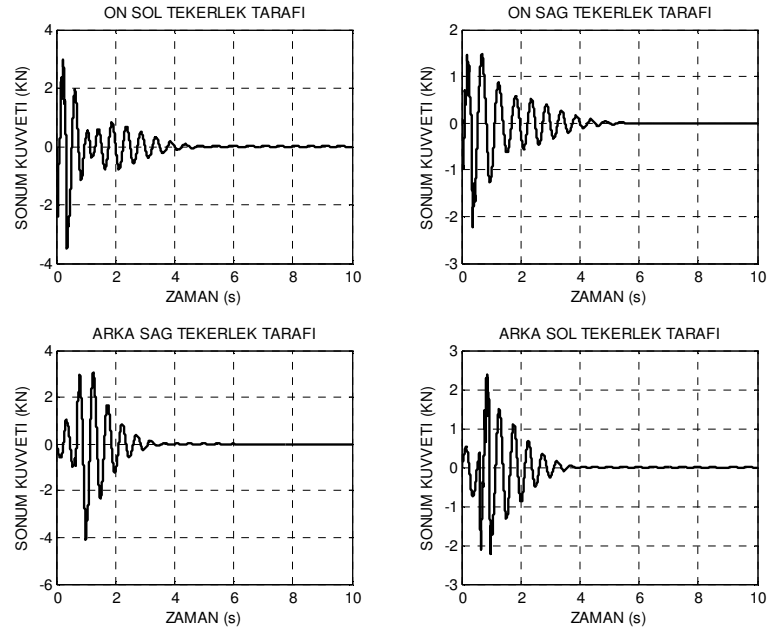
Şekil 4.3.5 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 18 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri



Şekil 4.3.6 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 18 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme

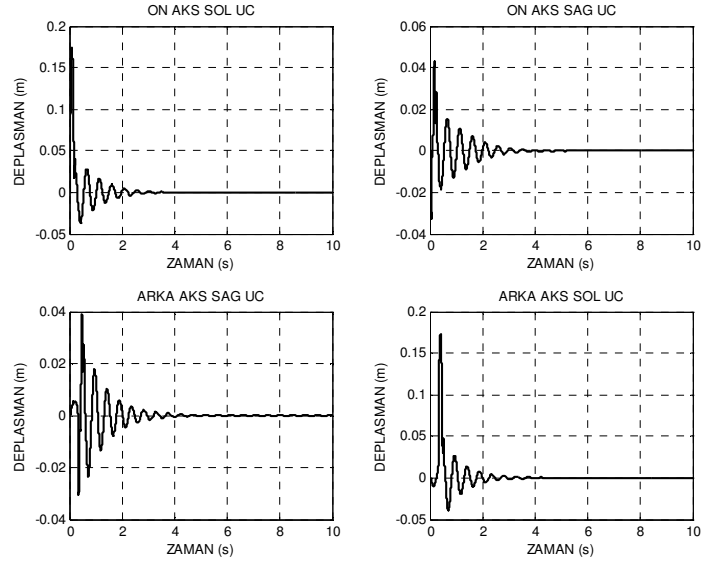


Şekil 4.3.7 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 18 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri

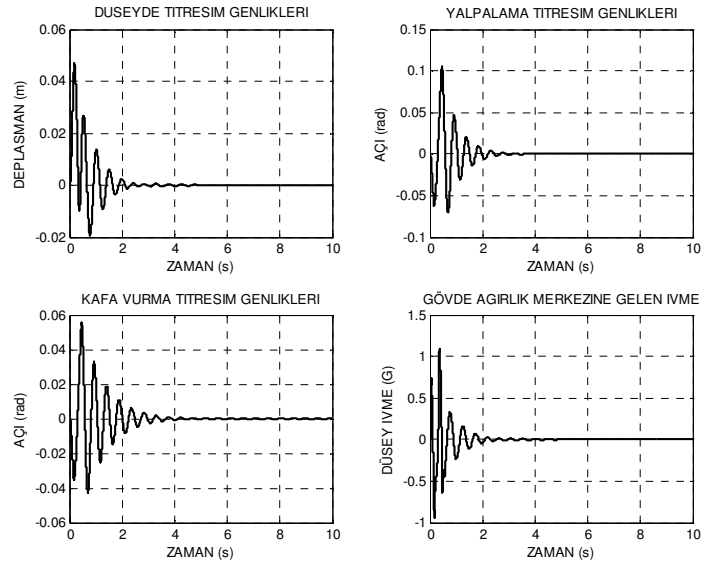


Şekil 4.3.8 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 18 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri

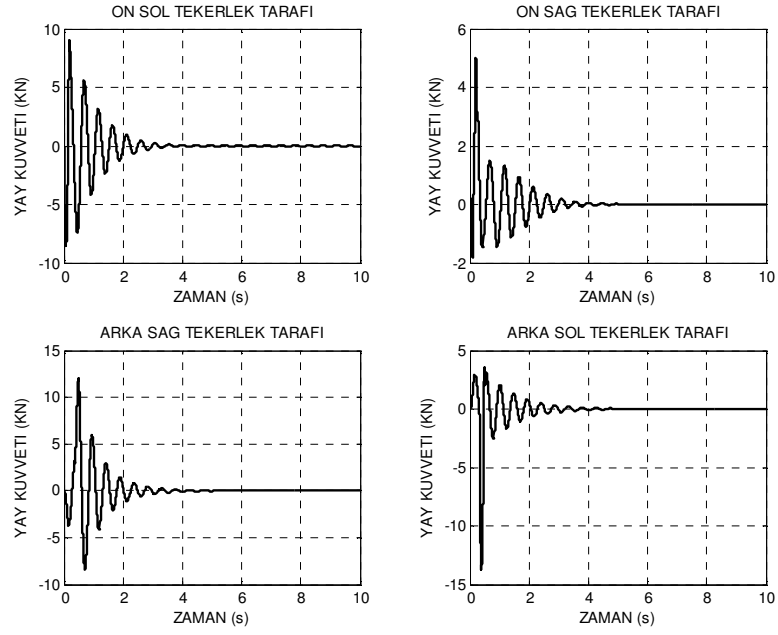
Taşıtın yüksüz olarak 36 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda aksların ve gövdenin titreşim genlikleri, gövdeye etki eden düşey ivme, yay ve sönüm kuvvetleri aşağıdaki şekillerde belirtilmiştir.



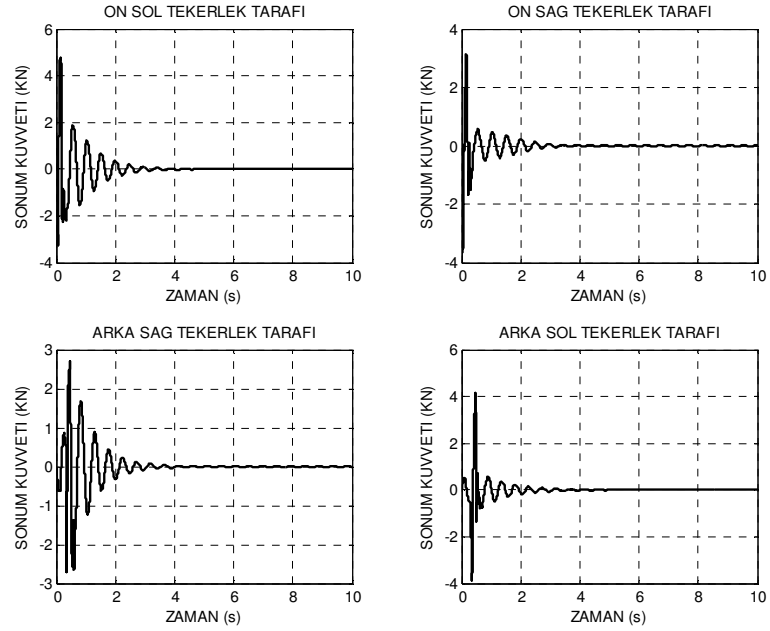
Şekil 4.3.9 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 36 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri



Şekil 4.3.10 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 36 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme

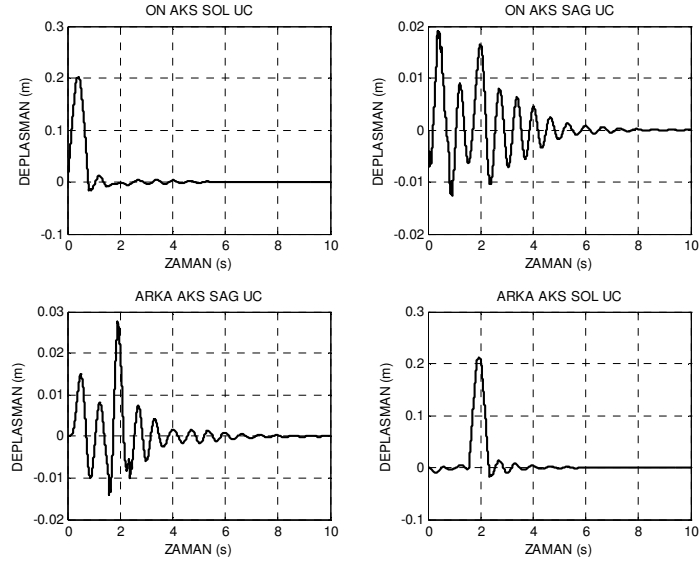


Şekil 4.3.11 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 36 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri

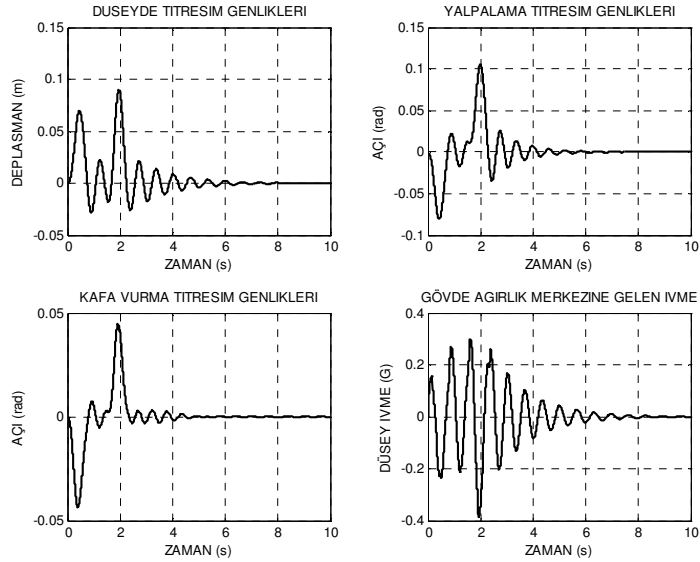


Şekil 4.3.12 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 36 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri

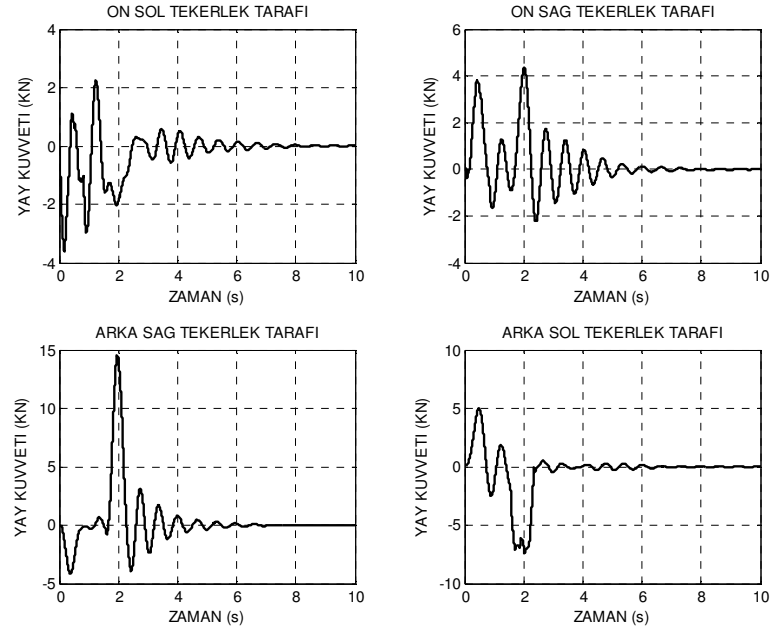
Taşıtın yüklü olarak 7,2 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda aksların ve gövdenin titreşim genlikleri, gövdeye etki eden düşey ivme, yay ve sönüm kuvvetleri aşağıdaki şekillerde belirtilmiştir.



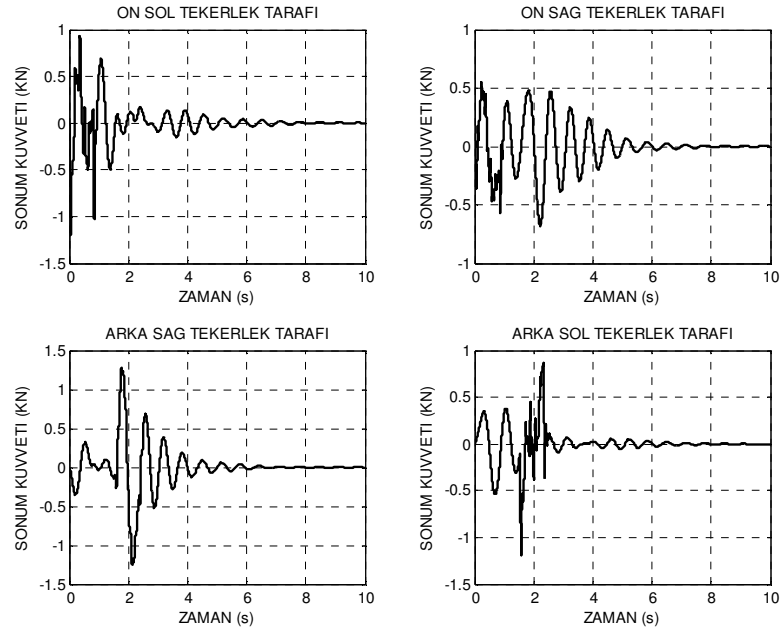
Şekil 4.3.13 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 7,2 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri



Şekil 4.3.14 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 7,2 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme

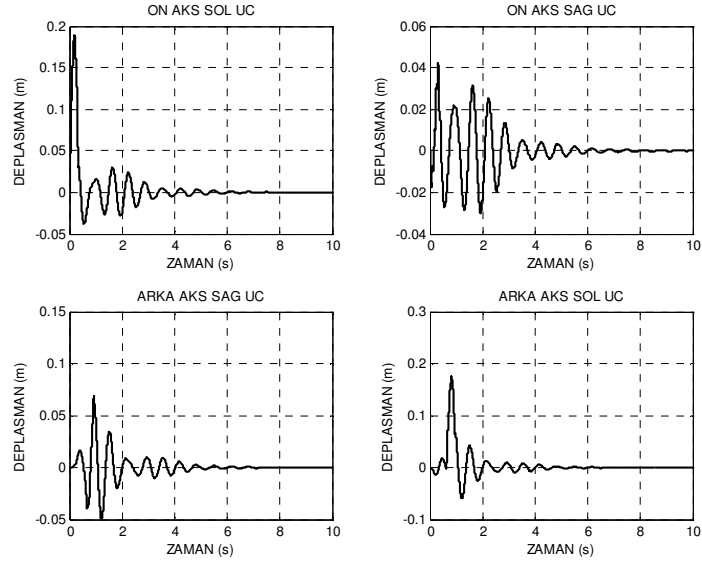


Şekil 4.3.15 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 7,2 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri

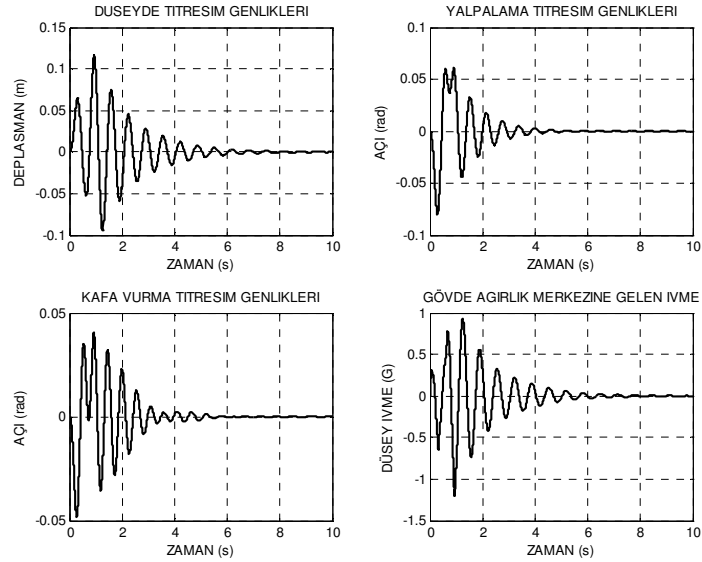


Şekil 4.3.16 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 7,2 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri

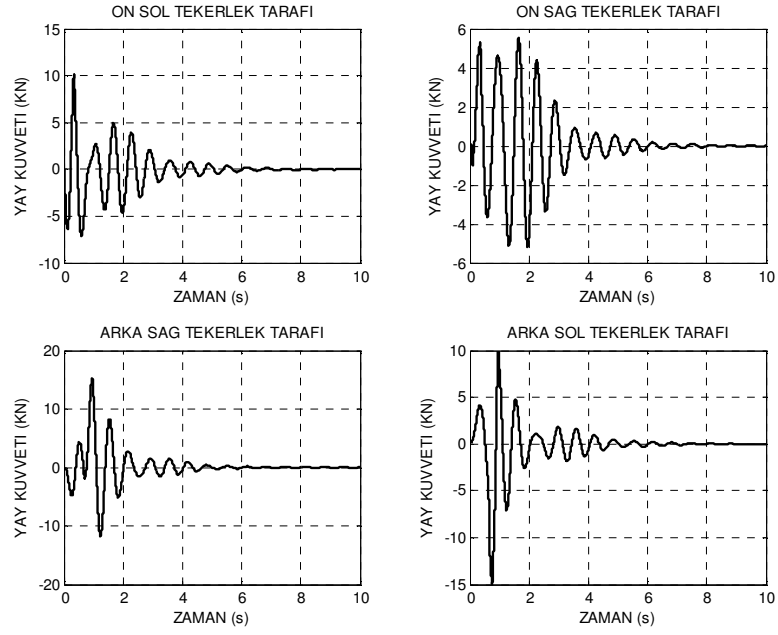
Taşıtın yüklü olarak 18 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda aksların ve gövdenin titreşim genlikleri, gövdeye etki eden düşey ivme, yay ve sönüm kuvvetleri aşağıdaki şekillerde belirtilmiştir.



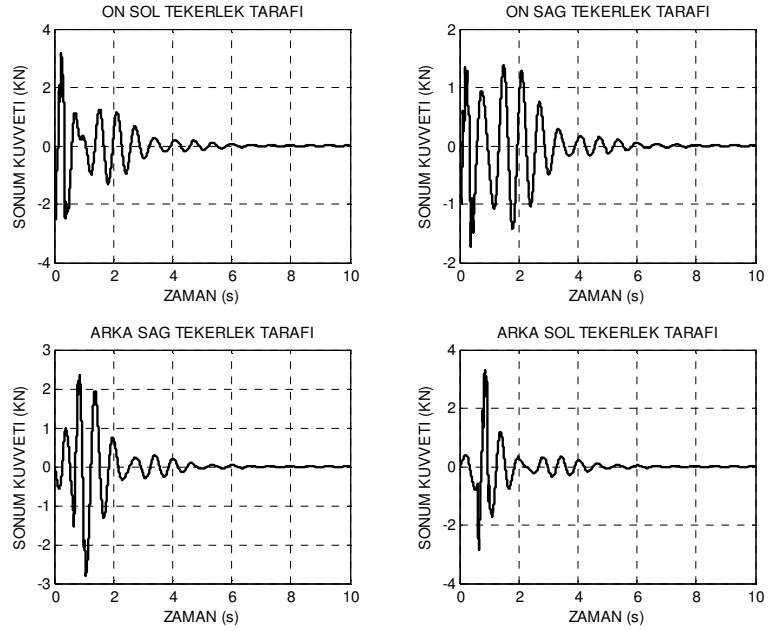
Şekil 4.3.17 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 18 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri



Şekil 4.3.18 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 18 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme

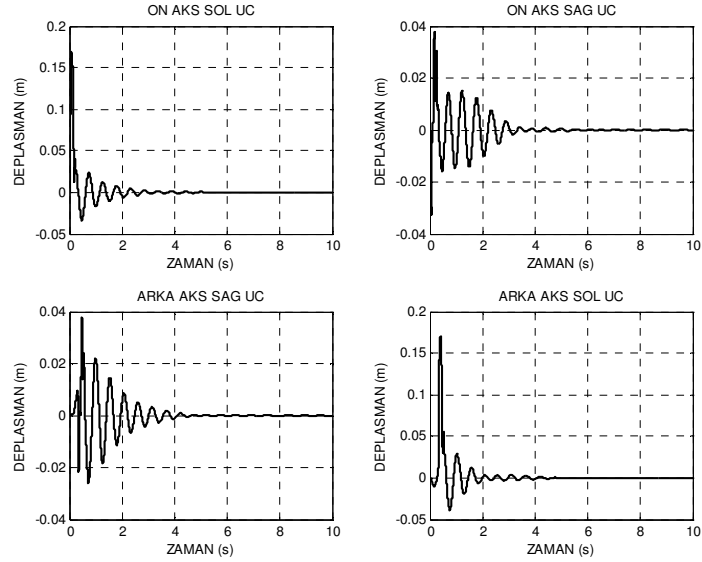


Şekil 4.3.19 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 18 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri

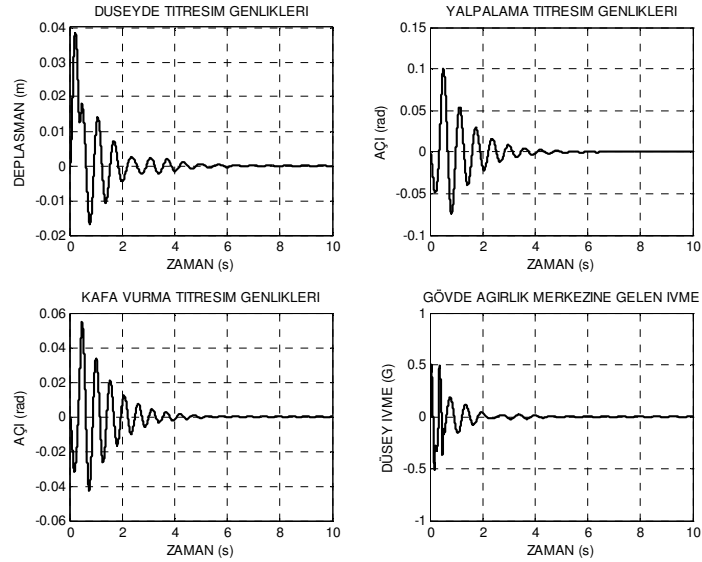


Şekil 4.3.20 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 18 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri

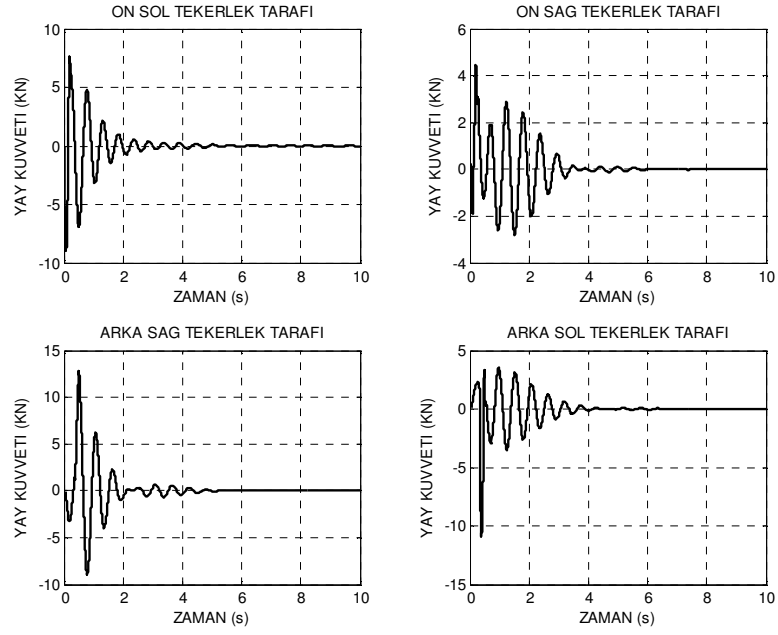
Taşıtın yüklü olarak 36 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda aksların ve gövdenin titreşim genlikleri, gövdeye etki eden düşey ivme, yay ve sönüm kuvvetleri aşağıdaki şekillerde belirtilmiştir.



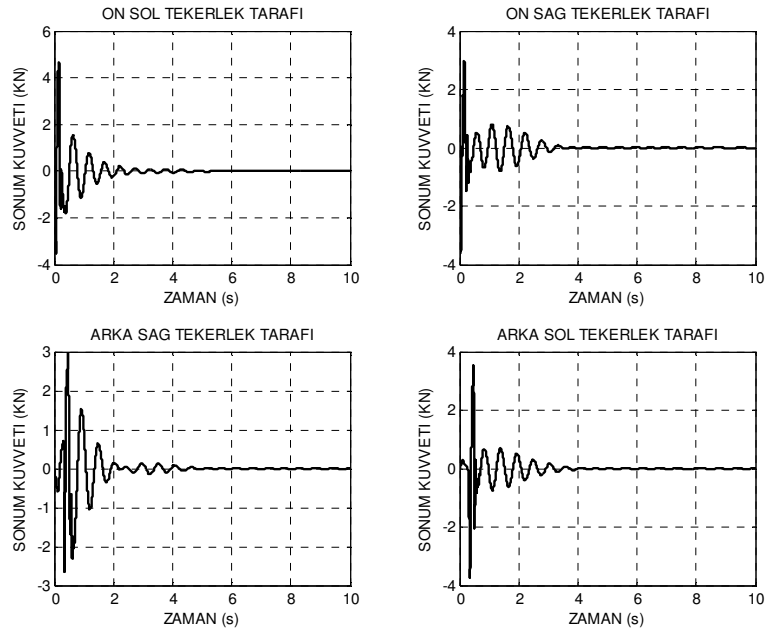
Şekil 4.3.21 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 36 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri



Şekil 4.3.22 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 36 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme



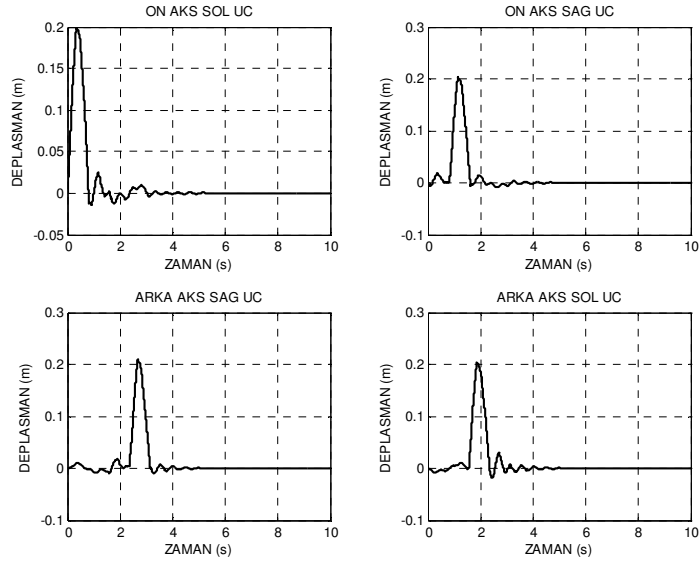
Şekil 4.3.23 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 36 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri



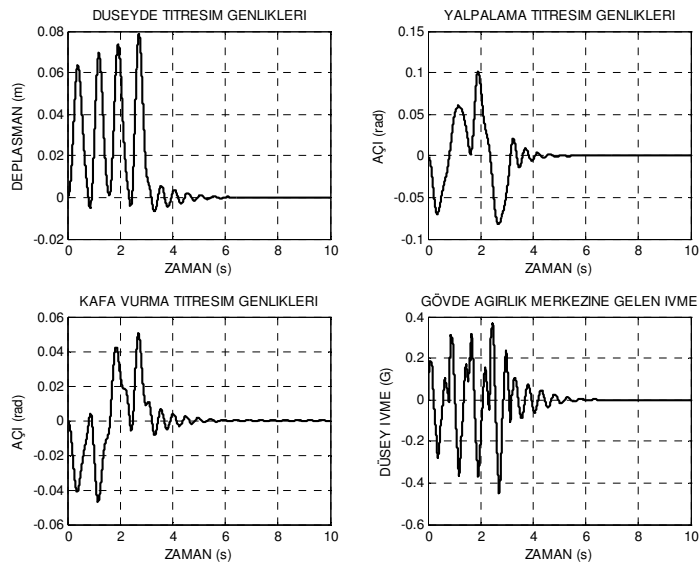
Şekil 4.3.24 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 36 km/h hızla yarım düz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri

4.4 Tekerleklerin Çapraz Tümsekten Geçme Durumu

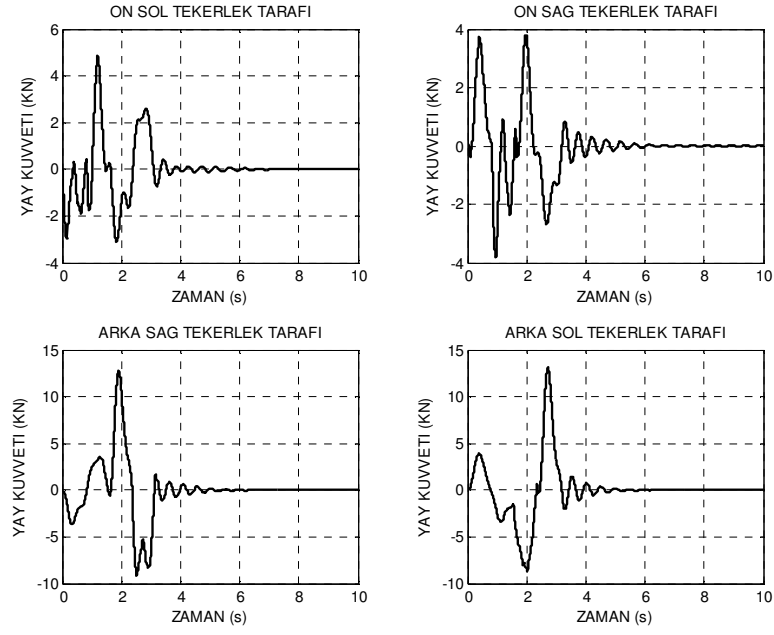
Taşıtın yüksüz olarak 7,2 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda aksların ve gövdenin titreşim genlikleri, gövdeye etki eden düşey ivme, yay ve sönüm kuvvetleri aşağıdaki şekillerde belirtilmiştir.



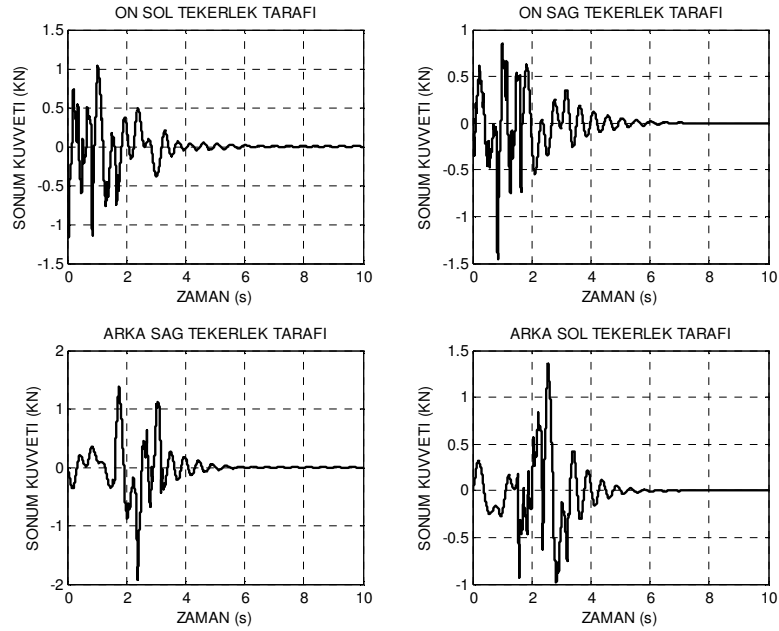
Şekil 4.4.1 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 7,2 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri



Şekil 4.4.2 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 7,2 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme

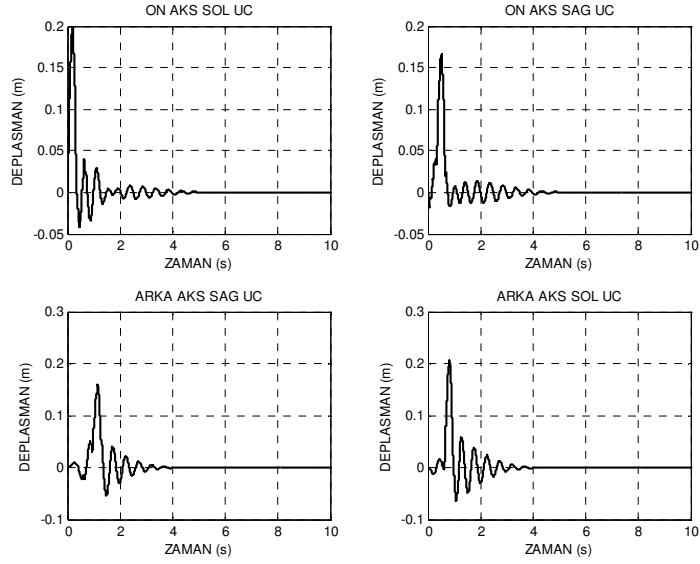


Şekil 4.4.3 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 7,2 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda süspansiyon yay kuvvetleri

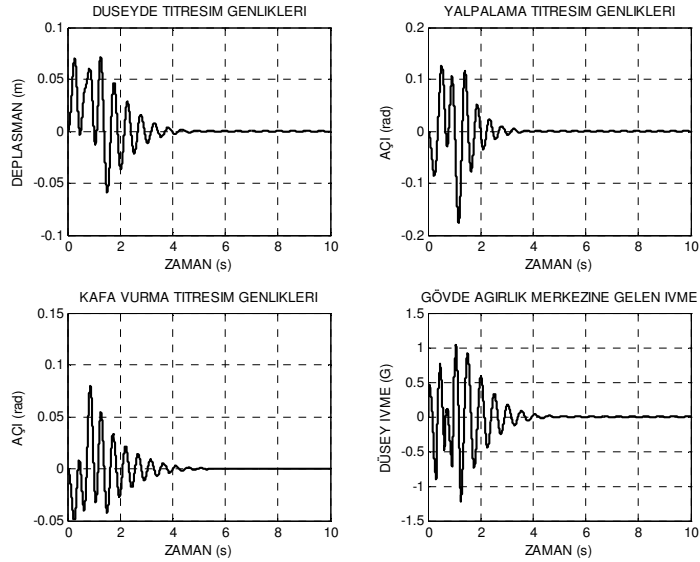


Şekil 4.4.4 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 7,2 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda süspansiyon sönüm kuvvetleri

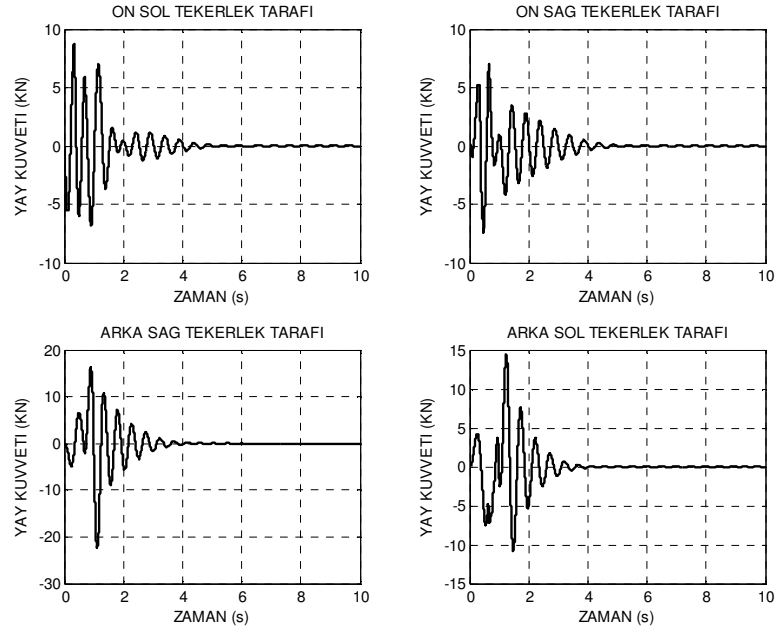
Taşıtın yüksüz olarak 18 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda aksların ve gövdenin titreşim genlikleri, gövdeye etki eden düşey ivme, yay ve sönüm kuvvetleri aşağıdaki şekillerde belirtilmiştir.



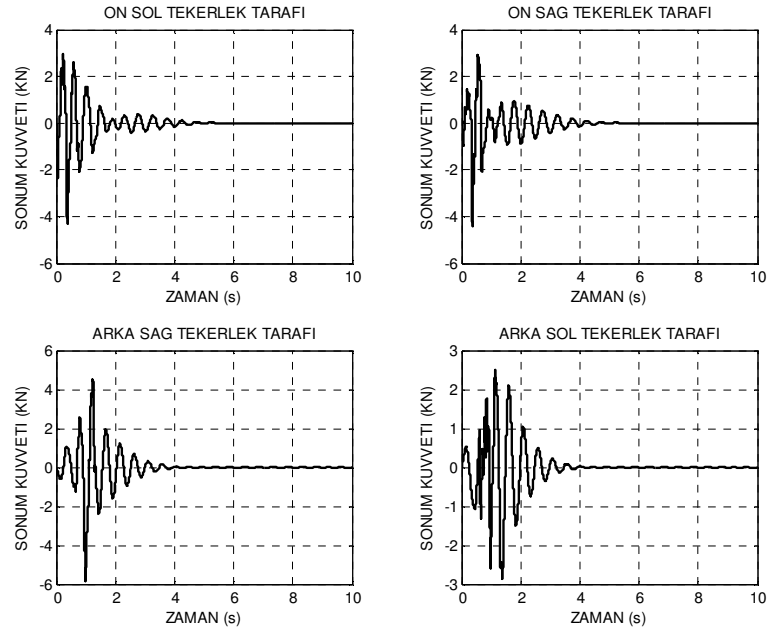
Şekil 4.4.5 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 18 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri



Şekil 4.4.6 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 18 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme

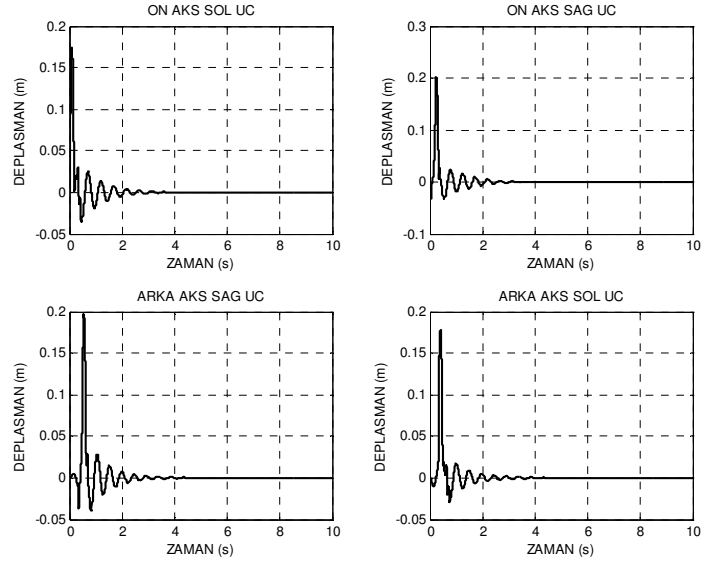


Şekil 4.4.7 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 18 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri

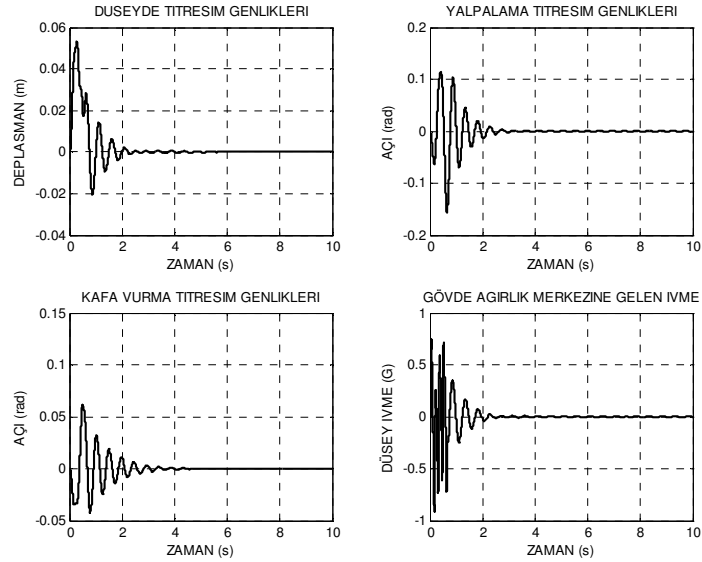


Şekil 4.4.8 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 18 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri

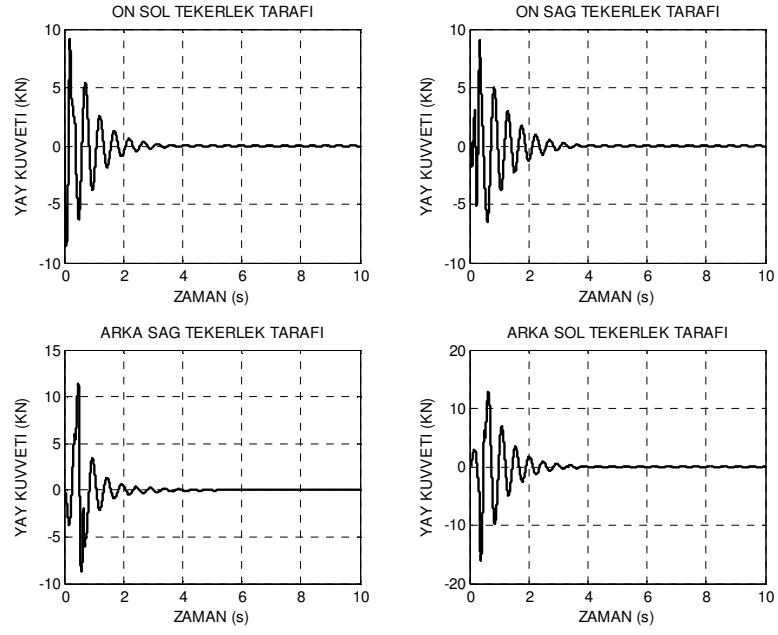
Taşıtın yüksüz olarak 36 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda aksların ve gövdenin titreşim genlikleri, gövdeye etki eden düşey ivme, yay ve sönüm kuvvetleri aşağıdaki şekillerde belirtilmiştir.



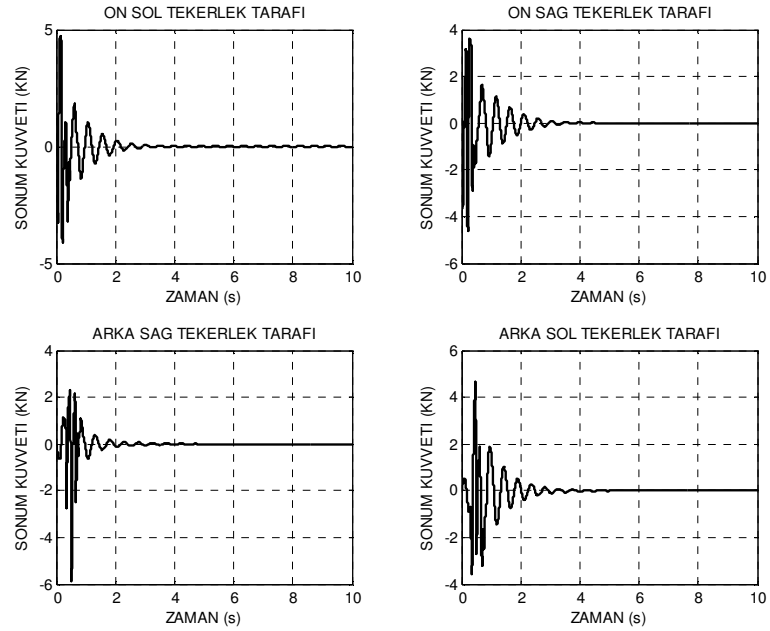
Şekil 4.4.9 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 36 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri



Şekil 4.4.10 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 36 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme

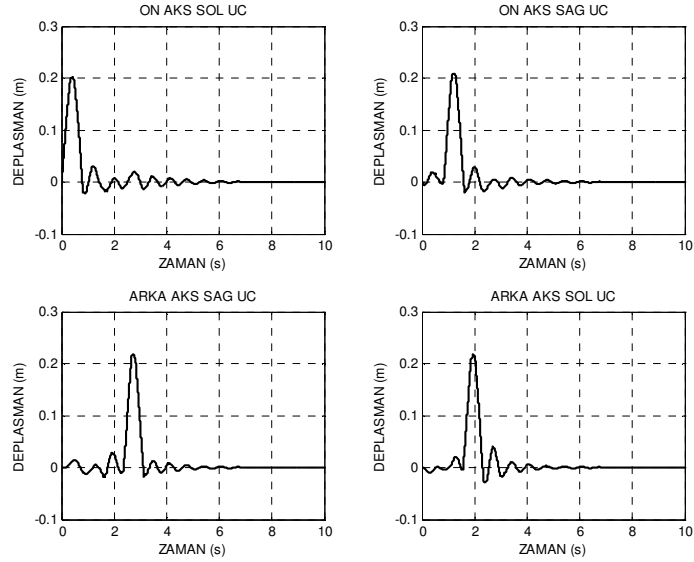


Şekil 4.4.11 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 36 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri

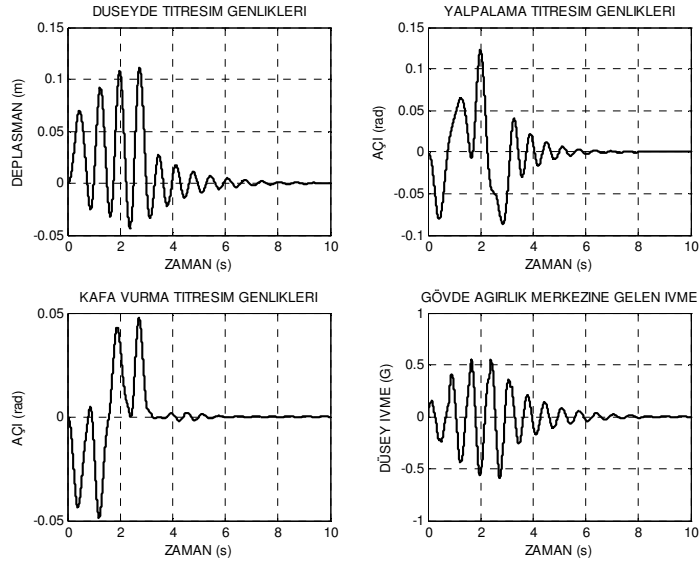


Şekil 4.4.12 Yedi serbestlik dereceli yüksüz taşıtın 36 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri

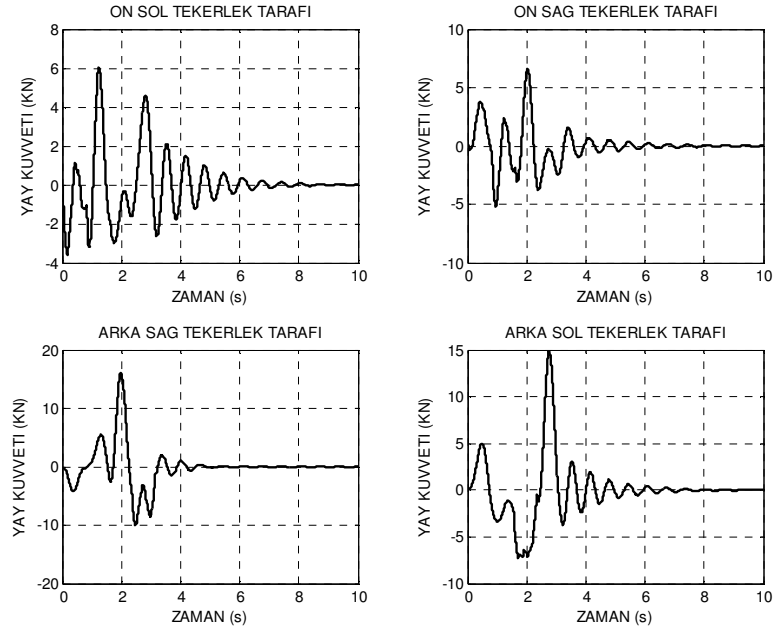
Taşıtın yüklü olarak 7,2 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda aksların ve gövdenin titreşim genlikleri, gövdeye etki eden düşey ivme, yay ve sönüm kuvvetleri aşağıdaki şekillerde belirtilmiştir.



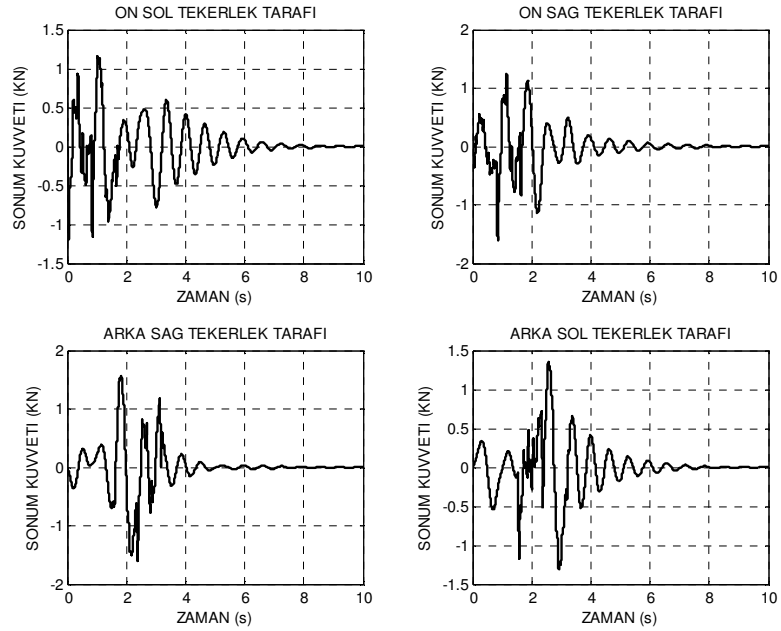
Şekil 4.4.13 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 7,2 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri



Şekil 4.4.14 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 7,2 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme

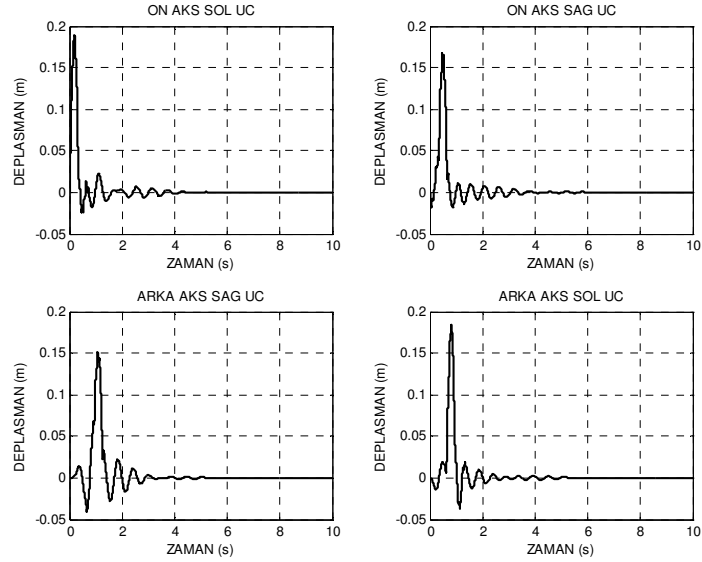


Şekil 4.4.15 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 7,2 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri

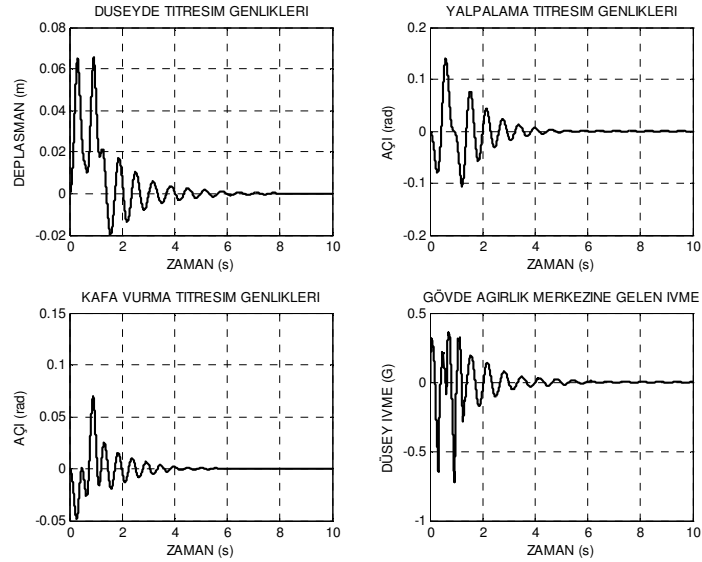


Şekil 4.4.16 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 7,2 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri

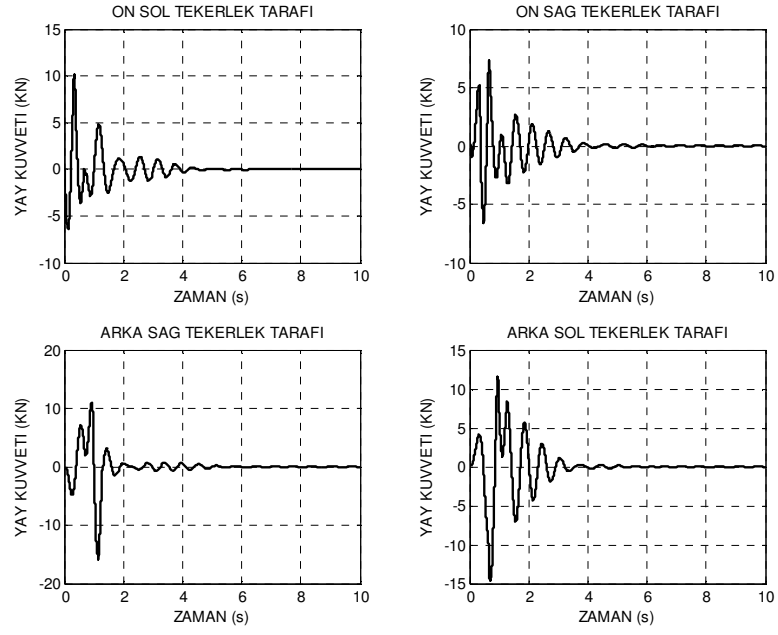
Taşıtın yüklü olarak 18 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda aksların ve gövdenin titreşim genlikleri, gövdeye etki eden düşey ivme, yay ve sönüm kuvvetleri aşağıdaki şekillerde belirtilmiştir.



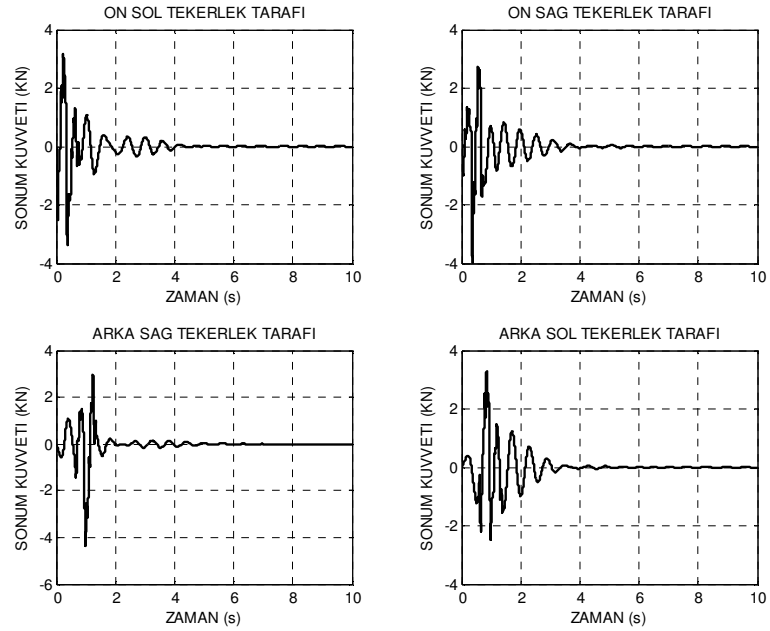
Şekil 4.4.17 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 18 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri



Şekil 4.4.18 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 18 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme

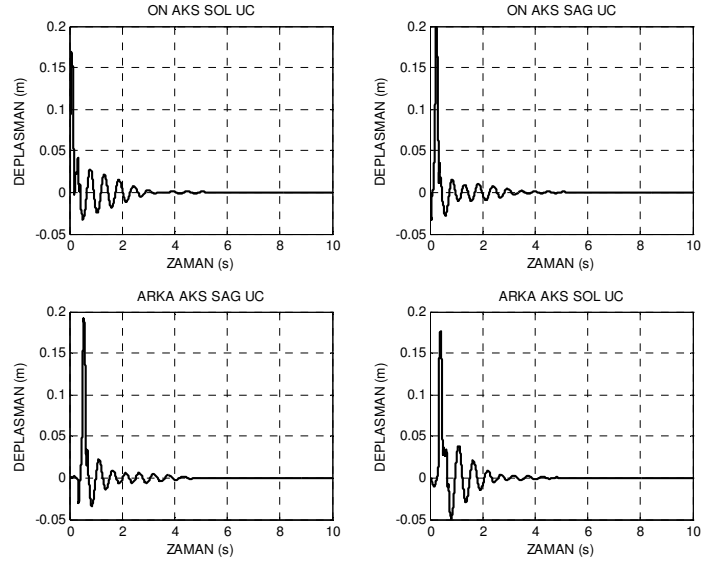


Şekil 4.4.19 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 18 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri

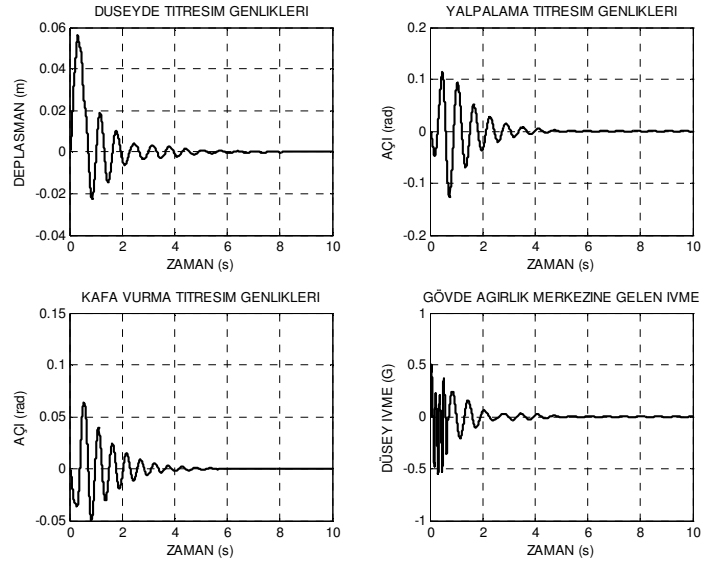


Şekil 4.4.20 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 18 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri

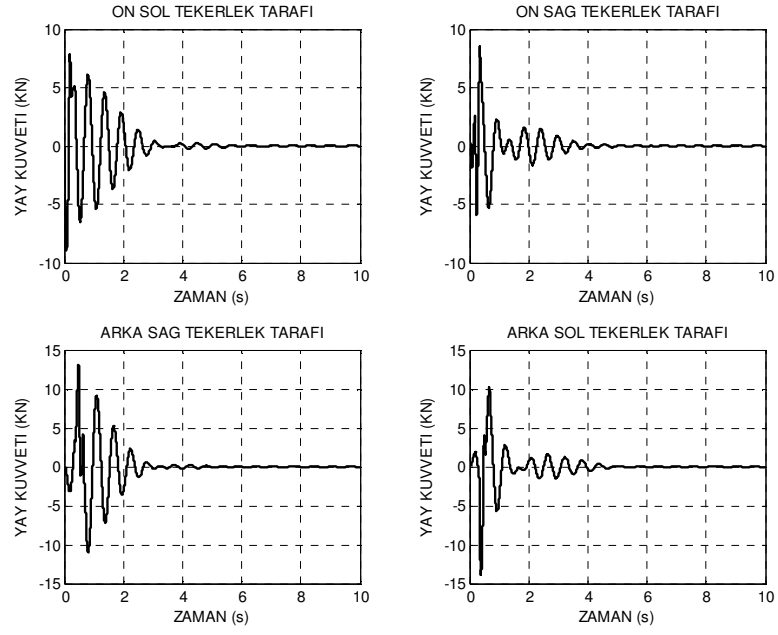
Taşıtın yüklü olarak 36 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda aksların ve gövdenin titreşim genlikleri, gövdeye etki eden düşey ivme, yay ve sönüm kuvvetleri aşağıdaki şekillerde belirtilmiştir.



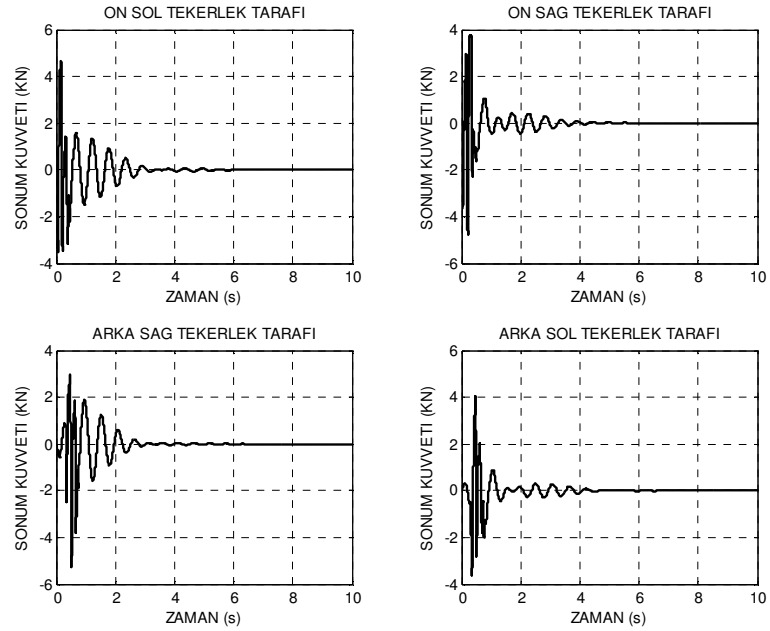
Şekil 4.4.21 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 36 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda aksların titreşim genlikleri



Şekil 4.4.22 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 36 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi durumunda gövdenin titreşim genlikleri ve gövdeye etki eden ivme



Şekil 4.4.23 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 36 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi süspansiyon yay kuvvetleri

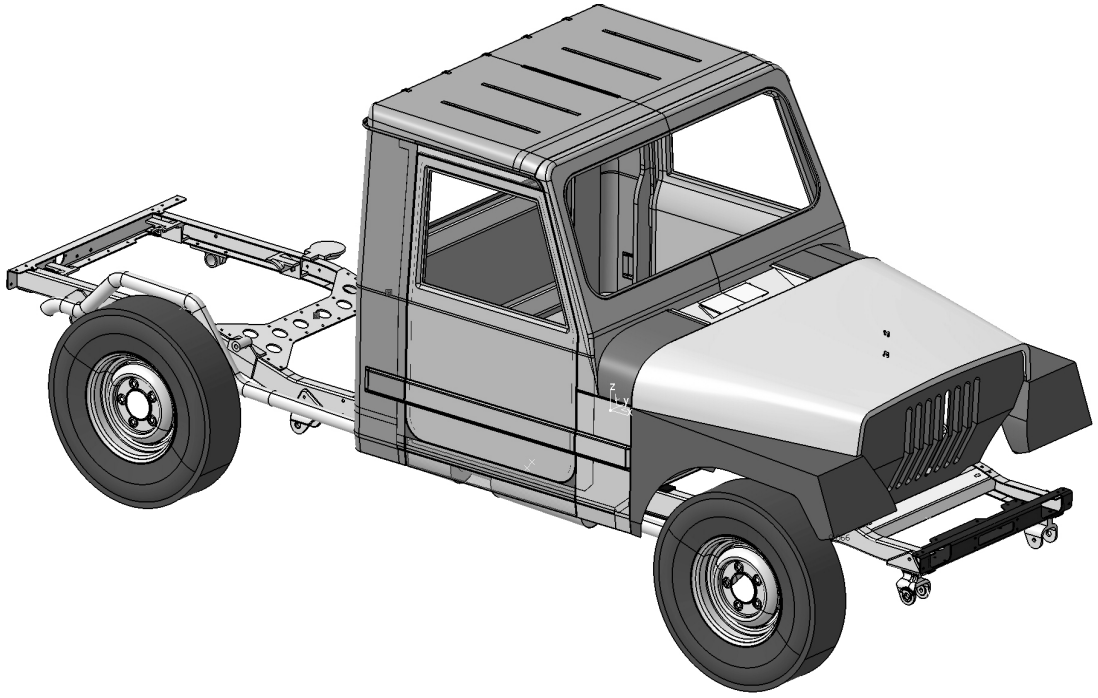


Şekil 4.4.24 Yedi serbestlik dereceli yüklü taşıtın 36 km/h hızla çapraz tümsekten geçmesi süspansiyon sönüm kuvvetleri

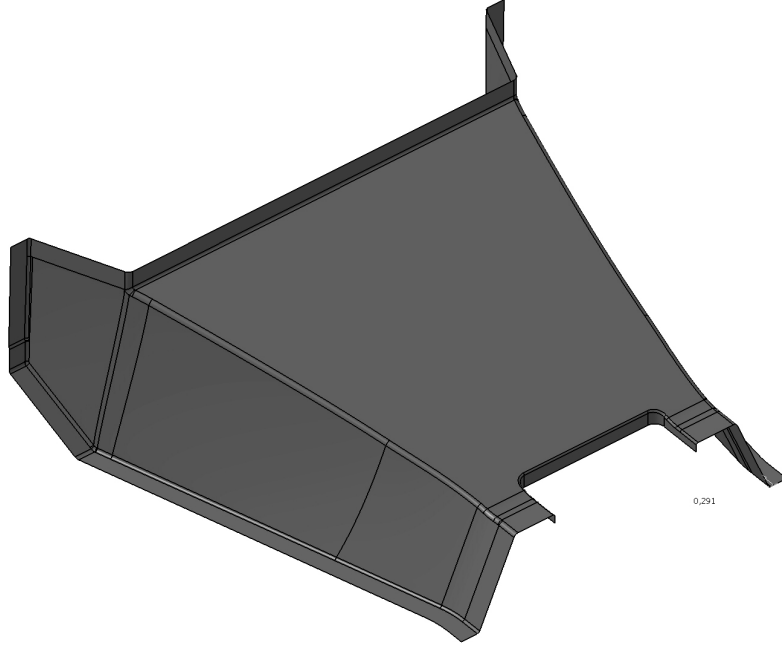
5. TAŞITIN SONLU ELEMANLAR MODELİ VE ANALİZLERİ

5.1 Modelin Hazırlanması

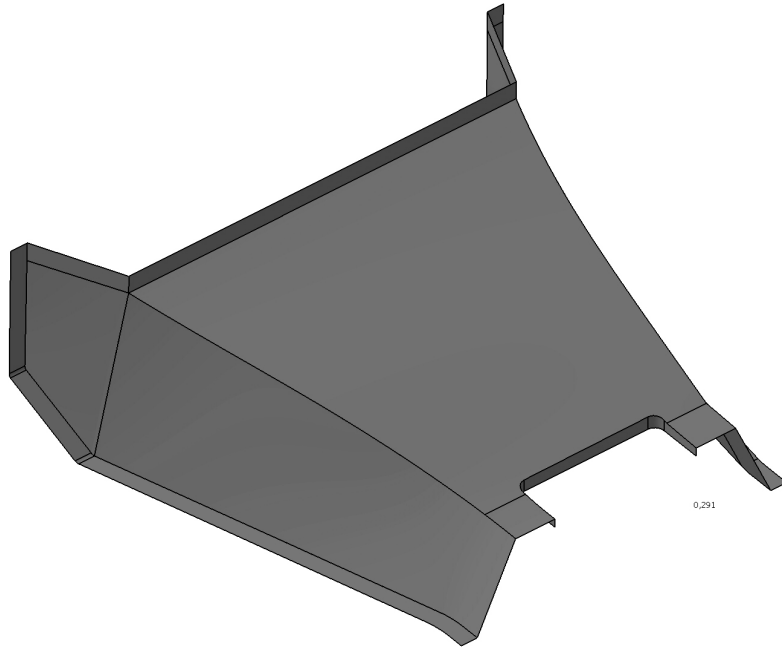
Bu çalışmada kullanılacak sonlu elemanlar modeli üzerinde dinamik analizler yapılacağından, eleman sayısının 14000 ile 16000 arasında olması çözüm süresi açısından son derece önemlidir. Bu nedenle CATIA V5 çizim ortamındaki geometrideki eleman sayısı arttırıcı etmenlerin ortadan kaldırılması gerekmektedir. Modelin büyük çoğunluğunu sac parçalar oluşturduğu için, bu parçalardaki deliklerin ve büküm yerlerindeki radyüslerin iptal edilmesi son derece önemli bir unsurdur. Ancak böylece dinamik analizlerde kullanmak üzere kaba bir model elde etmiş oluruz.



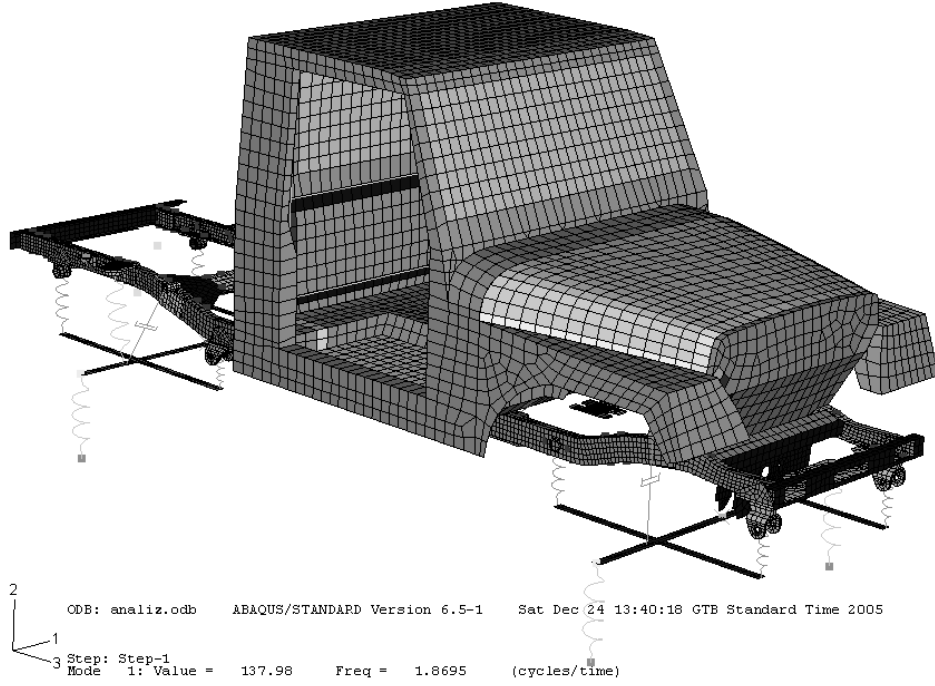
Şekil 5.1.1 Taşıtın CATIA V5 modeli



Şekil 5.1.2 Taşıta ait bir sac parçanın imalat için hazırlanmış CAD modeli



Şekil 5.1.3 Taşıta ait bir sac parçanın SEM için hazırlanmış CAD modeli



Şekil 5.1.4 Taşıtın ABAQUS SE modeli

5.1.1 Dosya Yapısı

SE modelinin dosya yapısına bakılacak olursa, iki ana dosya grubu vardır. Bunlardan ilki, her türlü çizim datasıyla uğraşılacak, çözüm ağı oluşturulan, eleman ve düğüm noktaları gruplarının oluşturulduğu “grafik arayüz model dosyası”dır. İkinci grup ise grafik arayüz model dosyasından hazırlanan ve çözüme vermek için oluşturulan, herhangi bir kelime işlemcide düzenlenebilen “girdi dosyaları”dır. Aslında grafik arayüz ortamında oluşturulmuş düğüm noktası ve elemanların bir metin belgesine yazılmış halidir de diyebiliriz.

Gerek modelin kolay modifikasyonunu sağlamak gerekse çözüm esnasında ortaya çıkabilecek hataları rahatça bulabilmek için girdi dosyaları çeşitli gruplar halinde düzenlenmiştir.

wr_01.inp, wr_02.inp, wr_03.inp: Çeşitli yol yüzeylerini oluşturan elemanların yazdırıldığı dosyalardır.

sasi.inp: Taşıt şasisine ait düğüm noktası ve elemanların yazdırıldığı dosya..

kupa.inp: Taşıt karoserisine ait düğüm noktası ve elemanların yazdırıldığı dosya..

axle.inp: Taşıt akslarına ait düğüm noktası ve elemanların yazdırıldığı dosya..

fastener.inp:Taşıt gövdesindeki civata ve percin bağlantılarının tanımlandığı dosya.

material.inp:Malzeme modeli bilgilerinin tanımlandığı dosya.

interaction_prop.inp, interaction.inp: Yol yüzeylerini oluşturan elemanlar ile tekerlek düğüm noktaları arasındaki teması tanımlayan dosyalar.

MODAL.inp, EXP.inp:Analiz tipine göre düzenlenmiş,içerisinde yukarıda sıralanan dosyaları okutan kodlar bulunan,analiz parametrelerini içeren ana çözüm dosyalarıdır.

```

*include, input=wr_03.inp
*include, input=axle.inp
*include, input=sasi.inp
*include, input=kupa.inp
*****
*include, input=material.inp
*include, input=interaction_prop.inp
*****
** STEP: Step-1
**
*Step, name=Step-1
*Dynamic, Explicit, element by element
, 0.56
*Bulk Viscosity
0.06, 1.2
*****
*include, input=interaction.inp
*****
** BOUNDARY CONDITIONS
**
** Name: BC-1 Type: Displacement/Rotation
*Boundary
301026, 1, 1
301026, 3, 3
301026, 4, 4
301026, 5, 5
301576, 1, 1
301576, 3, 3
301576, 4, 4
301576, 5, 5
** Name: BC-2 Type: Displacement/Rotation
*Boundary
TEKER_ALT, 1, 1
TEKER_ALT, 3, 3
TEKER_ALT, 4, 4

```

Şekil 5.1.1.1 Girdi dosyası

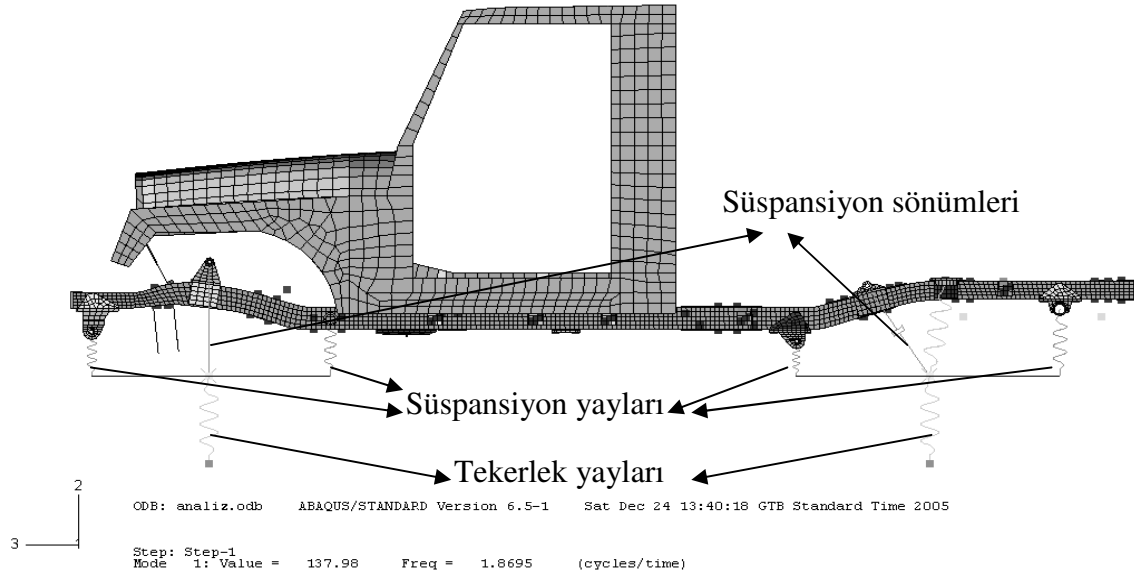
5.1.2 Elemanlar

Yapıdaki sac parçalar, 4 düğüm noktalı doğrusal kabuk elemanlarla modellenmiştir. Döküm parçalar ise 8 düğüm noktalı doğrusal kübik elemanlarla modellenmiştir.

Karoseri altında enine ve boyuna geçen kuşaklar ise 2 düğüm noktalı doğrusal kiriş elemanlarla modellenmiştir.

Yol ve aksların deformasyonu diğer parçalara göre çok düşük olduğundan, bu yapılar rijit 4 düğüm noktalı kabuk elemanlarla modellenmiştir

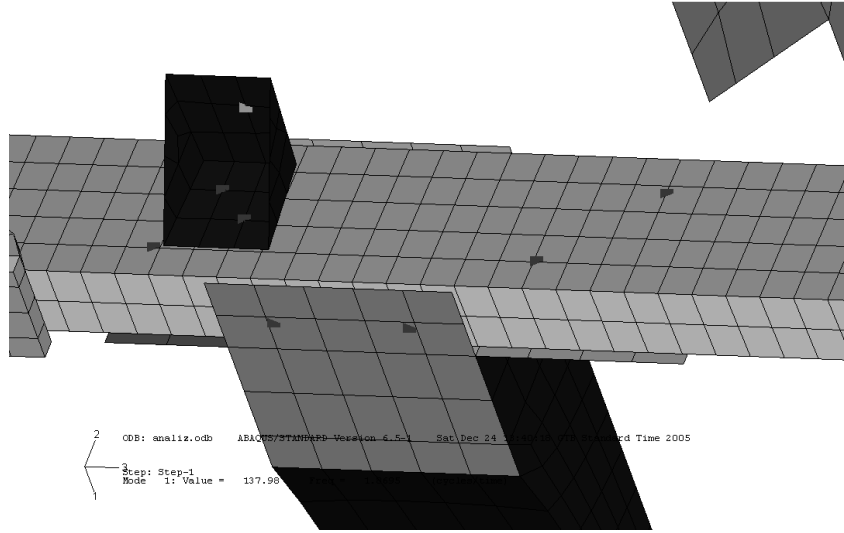
Süspansiyon elemanları olan yay ve amortisörler ise özel yay ve sönüm elemanlarıyla modellenmiştir. Ayrıca tekerlekler de sadece bir yay gibi düşünülmüştür.



Şekil 5.1.2.1 Yay ve sönüm elemanları

Bunların yanında, motor ,yakıt deposu, yolcu ve ek ekipmanlar parçalarının yaklaşık ağırlık merkezine yerleştirilen kütle elemanlar kullanılarak modellenmiştir.

Bunların yanında parçalar arasındaki perçin ve civata bağlantıları düğüm noktasından düğüm noktasına rijit kiriş elemanlarla modellenmiştir.



Şekil 5.1.2.2 Civata ve perçin bağlantıları

5.1.3 Malzeme Modeli

Sac, döküm parçalar ve cam için doğrusal izotropik malzeme modeli kullanılmıştır.

Çelik için:

elastisite modülü= 210000 N/mm^2 ve yoğunluk= $7,85 \text{E-}09 \text{ ton/mm}^3$,

Dökme demir için:

elastisite modülü= 210000 N/mm^2 ve yoğunluk= $7,85 \text{E-}09 \text{ ton/mm}^3$,

Cam için:

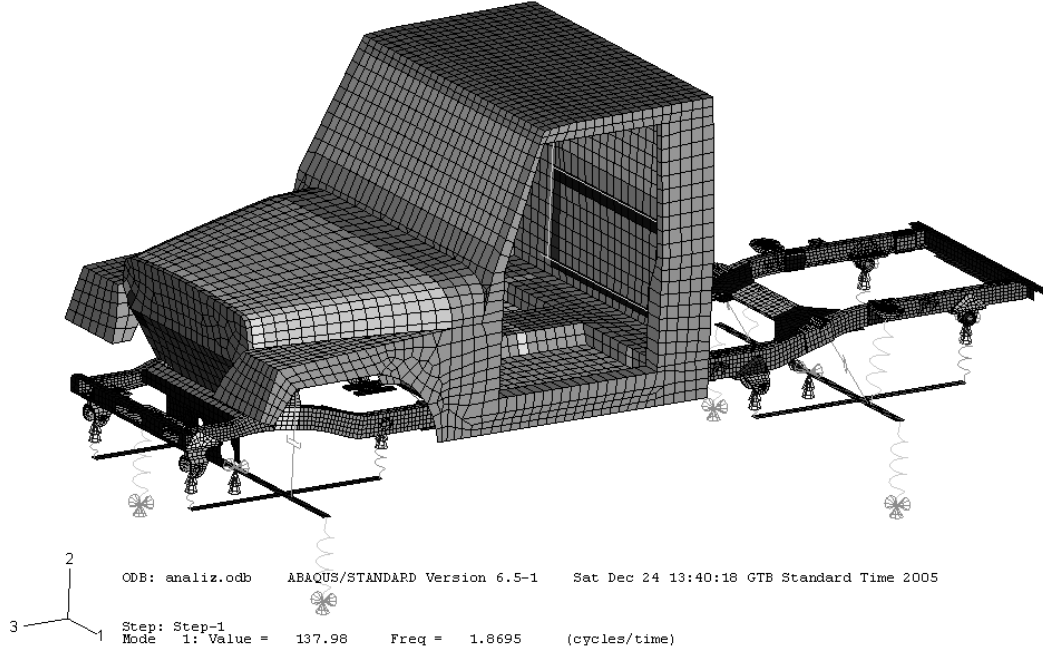
elastisite modülü= 73000 N/mm^2 ve yoğunluk= $2,5 \text{E-}09 \text{ ton/mm}^3$

olarak alınmıştır.

5.2 Taşıtın Modal Analizi

Bu analizde taşıtın ilk olarak yüksüz durumu, ikinci olarak ise yüklü durumu için ilk 7 mod şekline bakılacaktır.

5.2.1 Sınır Koşulları



Şekil 5.2.1.1 Modal analiz için sınır koşulları

Tekerleklerin en alt noktası olarak kabul edilen ve zemine bağlanan düğüm noktalarının serbestlik derecesi yoktur.

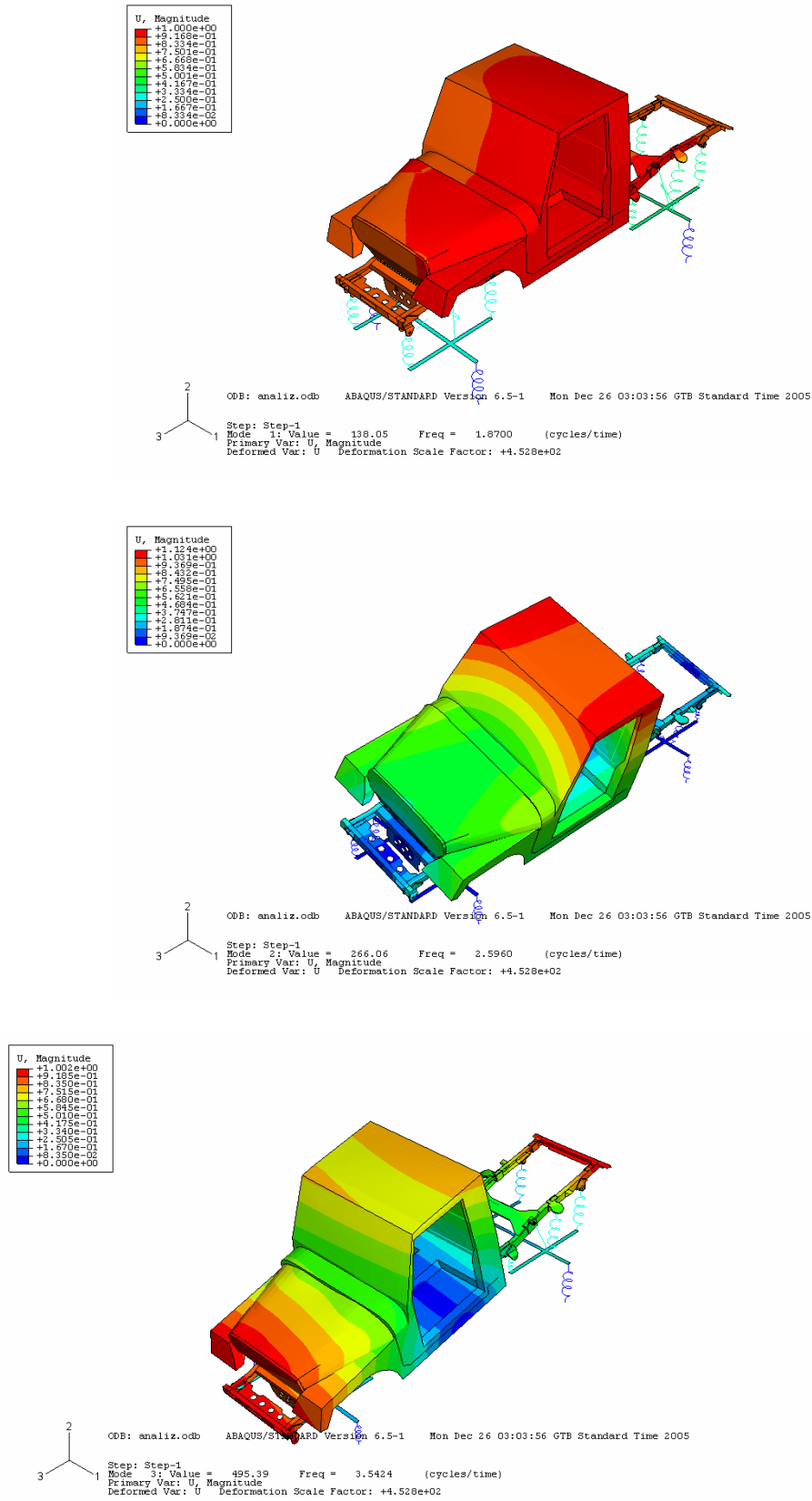
Aksların her birisinin, yukarıdaki şekle bakıldığında koordinat sistemine göre 2 doğrultusunda öteleme, diğeri 3 eksen etrafında dönme olmak üzere iki serbestlik dereceleri vardır.

Süspansiyon yaylarının gövdeye bağlandığı noktaların ise, 2 yönünde öteleme, 1 ve 3 eksen etrafında dönme olmak üzere 3 serbestlik dereceleri vardır.

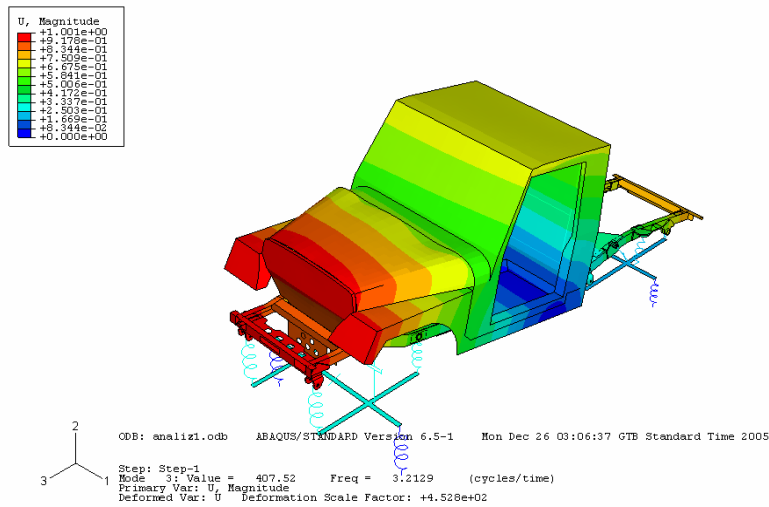
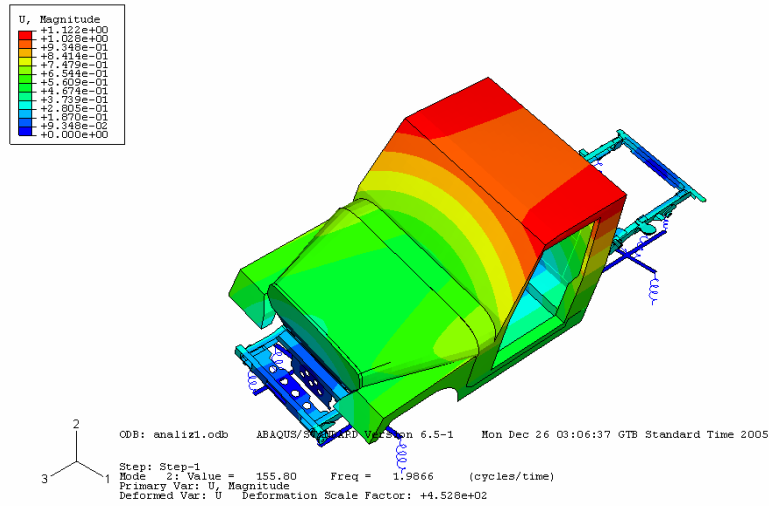
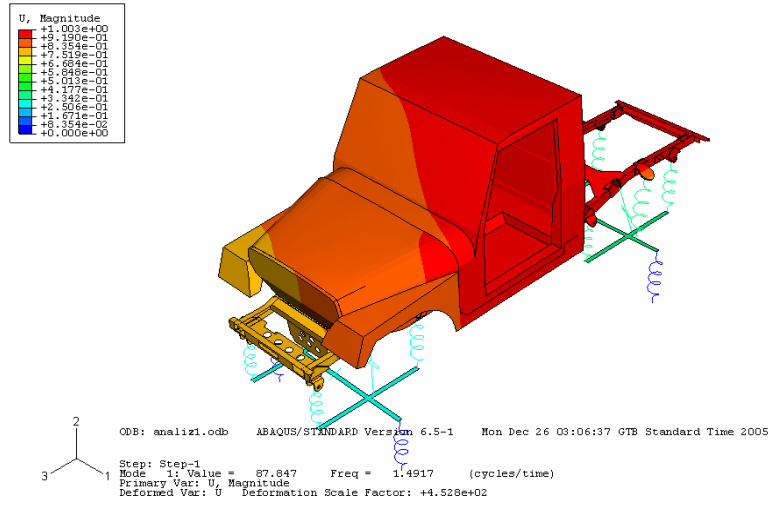
5.2.2 Analiz Parametreleri

Çözüm yöntemi olarak “Lanczos” kullanılmış ve deplasmana bağlı normalizasyon uygulanmıştır.

5.2.3 Sonuçlar



Şekil 5.2.3.1 Taşıtın yüksüz halde ilk üç mod şekli

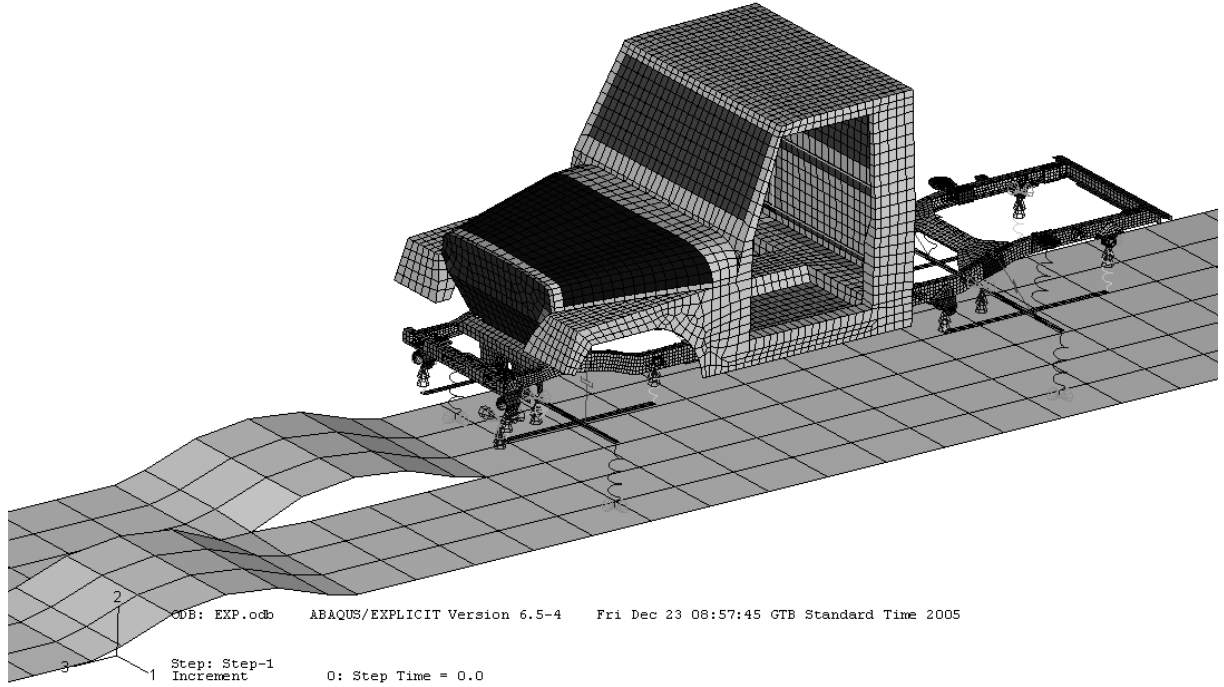


Şekil 5.2.3.1 Taşıtın yüklü halde ilk üç mod şekli

5.3 Taşıtın Çeşitli Tümsek Durumları İçin Gerilme analizleri

Bu çalışmada ise taşıtın yüklü durumda 36 km/h ile üç farklı tümsek tipi üzerinden geçtiği durumun benzetimi yapılmıştır. Çalışmadaki esas amaç taşıtın hangi bölgelerinin mukavemet açısından zorlandığının tespit edilip, bu bölgelere özel çözüm yapılacak bir ikinci çalışmanın hazırlık safhası olmasıdır.

5.3.1 Sınır Koşulları Ve Yüklemeler



Şekil 5.3.1.1 Taşıtın gerilme analizleri için sınır koşulları

Tekerleklerin en alt noktası olarak kabul edilen ve zemine bağlanan düğüm noktalarının her birisinin, yukarıdaki şekle bakıldığında koordinat sistemine göre 2 yönünde öteleme olmak üzere sadece bir serbestlik dereceleri vardır.

Aksların her birisinin 2 yönünde öteleme, diğeri 3 eksen etrafında dönme olmak üzere iki serbestlik dereceleri vardır.

Süspansiyon yaylarının gövdeye bağlandığı noktaların ise, 2 yönünde öteleme, 1 ve 3 eksen etrafında dönme olmak üzere 3 serbestlik dereceleri vardır.

Ayrıca modelde yoldaki elemanlara araca doğru 10 m/s değerinde bir ilk hız verilmiştir.

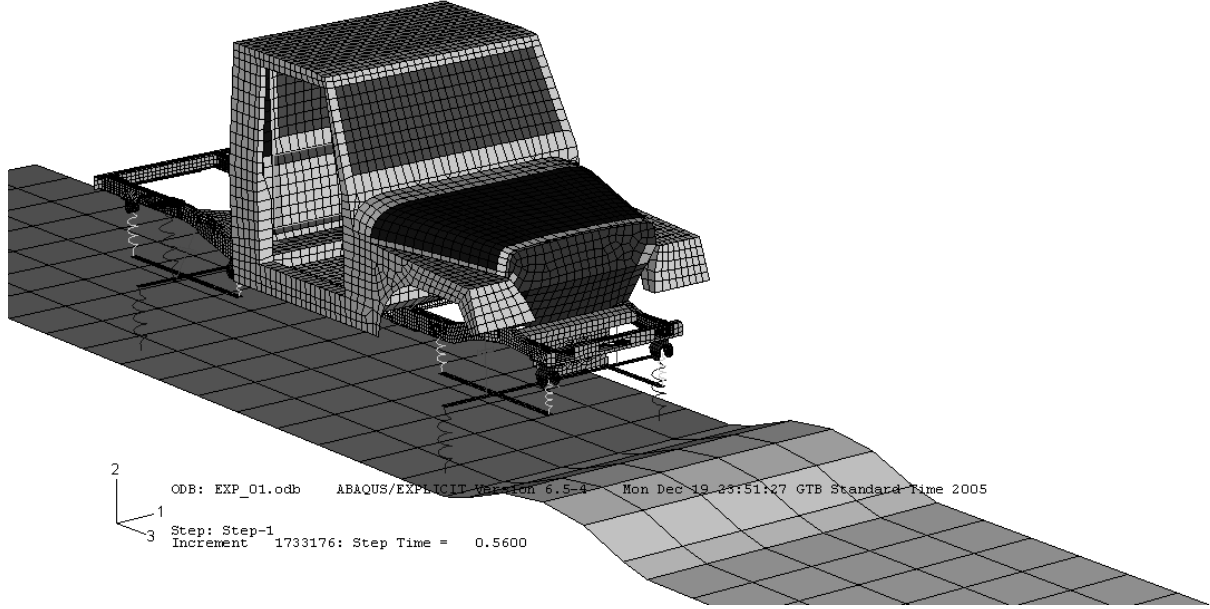
Bunun yanında taşıt modelindeki tüm elemanlar üzerinde yerçekimi ivmesi, yük olarak uygulanmıştır.

5.3.2 Analiz Parametreleri

Benzetimi yapılmak istenen olayın 0,5 ile 0,75 s arasında değişen çok küçük bir zaman içinde olması ve bu süre zarfında gerinim oranı değerlerinin büyük olması sebebiyle “kapalı” çözümde zaman adımlarının $1E-05$ s’den büyük olması yakınsama problemlerini meydana getirmektedir. Bu nedenle “açık” çözüm metodu tercih edilmiştir.

Çözüm esnasında toplam çözüm süresini kısaltmak için herhangi bir “Kütle Ölçeklemesi” uygulanmamıştır. “Kütle Ölçeklemesi” yöntemi çözüm sonuçlarını hatalı yönde etkileyebileceğinden, genelde sonlu elemanlarla uzun seneler uğraşmış kişilerin tavsiyelerine göre kullanılmalıdır.

5.3.3 Sonuçlar

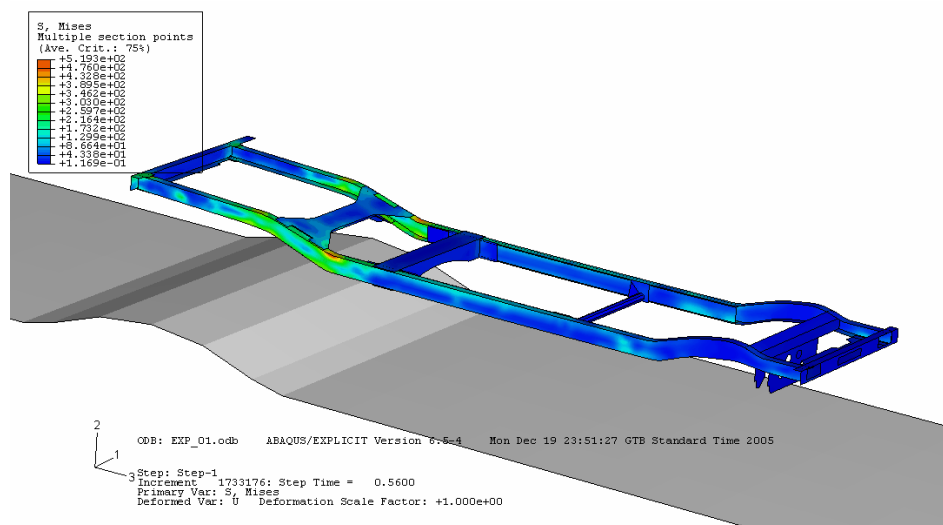
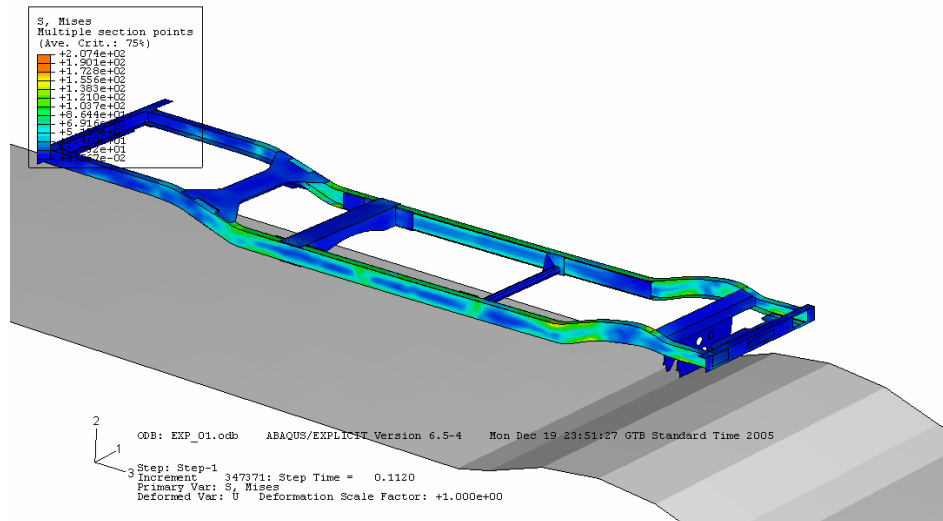
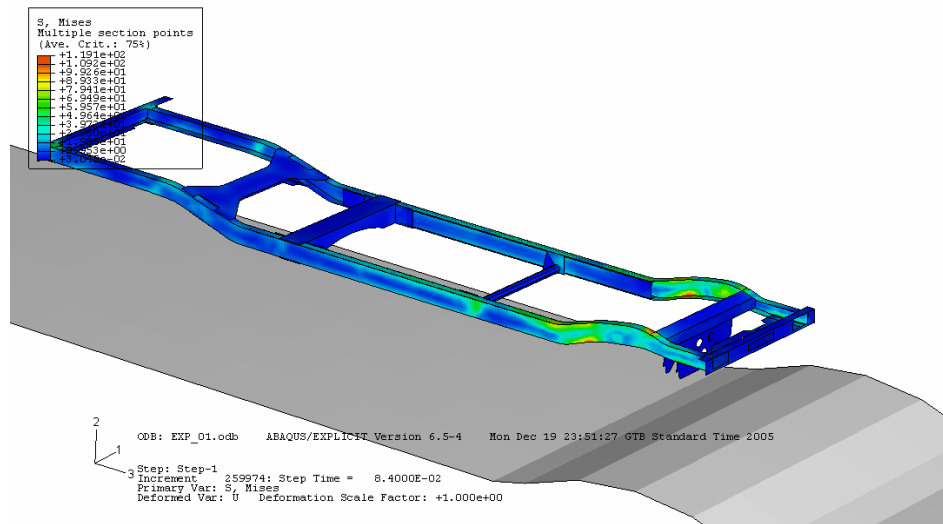


Şekil 5.3.3.1 Düz tümsekten geçiş benzetimi

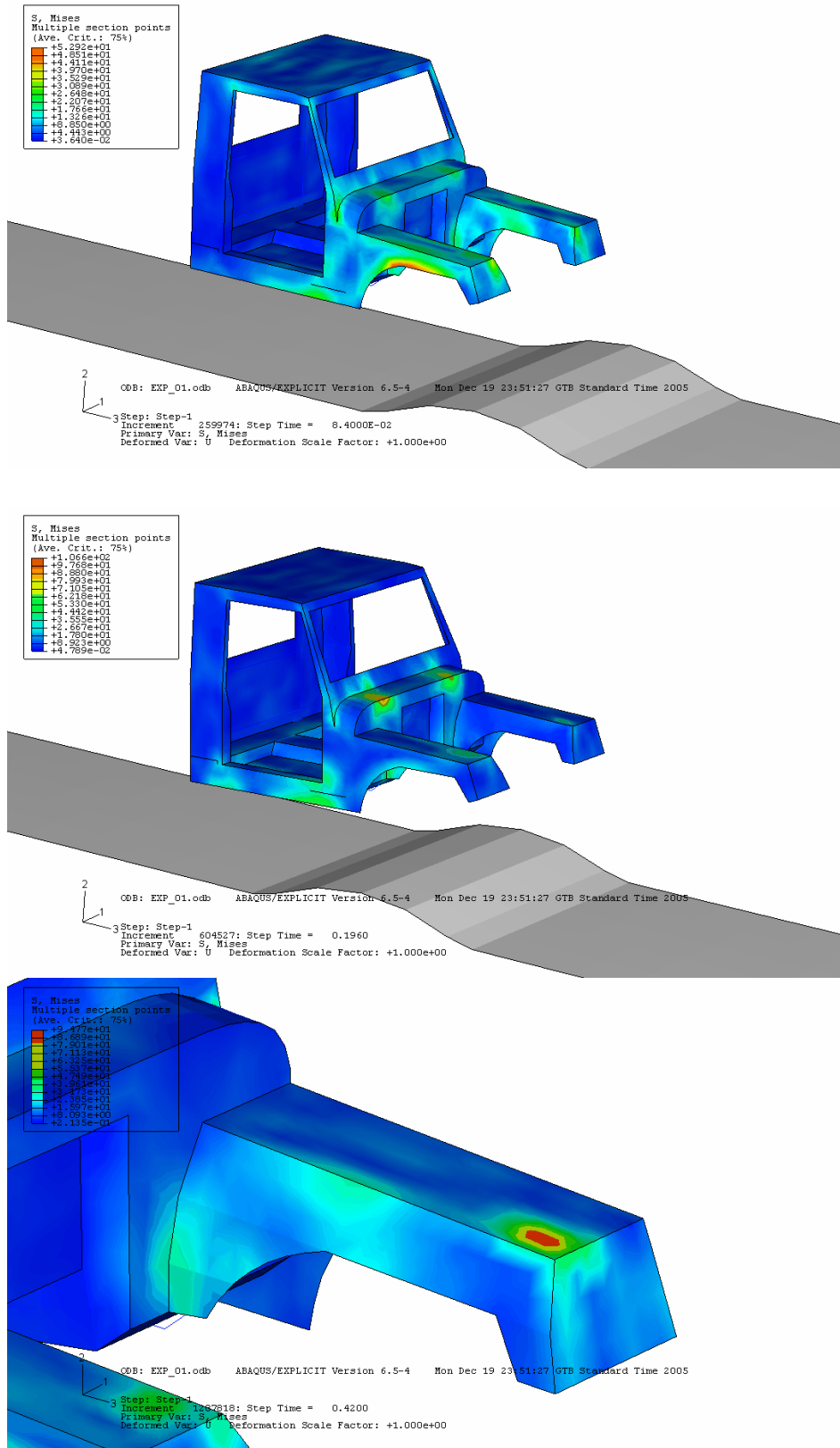
Şaside tam ön tekerlekler tümsekten geçerken ön sabit makas braketlerinin bağlandığı bölgelerin kenarlarında bir gerilme yığılması meydana gelmektedir. Daha sonra ise gerilmeler ana şasi kollarına düzgün bir şekilde dağılım göstermektedirler. Arka tekerleklerin tümsekten geçtiği esnada ise şasi kollarında arka sabit makas braketlerinin bağlandığı bölgelerin kenarlarında bir gerilme yığılması meydana gelmektedir. Bu durum aynı ön tekerleklerin tümsekten geçerken yaşanan gerilme yığılmasına benzemektedir.

Karoseriye bakıldığında ise ön tekerlekler tümsekten geçerken ilk olarak çamurluk yan sacları zorlanmakta, daha sonra ise çamurluk sacı üst yüzeyinde bir gerilme yığılması oluşmaktadır.

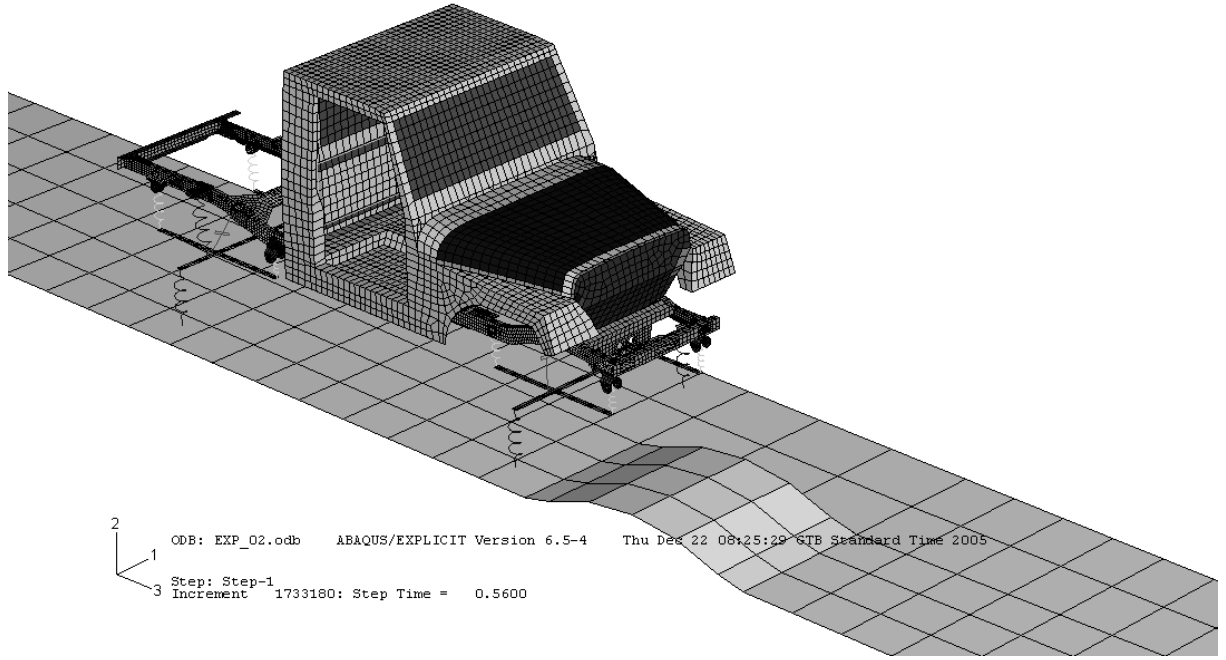
Taşıt düz tümsekten geçerken en genel zorlanma türü şasinin önce önden arkaya doğru eğilmesi, daha sonra ise arkadan öne doğru eğilmesidir. Ana şasi kollarının ortalarında kutu profil destek elemanları bulunduğu için bu bölgelerde eğilme direnç momentinin artması sonucu gerilme yığılmaları destek elemanlarının sonlandığı bölgelerde oluşmaktadır.



Şekil 5.3.3.2 Düz tümsekten geçiş esnasında şasideki gerilme dağılımları



Şekil 5.3.3.3 Düz tümsekten geçiş esnasında karoserideki gerilme dağılımları

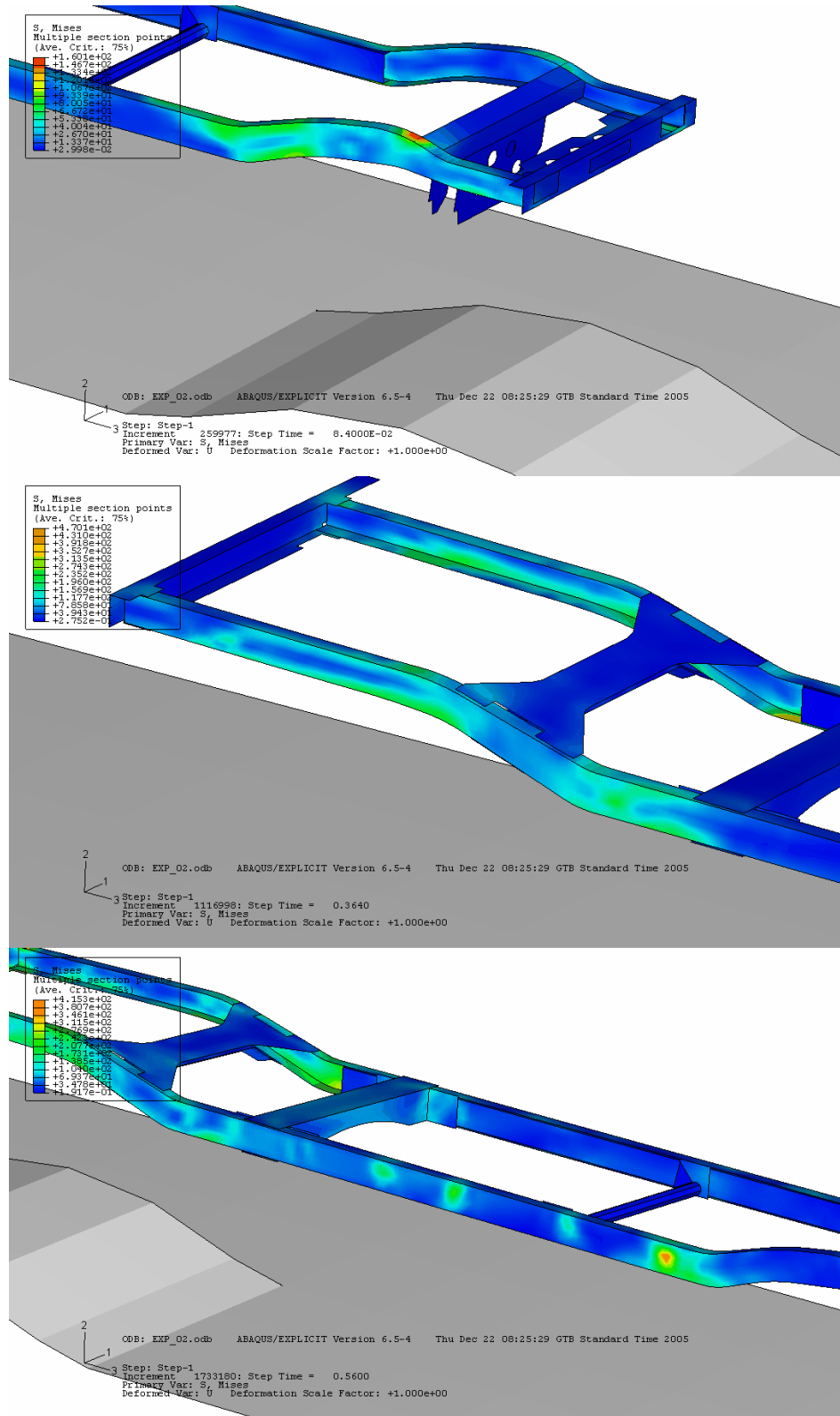


Şekil 5.3.3.4 Yarım düz tümsekten geçiş benzetimi

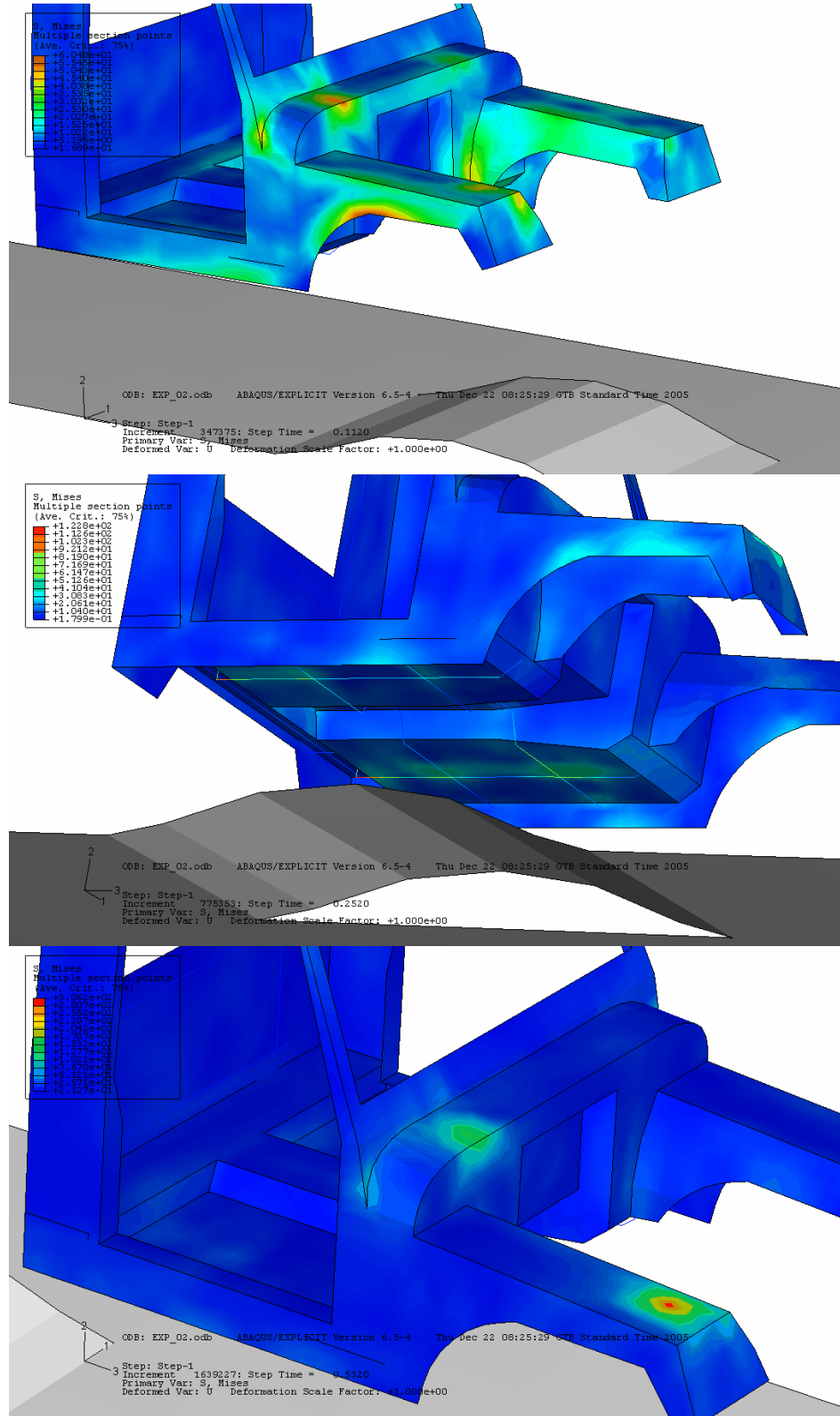
Şaside tam ön tekerlek tümsekten geçerken direksiyon bağlantı braketlerinin bağlandığı bölgenin kenarlarında bir gerilme yığılması meydana gelmektedir. Daha sonra ise gerilmeler ana şasi kollarına arkaya doğru kaymaktadırlar. Arka tekerleklerin tümsekten geçtiği esnada ise şasi kollarında hem ön tarafta hem de arka tarafta lokal gerilmeler oluşmaktadır.

Karoseriye bakıldığında ise ön tekerlekler tümsekten geçerken ilk olarak çamurluk yan sacları zorlanmakta, daha sonra ise çamurluk sacı üst yüzeyinde bir gerilme yığılması oluşmaktadır. Ayrıca ön koltukların altındaki kuşaklarda da tam tümsek üzerindeyken zorlanma meydana gelmektedir.

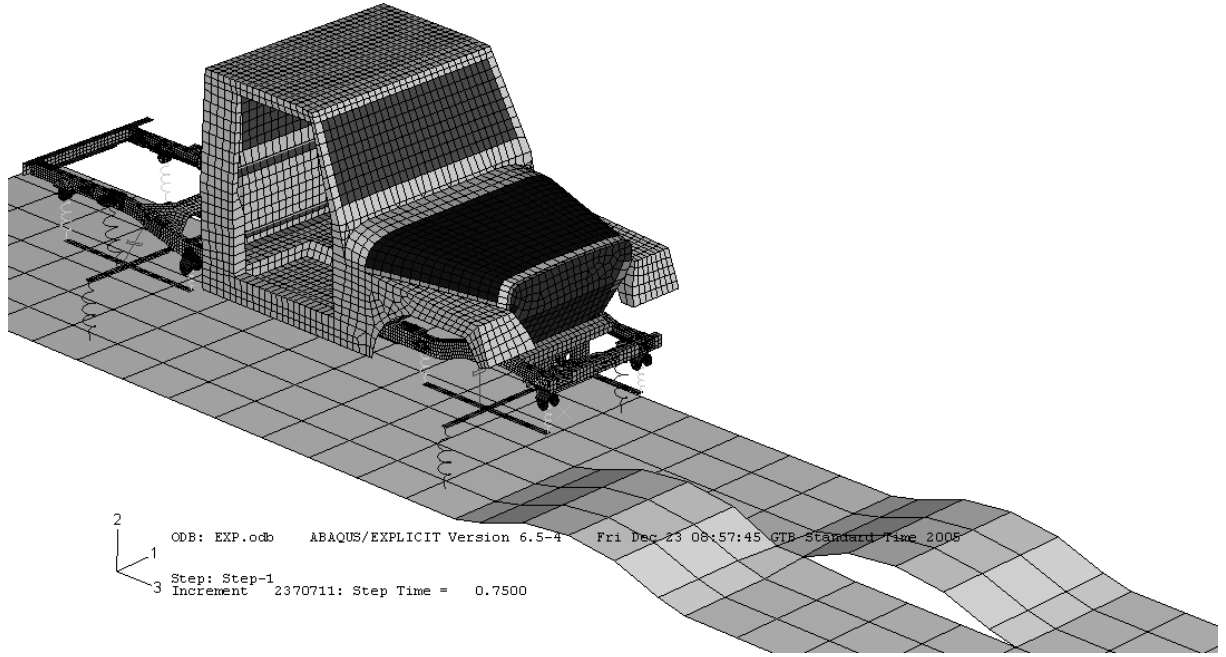
Taşıt yarım düz tümsekten geçerken en genel zorlanma türü şasinin önce önden arkaya doğru burulması, daha sonra ise arkadan öne doğru burulmasıdır.



Şekil 5.3.3.5 Yarım düz tümsekten geçiş esnasında şasideki gerilme dağılımları



Şekil 5.3.3.6 Yarı düz tümsekten geçiş esnasında karoserideki gerilme dağılımları

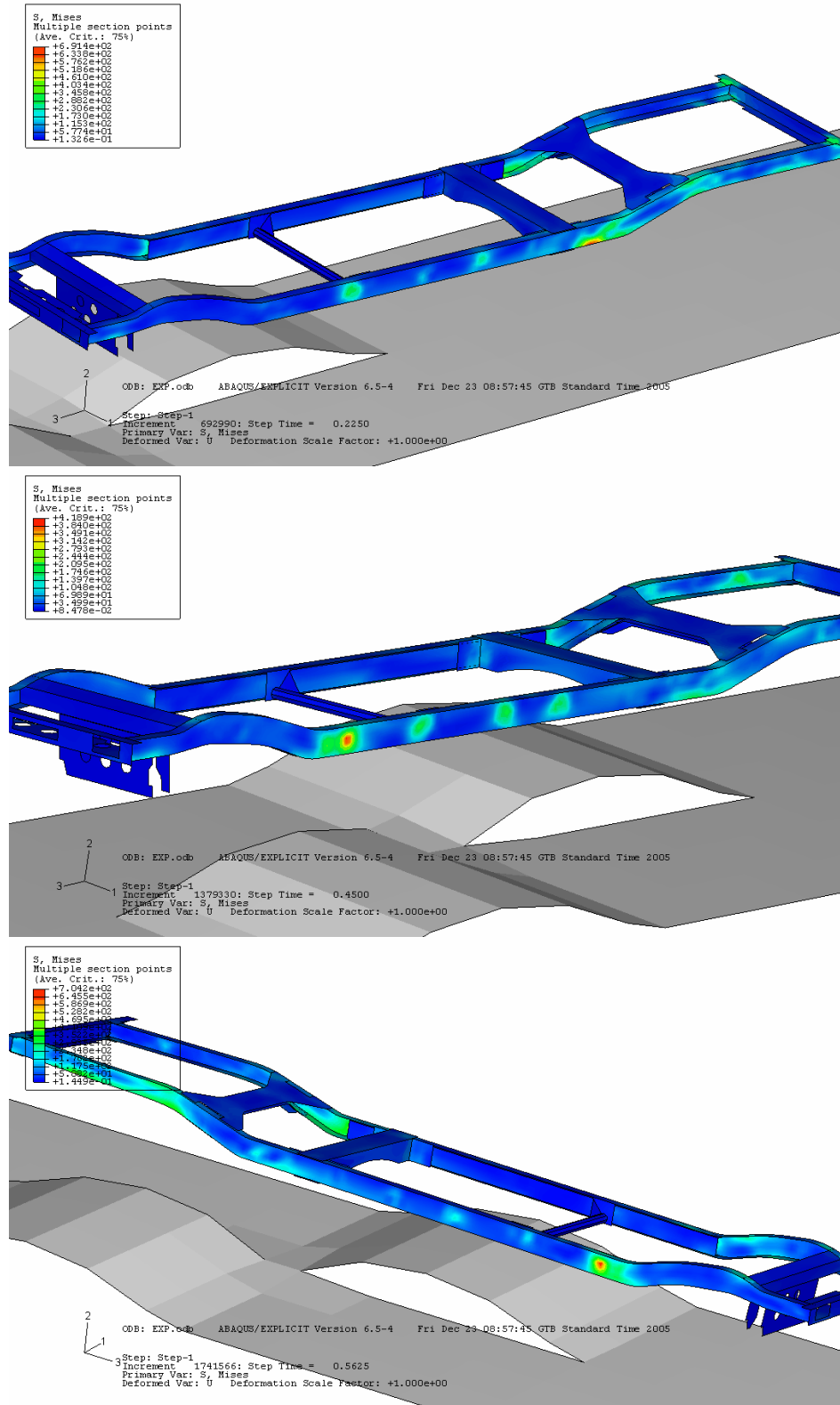


Şekil 5.3.3.7 Çapraz tümsekten geçiş benzetimi

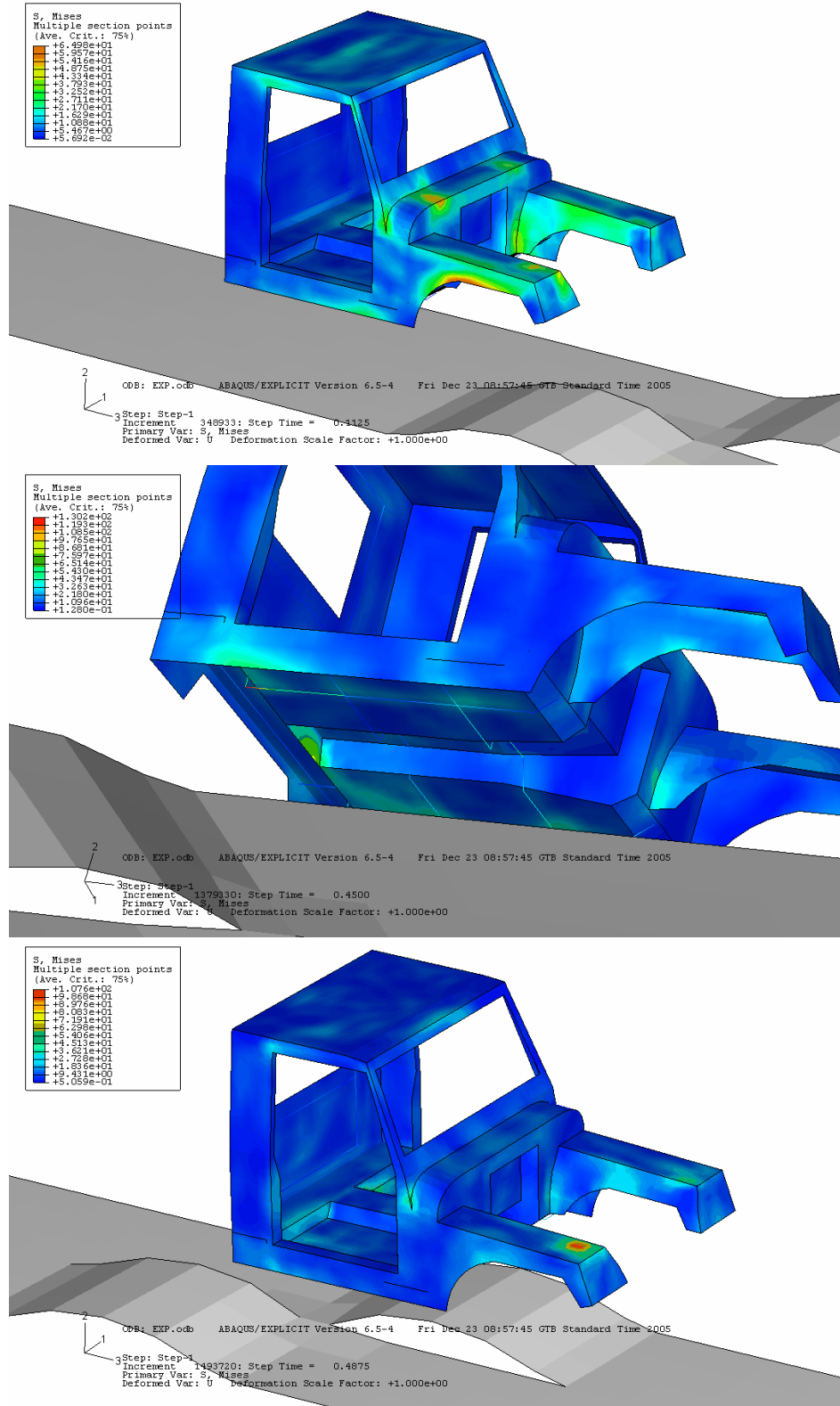
Son benzetimi incelediğimizde, burada yapı üzerinde arka arkaya tersine burulma etkilerini görmekteyiz.

Şasiye bakıldığında burulmadan en fazla etkilenen yerler çapraz traverslerin ana şasi kollarında önde ve arkada bittiği yerlerdir. Çünkü süspansiyon sisteminden gelen yükler sanki şasinin ön ve arka 1/4'lük kısmını tutarcasına şasiyi burulmaya zorlamaktadır.

Karoseriye incelediğimizde ise yine en fazla zorlanan bölgeler çamurluk sacları ve taban sacı altı kuşaklardır. Altındaki şasi burulmaya çalışıldığında doğal olarak sistemin en fazla deforme olan kısımlarından biri olan ön yanak bölgesi zorlanmayı çamurluk saclarına iletecektir. Fakat karoserinin alt arka tarafı ise burulmanın öne göre daha az olduğu bölgeden şasiye bağlı olduğundan arada kalan çamurluk sacları ve taban altı kuşaklar gerilmelerin en fazla olduğu bölgelerdir.



Şekil 5.3.3.8 Çapraz tümsekten geçiş esnasında şasideki gerilme dağılımları



Şekil 5.3.3.9 Çapraz tümsekten geçiş esnasında karoserideki gerilme dağılımları

6. SONUÇLAR

7. Bakım Merkezi Komutanlığı, Tuzla tesislerinde üretilen 4x4 Tayfun Jipin çeşitli arazi koşullarındaki dinamik davranışını incelemek maksadıyla yapılan bu yüksek lisans tez çalışmasında elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Jipin ilk olarak dinamik davranışını incelemek amacıyla hem yedi serbestlik dereceli analitik model, hem de sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Her iki modelde de jipin doğal frekanslarına bakılmıştır. Jipin birinci mod şekli olan düşey modun frekans değeri iki model için birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Fakat kafa vurma ve yana yalpa frekansları için analitik modelde daha düşük değerler elde edilmiştir. Sonuçları irdelediğimizde sonlu elemanlar modelinde kütle dağılımının yayılı olması sistemin kütle matrisini değiştirmektedir. Ayrıca şasinin ve üzerindeki karoserinin elastik olması ve süspansiyon sisteminin bağlantı yerlerinde kabul edilen çok nodlu eşitlikler sistemin katılık matrisini analitik modelden farklı kılmıştır.

Bunun yanında dikkati çeken bir başka husus da, jipin ilk üç doğal frekansının oldukça düşük değerlerde olmasıdır. Arazi koşullarında düşük hızlarda sürüş esnasında yoldan gelen zorlayıcı etkinin frekansının jipin doğal frekanslarından biriyle çakışarak rezonans durumunun yaşanması yüksek bir olasılıktır. Taşıtın kütleli değerleri ve arazi seyir hızları gözönünde tutularak, jipin süspansiyon sisteminde yay ve sönüm parametrelerinde optimizasyona gidilmesi bir çözüm önerisidir.

Çalışmanın en son bölümünde ise jipin çeşitli engellerden geçtiği durumlar için şasi ve karoserinde meydana gelen gerilmeler incelenmiştir. Burada amaç bir sonlu elemanlar modeli oluşturarak, jipte meydana gelen gerilme dağılımının doğru olarak tespit edilebilmesidir. Böylece jipin yapısal elemanlarında hangi bölgelerin kritik olduğu ve bir hasar durumunda yapının neresinde ilk çatlak veya kırılma olacağı tespit edilmiş olmaktadır. Çalışmada gerçekleştirilen benzetimlerin sonuçları ile gerçekte hasarların olduğu bölgelerde mukayeseler yapılmalıdır.

Taşıtın süspansiyon sisteminin sabit akstan eğimli paralel bağlantılı bağımsız süspansiyona dönüştürülmesi ile karın altı yüksekliğinin artması ve arazide seyir konforunun artması yanısıra şaside de daha az yıpranma getirecektir.

KAYNAKLAR

ABAQUS 2005 Kullanıcılar Toplantısı Kitapçığı.

ABAQUS Kullanıcı Kitapları.

Basavapatna P Naganarayana, S Shankar, Viswanath S Bhattachar, Product Dynamic Characteristics and Life Improvement through Spot-Weld Layout and Design Enhancements, Society of Automotive Engineers, #03AE-118

C. F. Beards BSc, PhD, C. Eng, MRAs, MOA, Structural Vibration: Analysis and Damping, Arnold

Chul Kim, Paul I. Ro, (2002), An Accurate Full Car Ride Model Using Model Reducing Techniques, Journal of Mechanical Design, Vol. 124

Cindemir, S., (2002), Gtd Model Askeri Jeep Şasisinin Ve Aktarma Organlarının Sonlu Elemanlar Metoduyla Dinamik Analizleri, Yüksek Lisans Tezi YTÜ.

D. J. Ewins, (2000), Modal Testing Theory Practice And Application, Research Studies Press Ltd.

D. J. Ewins and Harry Zaveri, “A 2-day Introduction to Modal Analysis Course” eğitim notları.

D. J. Ewins, (2000), Basics and State-of-Art of Modal Testing, Sadhana, Vol.25, pp. 207-220

Daniel Heiserer, Mladen Chargin, Juergen Siela, High Performance, Process Oriented, Weld Spot Approach

D. Szöke, S: Horvath, (1998), Dynamic Analysis Of Vehicle Fem System With Discrete Damper, Vehicle System Dynamics Supplement 28, pp. 485-495

Demir, C., (2003), Altı Tahrikli (6x6) Askeri Bir Aracın Silah Atış Pozisyonlarında Ve Arazide Seyir Halinde Dinamik Durumunun İncelenmesi, Doktora Tezi YTÜ.

Erich Schelkle , Herbert Elsenhans, Virtual Vehicle Development in the Concept Stage -Current Status of CAE and Outlook on the Futureby, (2001), 3RD MSC Worldwide Aerospace Conference

Gabriel Alarcón i Rovira, Carlos Sánchez González, (2002), Numerical Correlation of a Body in White Vibration FEM Analysis Using a New Spot-Weld Formulation, 6th International Symposium TRANSPORT NOISE AND VIBRATION

H.R. Harrison, T. Nettleton, Advanced Engineering Dynamics, Arnold

Hayami NAKAGAWA, Yoshinobu MATSUMURA, Shigeru ITO, Akio SHIRATORI Masahiro YOSHIDA, Koji FUJII, Hisao MORI, Satoshi YANAGIMOTO, Kazuhiro UESHIRO, Development of Mitsubishi “i” Body, (2004), MITSUBISHI MOTORS TECHNICAL REIVEW, No.16

J. N. Reddy, (1993), An Introduction To The Finite Element Method, McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS.

Jason C. Brown, A. John Robertson, Stan T. Serpento, Motor Vehicle Structures: Concepts and Fundamentals, SAE International

Jin yi-min, Analysis and Evaluation of Minivan Body Structure Finite Element Methods

Joseph Edward Shigley, Mechanical Engineering Design, McGraw-Hill Book Company

L, J, Zhang, C.,-M. Lee, Y. S. Wang, (2002), A Study On Nonstationary Random Vibration Of A Vehicle In The Time And Frequency Domains, International Journal of Automotive Techlonogy, Vol. 3, No. 3, pp. 101-109

Lei Zuo, Samir A. Nayfeh, (2003), Structured H2 Optimization Of Vehicle Suspensions Based On Multi-Wheel Models, Vehicle System Dynamics, Vol. 40, No. 5, pp. 351-371

Lijun Zhang, Tianxia Zhang, Hui He, (2003), Time-Frequency Analysis for Nonstationary Random Response of A Vehicle, (2003), IMW-Institusmitteilung, Nr.28, pp. 131-136

Lonny L. Thompson, Pipasu H. Soni, Srikanth Raju and E. Harry Law, The Effects of Chassis Flexibility on Roll Stiffness of a Winston Cup Race Car, SAE TECHNICAL PAPER SERIES, 983051

Michael J. Scott and Erik K. Antonsson, (1998), PRELIMINARY VEHICLE STRUCTURE DESIGN APPLICATION, 10th International Conference on Design Theory and Methodology, ASME, Paper Number DETC98/DTM-5646

Park Jeong Gyu, Vibration Simulation Using Matlab.

R. Kashani PhD., State Space Formulation of Linear Systems

R. Keith Mobley, Vibration Fundamentals, Newnes

Sabri Şentürk, Y. Samim Ünlüsoy, (2004), Experimental Determination of Transfer Functions for A Car Body-In-White, The Eleventh International Conference on Machine Design and Production

Tahralı, N., Kaya F., Yüksek İ. ve Güçlü R., (2000), Makina Dinamiği, YTÜ. Basım-Yayım Merkezi, İstanbul.

Thomas D. Gillespie, (1992), Fundamentals of Vehicle Dynamics, Society of Automotive Engineers, Inc.

Yüksek, İ., (1995), Taşıt Titreşimlerinin Optimizasyonu, Doktora Tezi YTÜ.

EKLER

- Ek 1 Yedi Serbestlik Dereceli Taşıt Modelinin Matlab Programı
- Ek 2 Yedi Serbestlik Dereceli Jip Modelinin Birinci Tümsek Modeli Blok Diyagramı
- Ek 3 Yedi Serbestlik Dereceli Jip Modelinin İkinci Tümsek Modeli Blok Diyagramı
- Ek 4 Yedi Serbestlik Dereceli Jip Modelinin Üçüncü Tümsek Modeli Blok Diyagramı
- Ek 5 Yedi Serbestlik Dereceli Jip Modelinin Dördüncü Tümsek Modeli Blok Diyagramı
- Ek 6 Taşıtın Sonlu elemanlar Modelinin Modal Analizi İçin Hazırlanan .Ana Girdi Dosyası
- Ek 7 Taşıtın Sonlu elemanlar Modelinin Gerilme Analizi İçin Hazırlanan Ana Girdi Dosyası

Ek 1 Yedi Serbestlik Dereceli Taşıt Modelinin Matlab Programı

```

clear;
%fiziksel özellikler
%-----
m1=110;
j1=27;
m2=101;
j2=27;
m3=1788;
j3=295;
j4=3395;
k1=180000;
k5=85000;
k7=117000;
c1=0;
c2=0;
c3=0;
c4=0;
c5=2204;
c6=2204;
c7=2204;
c8=2204;
L1=0.394;
L2=0.356;
L3=0.394;
L4=0.356;
L5=0.394;
L6=1.620;
L7=1.445;
k2=k1;
k3=k1;
k4=k1;
k6=k5;
k8=k7;
%-----
i=[1 2 3 4 5 6 7];
j=[m1 m2 m3 j1 j2 j3 j4];
Mi=sparse(i,i,j,7,7);
M=full(Mi);
%-----
K=[(k1+k2+k5+k6) 0 -(k5+k6) (k1-k2+k5-k6)*L1+(k1-k2)*L2 0 (k5-k6)*L5 (k5+k6)*L6
    0 (k3+k4+k7+k8) -(k7+k8) 0 (k4-k3)*(L3+L4)+(k8-k7)*L3 (k7-k8)*L5 -(k7+k8)*L7
    -(k5+k6) -(k7+k8) (k5+k6+k7+k8) (k6-k5)*L1 (k7-k8)*L3 (k8-k5+k6-k7)*L5 (k7+k8)*L7-
    (k5+k6)*L6
    (k1-k2+k5-k6)*L1+(k1-k2)*L2 0 (k6-k5)*L1 (k1+k2)*(L1+L2)^2+(k5+k6)*L1^2 0
    (k6+k5)*L1*L5 (k5-k6)*L1*L6
    0 (k4-k3)*(L3+L4)+(k8-k7)*L3 (k7-k8)*L3 0 (k3+k4)*(L3+L4)^2+(k7+k8)*L3^2 -
    (k7+k8)*L3*L5 (k7-k8)*L3*L7
%-----

```

```

C=[(c1+c2+c5+c6) 0 -(c5+c6) (c1-c2+c5-c6)*L1+(c1-c2)*L2 0 (c5-c6)*L5 (c5+c6)*L6
    0 (c3+c4+c7+c8) -(c7+c8) 0 (c4-c3)*(L3+L4)+(c8-c7)*L3 (c7-c8)*L5 -(c7+c8)*L7
    -(c5+c6) -(c7+c8) (c5+c6+c7+c8) (c6-c5)*L1 (c7-c8)*L3 (c8-c5+c6-c7)*L5 (c7+c8)*L7-
    (c5+c6)*L6
    (c1-c2+c5-c6)*L1+(c1-c2)*L2 0 (c6-c5)*L1 (c1+c2)*(L1+L2)^2+(c5+c6)*L1^2 0
    (c6+c5)*L1*L5 (c5-c6)*L1*L6
    0 (c4-c3)*(L3+L4)+(c8-c7)*L3 (c7-c8)*L3 0 (c3+c4)*(L3+L4)^2+(c7+c8)*L3^2 -
    (c7+c8)*L3*L5 (c7-c8)*L3*L7
    (c5-c6)*L5 (c7-c8)*L5 (c8-c5+c6-c7)*L5 (c6+c5)*L1*L5 -(c7+c8)*L3*L5
    (c5+c6+c7+c8)*L5^2 (c5-c6)*L5*L6+(c8-c7)*L5*L7
    (c5+c6)*L6 -(c7+c8)*L7 (c7+c8)*L7-(c5+c6)*L6 (c5-c6)*L1*L6 (c7-c8)*L3*L7 (c5-
    c6)*L5*L6+(c8-c7)*L5*L7 (c5+c6)*L6^2+(c7+c8)*L7^2];

```

```
%STATE-SPACE
```

```
N=zeros(size(K));
```

```
I=eye(size(K));
```

```
A=[N I;-inv(M)*K,-inv(M)*C];
```

```
B=[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
```

```
    k1/m1 k2/m1 0 0
```

```
    0 0 k3/m2 k4/m2
```

```
    0 0 0 0
```

```
    k1*(L1+L2)/j1 -k2*(L1+L2)/j1 0 0
```

```
    0 0 -k3*(L3+L4)/j2 k4*(L3+L4)/j2
```

```
    0 0 0 0
```

```
    0 0 0 0];
```

```
i=[1 2 3 4 5 6 7];
```

```
j=[1 2 3 4 5 6 7];
```

```
Ci=sparse(i,j,1,7,14);
```

```
C=full(Ci);
```

```
D=zeros(7,4);
```

```
sys=ss(A,B,C,D);
```

```
%-----
```

```
%delta t
```

```
ti=0;
```

```
tn=10;
```

```
n=20000;
```

```
dt=(tn-ti)/n;
```

```
%-----
```

```
%gecikmeler
```

```
v=10;
```

```
delay=(L6+L7)/v
```

```
delay1=1.6/v
```

```
delay2=delay+delay1
```

```

%-----
%DOĞAL FREKANSLARIN BULUNMASI
[p,d]=eig(K,M);
Omega=sqrt(eig(K,M))/2/pi
[vtem,d]=eig(K,M);
[wn,isor]=sort(Omega)
il=length(wn);
for i=1:il
p(:,i)=vtem(:,isor(i));
end
disp('The natural frequencies are (1/sec)')
disp(' ')
wn
disp(' ')
disp('The eigenvectors of the system are')
p
%MAKSİMUM GENLİKLERİN BULUNMASI
maxvek=[];
sayici=0;

for w=0:0.01:100;
    sayici = sayici + 1;

F=[-w*c1 -w*c2 0 0 k1 k2 0 0
    0 0 -w*c3 -w*c4 0 0 k3 k4
    0 0 0 0 0 0 0 0
    -w*c1*(L1+L2) w*c2*(L1+L2) 0 0 k1*(L1+L2) -k2*(L1+L2) 0 0
    0 0 w*c3*(L3+L4) -w*c4*(L3+L4)*(L3+L4) 0 0 -k3*(L3+L4) k4*(L3+L4)
    0 0 0 0 0 0 0 0
    0 0 0 0 0 0 0 0
    k1 k2 0 0 w*c1 w*c2 0 0
    0 0 k3 k4 0 0 w*c3 w*c4
    0 0 0 0 0 0 0 0
    k1*(L1+L2) -k2*(L1+L2) 0 0 w*c1*(L1+L2) -w*c2*(L1+L2) 0 0
    0 0 -k3*(L3+L4) k4*(L3+L4) 0 0 -w*c3*(L3+L4) w*c4*(L3+L4)
    0 0 0 0 0 0 0 0
    0 0 0 0 0 0 0 0];
A=[ K-M*w^2 -C*w
    C*w K-M*w^2];

B=inv(A)*F*5;
maxvek1(sayici,1)=sqrt(B(1,1)^2+B(8,1)^2);
maxvek2(sayici,1)=sqrt(B(2,1)^2+B(9,1)^2);
maxvek3(sayici,1)=sqrt(B(3,1)^2+B(10,1)^2);
maxvek4(sayici,1)=sqrt(B(4,1)^2+B(11,1)^2);
maxvek5(sayici,1)=sqrt(B(5,1)^2+B(12,1)^2);
maxvek6(sayici,1)=sqrt(B(6,1)^2+B(13,1)^2);
maxvek7(sayici,1)=sqrt(B(7,1)^2+B(14,1)^2);
frekans(sayici)=w/2/pi;
end

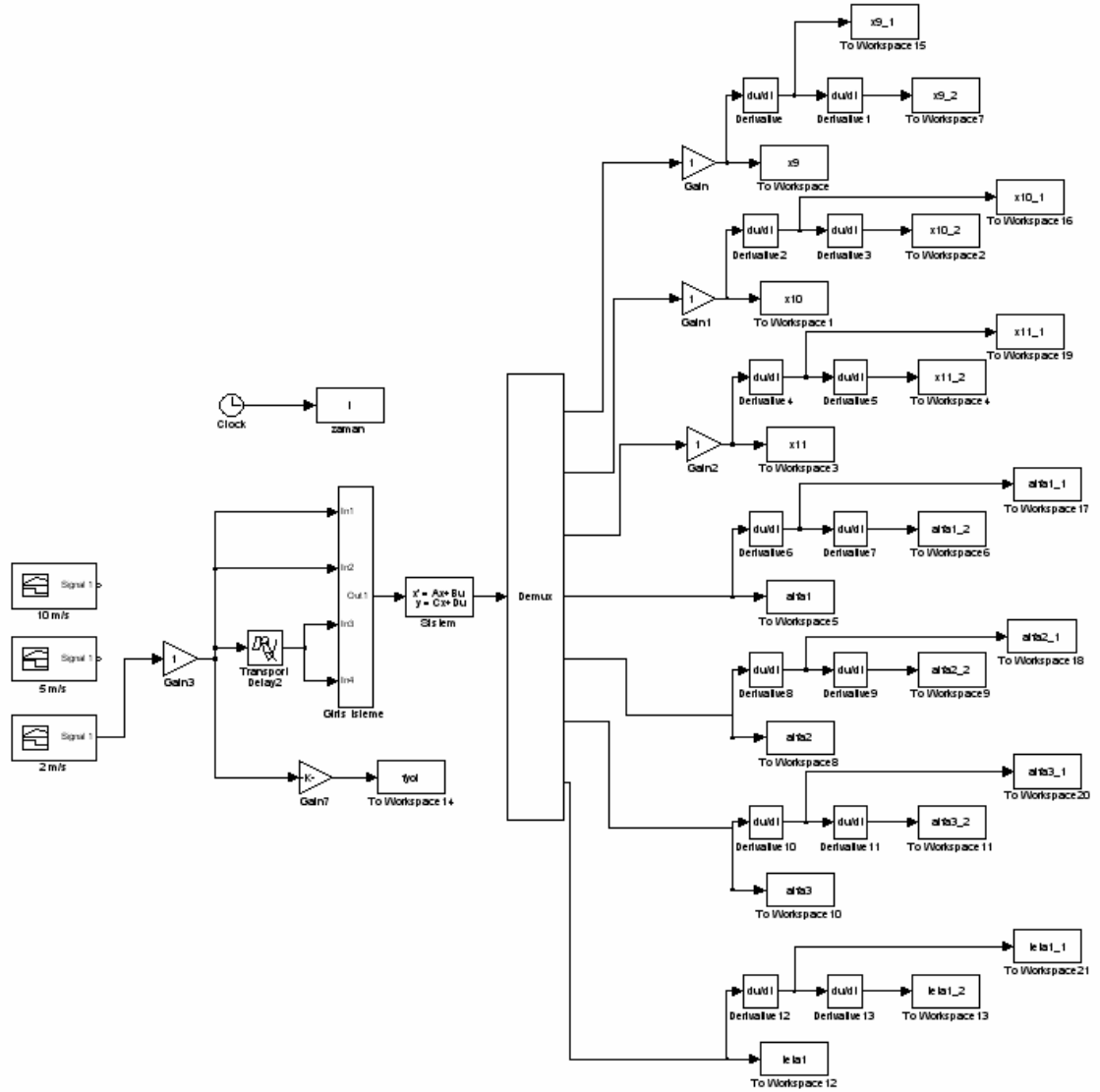
```

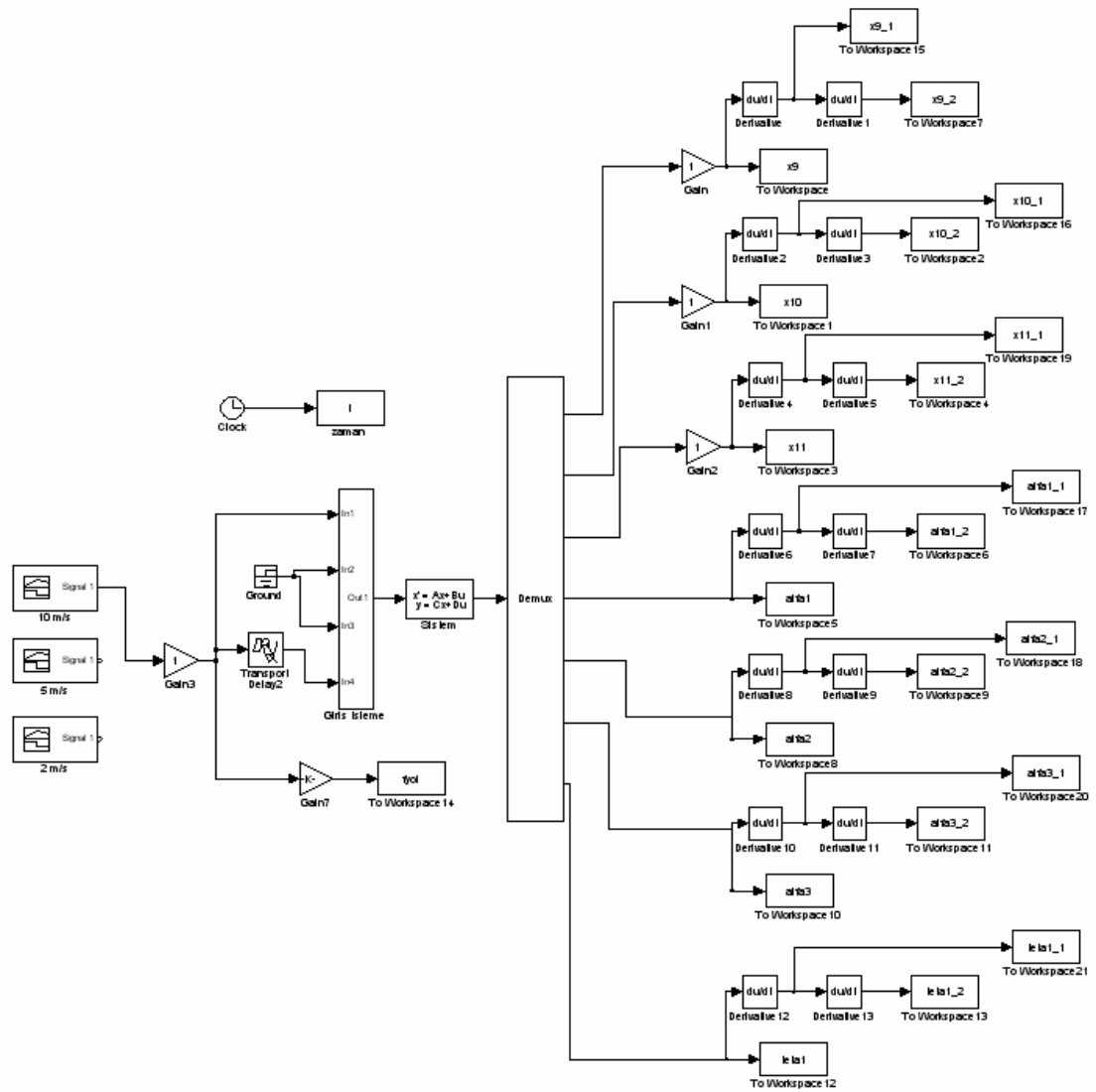
```

figure(1)
semilogy(frekans,maxvek1,'k','linewidth',2)
title('on aks kütlesinin max genliklerinin frekansa göre degisimi'),xlabel('f
(1/s)'),ylabel('maksimum düzeyde (m)')
grid on
figure(2)
semilogy(frekans,maxvek2,'k','linewidth',2)
title('arka aks kütlesinin max genliklerinin frekansa göre degisimi'),xlabel('f
(1/s)'),ylabel('maksimum düzeyde (m)')
grid on
figure(3)
semilogy(frekans,maxvek3,'k','linewidth',2)
title('gövde kütlesinin max genliklerinin frekansa göre degisimi'),xlabel('f
(1/s)'),ylabel('maksimum düzeyde (m)')
grid on
figure(4)
semilogy(frekans,maxvek4,'k','linewidth',2)
title('on aks kütlesinin max genliklerinin frekansa göre degisimi'),xlabel('f
(1/s)'),ylabel('maksimum yalpa (rad)')
grid on
figure(5)
semilogy(frekans,maxvek5,'k','linewidth',2)
title('arka aks kütlesinin max genliklerinin frekansa göre degisimi'),xlabel('f
(1/s)'),ylabel('maksimum yalpa (rad)')
grid on
figure(6)
semilogy(frekans,maxvek6,'k','linewidth',2)
title('gövde kütlesinin max genliklerinin frekansa göre degisimi'),xlabel('f
(1/s)'),ylabel('maksimum yalpa (rad)')
grid on
figure(7)
semilogy(frekans,maxvek7,'k','linewidth',2)
title('gövde kütlesinin max genliklerinin frekansa göre degisimi'),xlabel('f
(1/s)'),ylabel('maksimum kafa vurma (rad)')
grid on

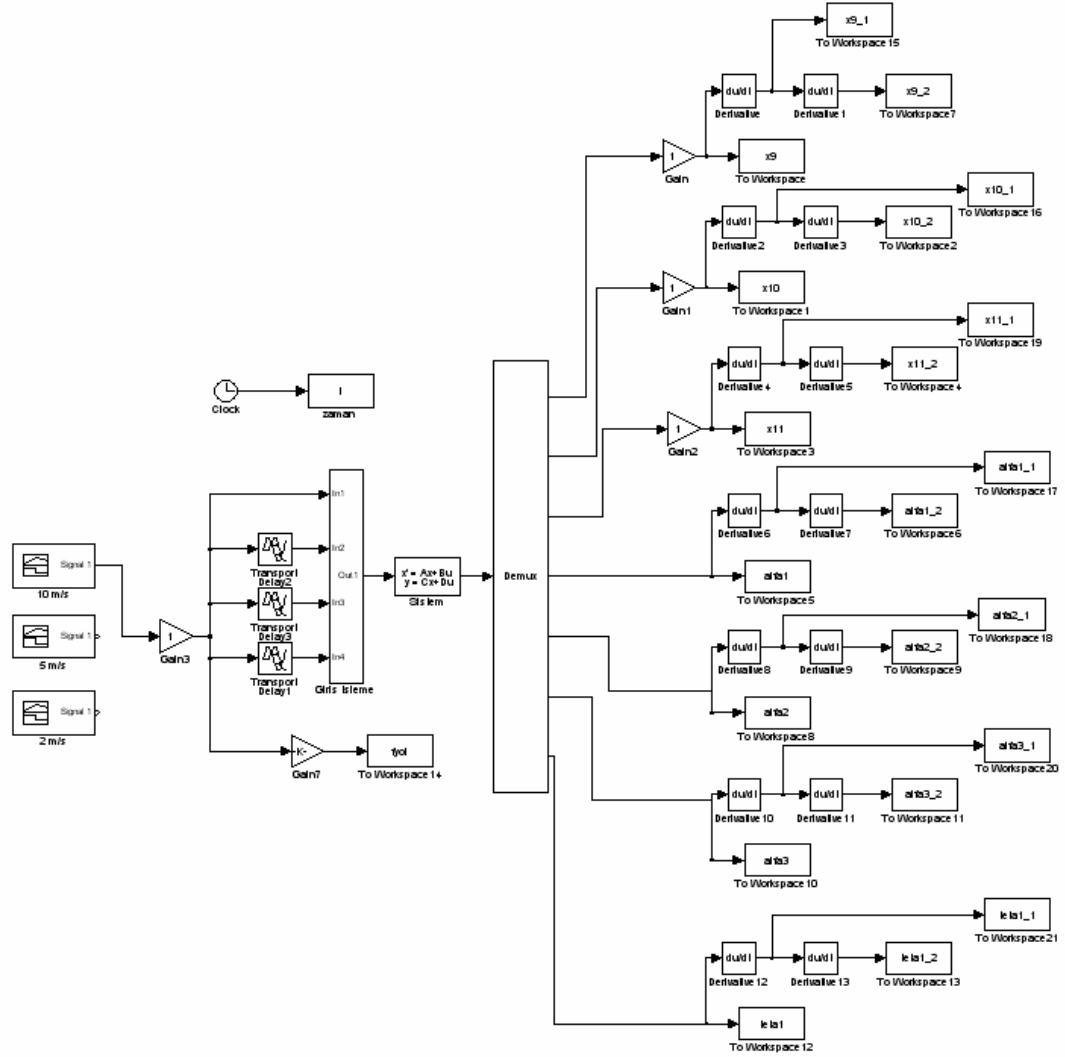
```

Ek 2 Yedi Serbestlik Dereceli Jip Modelinin Birinci Tümsek Modeli Blok Diyagramı

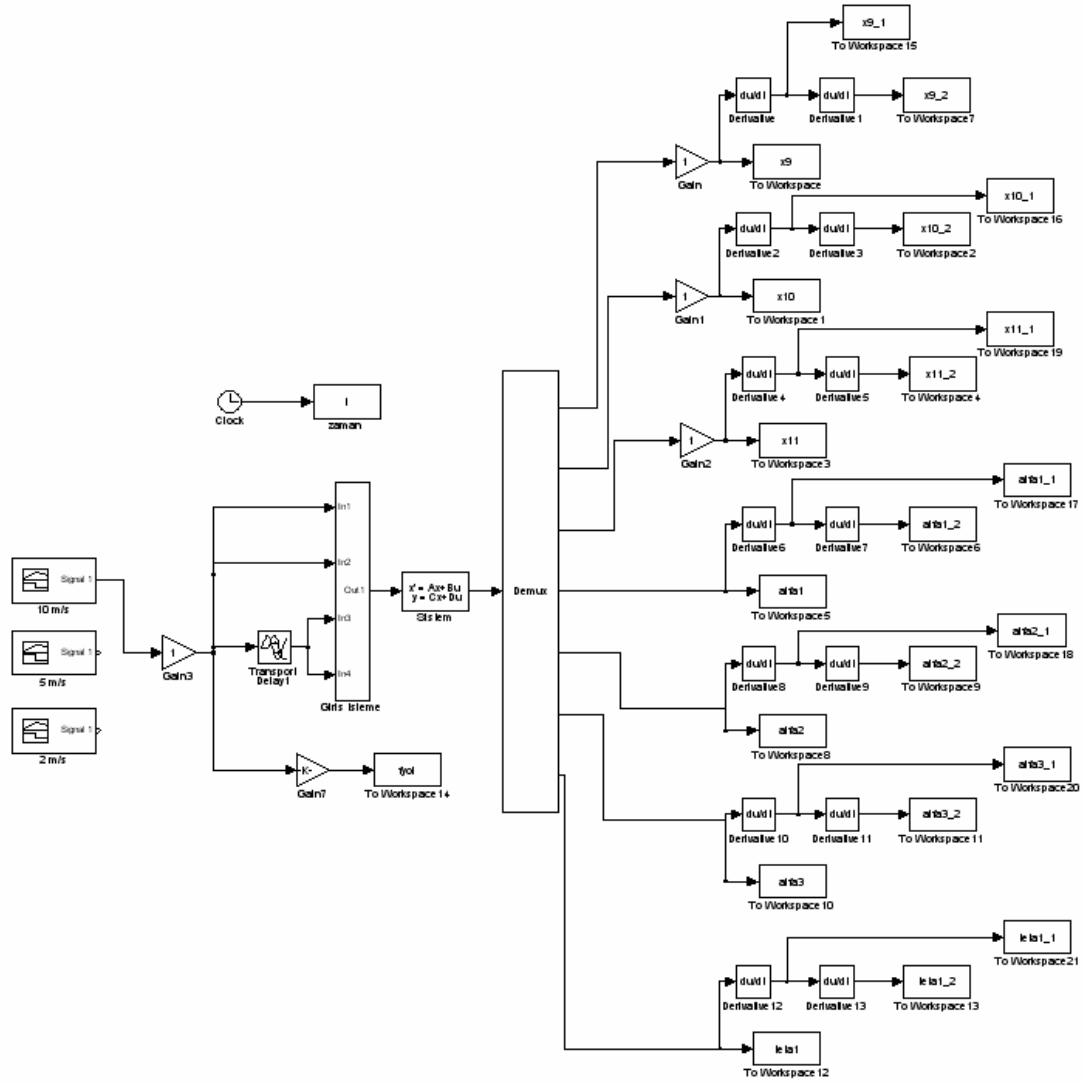




Ek 4 Yedi Serbestlik Dereceli Jip Modelinin Üçüncü Tümsek Modeli Blok Diyagramı



Ek 5 Yedi Serbestlik Dereceli Jip Modelinin Dördüncü Tümssek Modeli Blok Diyagramı



Ek 6 Taşıtın Sonlu elemanlar Modelinin Modal Analizi İçin Hazırlanan Ana Girdi Dosyası

```

*include, input=axle.inp
*include, input=sasi.inp
*include, input=kupa.inp
*****
*include, input=material.inp
*****
** STEP: Step-1
**
*Step, name=Step-1, perturbation
*Frequency, eigensolver=Lanczos, acoustic coupling=off, normalization=displacement,
number interval=1, bias=1.
3, , , ,
**
*****
** BOUNDARY CONDITIONS
**
** Name: BC-1 Type: Displacement/Rotation
*Boundary
301026, 1, 1
301026, 3, 3
301026, 4, 4
301026, 5, 5
301576, 1, 1
301576, 3, 3
301576, 4, 4
301576, 5, 5
** Name: BC-2 Type: Displacement/Rotation
*Boundary
TEKER_ALT, 1, 1
TEKER_ALT, 2, 2
TEKER_ALT, 3, 3
TEKER_ALT, 4, 4
TEKER_ALT, 5, 5
TEKER_ALT, 6, 6
*nset, nset=mak
mak1,mak2,mak3,mak4,mak5,mak6,mak7,mak8
** Name: BC-3 Type: Displacement/Rotation
*Boundary
mak, 1, 1
mak, 3, 3
mak, 5, 5
*****
** OUTPUT REQUESTS
**
*Restart, write, frequency=0
**

```

** FIELD OUTPUT: F-Output-1

**

*Output, field, variable=PRESELECT

*End Step

Ek 7 Taşıtın Sonlu elemanlar Modelinin Gerilme Analizi İçin Hazırlanan Ana Girdi Dosyası

```

*include, input=wr_03.inp
*include, input=axle.inp
*include, input=sasi.inp
*include, input=kupa.inp
*****
*include, input=material.inp
*include, input=interaction_prop.inp
*****
** STEP: Step-1
**
*Step, name=Step-1
*Dynamic, Explicit, element by element
, 0.56
*Bulk Viscosity
0.06, 1.2
*****
*include, input=interaction.inp
*****
** BOUNDARY CONDITIONS
**
** Name: BC-1 Type: Displacement/Rotation
*Boundary
301026, 1, 1
301026, 3, 3
301026, 4, 4
301026, 5, 5
301576, 1, 1
301576, 3, 3
301576, 4, 4
301576, 5, 5
** Name: BC-2 Type: Displacement/Rotation
*Boundary
TEKER_ALT, 1, 1
TEKER_ALT, 3, 3
TEKER_ALT, 4, 4
TEKER_ALT, 5, 5
TEKER_ALT, 6, 6
*nset, nset=mak
mak1,mak2,mak3,mak4,mak5,mak6,mak7,mak8
** Name: BC-3 Type: Displacement/Rotation
*Boundary
mak, 1, 1
mak, 3, 3
mak, 5, 5
** Name: BC-4 Type: Displacement/Rotation
*Boundary
road, 1, 1
road, 2, 2

```

```

road, 4, 4
road, 5, 5
road, 6, 6
** Name: BC-4 Type: Velocity/Angular velocity
*Boundary, type=VELOCITY
road, 3, 3, -8200.
*****
*ELSET, ELSET=GRAV_ALL
fwd_axle_MASS,rear_axle_MASS,wheel
depo,transfer,yolcu,yuk,engine_MASS
sasi_elements1,sasi_elements2
kupa_elements1,kupa_elements2
** LOADS
**
** Name: Load-1 Type: Gravity
*Dload
GRAV_ALL, GRAV, 9810., 0., -1., 0.
*****
*Restart, write, number interval=1, time marks=NO
*Output, field, variable=PRESELECT
*Nset, nset=yerdegisim
300525
300530
301051
301060
500001
500002
500003
500004
*Output, history, frequency=1
*Node Output, nset=yerdegisim
U1,U2,U3,UR1,UR2,UR3
*End Step

```

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 03.04.1981

Doğum yeri İstanbul

Lise 1995–1999 Fenerbahçe Lisesi (Yabancı Dil Ağırlıklı Bölüm)

Lisans 1999–2003 Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fak.
Makine Mühendisliği BölümüYüksek Lisans 2003–2005 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı, Konstrüksiyon Programı**Çalıştığı kurumlar**2005-Devam ediyor. İ.T.Ü.-Rotorlu Hava Araçları Tasarım ve
Mükemmeliyet Merkezi, Proje Mühendisi