

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**4 TEKERLEK TAHRİKLİ (4x4) ve SİLAH PLATFORMLU
ASKERİ JİPİN DİNAMİK ANALİZİ**

Makine Müh. Ali EREN

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Makine Teorisi ve Kontrol Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Rahmi GÜÇLÜ

Doç. Dr. İbrahim ŞENOL
Doç. Dr. İsmail YÜKSEK

İSTANBUL, 2005

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
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 MK-19 Bombaatar Silah Aracının ve Problemin Tanımlanması.....	1
1.3 Taşıt Titreşimleri	3
1.3.1 Taşıt Titreşime Neden Olan Faktörler	3
1.3.2 Taşıt Titreşim Karakteristiğini Etkileyen Faktörler.....	3
1.3.3 Taşıt Titreşimlerinin Ele Alınması ve Analizi	3
1.4 Taşıtların Fiziksel ve Matematik Modellenmesi	4
1.4.1 Çeyrek Taşıt Modeli	5
1.4.2 Yarım Taşıt Modeli.....	5
1.4.3 Tam Taşıt Modeli	6
2. YEDİ VE DOKUZ SERBESTLİK DERECELİ JİP MODELLERİ.....	7
2.1 Yedi Serbestlik Dereceli Jip Modeli ve Hareket Denklemleri.....	8
2.1.1 Yedi Serbestlik Dereceli Jipin Kritik Frekansları	12
2.2 Dokuz Serbestlik Dereceli Jip Modeli ve Hareket Denklemleri	12
2.2.1 Dokuz Serbestlik Dereceli Sönümsüz Platformlu Jipin Hareket Denklemleri	14
2.2.2 Dokuz Serbestlik Dereceli Sönümlü Platformlu Jipin Hareket Denklemleri	18
2.2.3 Dokuz Serbestlik Dereceli Jipin Kritik Frekansları.....	19
2.2.4 Hareket Denklemlerinin Durum Uzayı Şekline Dönüştürülmesi	19
3. JİP MODELLERİNİN SİMÜLASYONU	22
3.1 Yedi Serbestlik Dereceli Jip Modelinin Simülasyonu.....	23
3.1.1 Yedi Serbestlik Dereceli Yüksüz Model.....	23
3.1.2 Yedi Serbestlik Dereceli Yüklü Model.....	27
3.1.3 Yedi Serbestlik Dereceli Aşırı Yüklü Model	30
3.2 Dokuz Serbestlik Dereceli Jip Modelinin Simülasyonu	34
3.2.1 Dokuz Serbestlik Dereceli Yüksüz Model.....	34
3.2.1.1 Dokuz Serbestlik Dereceli Yüksüz, Sönümsüz Platformlu Model	34
3.2.1.2 Dokuz Serbestlik Dereceli Yüksüz, Sönümlü Platformlu Model.....	39
3.2.2 Dokuz Serbestlik Dereceli Yüklü Model.....	44

3.2.2.1	Dokuz Serbestlik Dereceli Yüklü, Sönümsüz Platformlu Model.....	44
3.2.2.2	Dokuz Serbestlik Dereceli Yüklü, Sönümlü Platformlu Model.....	49
3.2.3	Dokuz Serbestlik Dereceli Aşırı Yüklü Model	54
3.2.3.1	Dokuz Serbestlik Dereceli Aşırı Yüklü, Sönümsüz Platformlu Model	54
3.2.3.2	Dokuz Serbestlik Dereceli Aşırı Yüklü, Sönümlü Platformlu Model	59
4.	SİLAH ATIŞ HALİNDEYKEN KUPALANIN EMNİYET DURUMU.....	65
5.	JİP ŞASİSİNİN ÇEŞİTLİ DURUMLARDAKİ GERİLME ANALİZLERİ.....	67
6.	SONUÇLAR	70
	KAYNAKLAR.....	72
	EKLER.....	74
	Ek 1 Yedi Serbestlik Dereceli Jipin Lagrange Denklemleri	75
	Ek 2 Yedi Serbestlik Dereceli Jipin Diferansiyel Denklemleri.....	77
	Ek 3 Dokuz Serbestlik Dereceli Jipin Lagrange Denklemleri	78
	Ek 4 Dokuz Serbestlik Dereceli Jipin Diferansiyel Denklemleri.....	80
	Ek 5 Yedi Serbestlik Dereceli Jip Modelinin Matlab® Programı.....	81
	Ek 6 Dokuz Serbestlik Dereceli Jip Modelinin Matlab® Programı	83
	Ek 7 Yedi Serbestlik Dereceli Jip Modelinin Blok Diyagramları	85
	Ek 8 Dokuz Serbestlik Dereceli Jip Modelinin Blok Diyagramları	86
	ÖZGEÇMİŞ.....	87

SİMGE LİSTESİ

A, B, C, D	: Gövde – Aks Bağlantı noktaları
c_1, c_2, c_3, c_4	: Ön ve arka süspansiyon sistemlerine ait sönüm katsayıları
c_8	: Platforma ilave edilen sönümleyicinin sönüm katsayısı
$c_{t_1}, c_{t_2}, c_{t_3}, c_{t_4}$	: Ön ve arka lastik tekerleklere ait sönüm katsayıları
E_c	: Toplam sönüm enerjisi
E_k	: Toplam kinetik enerji
E_p	: Toplam potansiyel enerji
F	: Silah geri tepme kuvveti
F_d	: Silah geri tepme kuvvetinin düşey bileşeni
F_y	: Silah geri tepme kuvvetinin yatay bileşeni
F_t	: Tekerleğe etkiyen tepki kuvveti
h	: Silahın gövdeden yüksekliği
J_θ	: Kafa vurma (z) eksenindeki atalet momenti
J_α	: Yalpalama (y) eksenindeki atalet momenti
k_1, k_2, k_3, k_4	: Ön ve arka süspansiyon sistemlerine ait yay katsayıları
$k_{t_1}, k_{t_2}, k_{t_3}, k_{t_4}$	: Ön ve arka lastik tekerleklere ait yay katsayıları
k_8	: Platformun yay katsayısı
k_9	: Kupala milinin yay katsayısı
L_1, L_2, L_3, L_4	: Aks arası mesafeler
L_5	: Kupala ağırlık merkezinin taşıt gövdesinin ağırlık merkezine olan mesafesi
m_1, m_2, m_3, m_4	: Ön ve arka aks – tekerlek kütleleri
m_5	: Taşıt gövdesinin kütlesi
m_8	: Platformun kütlesi
m_9	: Silahın kütlesi
M_θ	: Taşıtı kafa vurma hareketine zorlayan moment (silahtan kaynaklanan)
M_α	: Taşıtı yalpa hareketine zorlayan moment (silahtan kaynaklanan)
Q_j	: Genelleştirilmiş zorlayıcı etkiler
R_t	: Tekerlek yarıçapı
x_1, x_2, x_3, x_4	: Tekerleklerin titreşim genlikleri
x_5	: Gövdenin titreşim genliği
$x_6 = \theta$	: Kafa vurma titreşim genliği
$x_7 = \alpha$	: Yalpalama titreşim genliği
x_8	: Kupalanın titreşim genliği
x_9	: Silahın titreşim genliği
x_A, x_B, x_C, x_D	: Gövde – Aks Bağlantı noktalarının düşey hareketleri
x_j	: Genelleştirilmiş koordinatlar
$x_{y_1}, x_{y_2}, x_{y_3}, x_{y_4}$	: Yol fonksiyonları (pürüzlülükleri)
y_{max}	: Tümsek yüksekliği

v	: Taşıtın seyir hızı
w	: Zorlayıcı frekans
w_n	: Doğal frekans
ϕ	: Savrulma titreşim genliği
γ	: Namlu eğimi (atış açısı)
ψ	: Namlu yönü (dönüş açısı)



KISALTMA LİSTESİ

7SD	Yedi Serbestlik Dereceli
9SD	Dokuz Serbestlik Dereceli
AYK	Aşırı Yüklü Ağırlık (Jipe ait)
CAD	Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
FEM	Finite Elements Method (Sonlu Elemanlar Metodu)
SNM	Sönüm Elemanı İlave Edilmiş
SNMZ	Sönüm Elemanı İlave Edilmemiş
YKL	Yüklü Ağırlık (Jipe ait)
YKZ	Yüksüz Ağırlık (Jipe ait)



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 4x4 Tayfun MK-19 bomba atar silah aracının önden görünüşü	2
Şekil 1.2 4x4 Tayfun MK-19 bomba atar silah aracının soldan görünüşü	2
Şekil 1.3 Taşıt gövdesinin titreşim hareketleri	4
Şekil 1.4 Çeyrek taşıt modeli	5
Şekil 1.5 Yarım taşıt modeli	5
Şekil 1.6 Tam taşıt modeli	6
Şekil 2.1 Yedi serbestlik dereceli jip modeli	8
Şekil 2.2 Dokuz serbestlik dereceli jip modeli	12
Şekil 2.3 Silahın geri tepme kuvvetinin bileşenleri	13
Şekil 2.4 Dokuz serbestlik dereceli sönümlü platformlu jip modeli	18
Şekil 3.1 Adım yol fonksiyonu	22
Şekil 3.2 Jipin ön tekerleklerinin aynı anda engele girmesi (düz) durumu	22
Şekil 3.3 Jipin ön tekerleklerinin zaman farkıyla engele girmesi (çapraz) durumu	23
Şekil 3.4 Yedi serbestlik dereceli yüksüz jipin engele düz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları	23
Şekil 3.5 Yedi serbestlik dereceli yüksüz jipin engele düz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları	24
Şekil 3.6 Yedi serbestlik dereceli yüksüz jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme ve ivme zaman cevapları	24
Şekil 3.7 Yedi serbestlik dereceli yüksüz jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları	25
Şekil 3.8 Yedi serbestlik dereceli yüksüz jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları	25
Şekil 3.9 Yedi serbestlik dereceli yüksüz jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme ve ivme zaman cevapları	26
Şekil 3.10 Yedi serbestlik dereceli yüksüz jipin gövdesinin yerdeğiştirme ve ivme frekans cevapları	26
Şekil 3.11 Yedi serbestlik dereceli yüklü jipin engele düz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları	27
Şekil 3.12 Yedi serbestlik dereceli yüklü jipin engele düz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları	27
Şekil 3.13 Yedi serbestlik dereceli yüklü jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme ve ivme zaman cevapları	28
Şekil 3.14 Yedi serbestlik dereceli yüklü jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları	28
Şekil 3.15 Yedi serbestlik dereceli yüklü jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları	29
Şekil 3.16 Yedi serbestlik dereceli yüklü jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme ve ivme zaman cevapları	29
Şekil 3.17 Yedi serbestlik dereceli yüklü jipin gövdesinin yerdeğiştirme ve ivme frekans cevapları	30
Şekil 3.18 Yedi serbestlik dereceli aşırı yüklü jipin engele düz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları	30
Şekil 3.19 Yedi serbestlik dereceli aşırı yüklü jipin engele düz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları	31
Şekil 3.20 Yedi serbestlik dereceli aşırı yüklü jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme ve ivme zaman cevapları	31
Şekil 3.21 Yedi serbestlik dereceli aşırı yüklü jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları	32

Şekil 3.22 Yedi serbestlik dereceli aşırı yüklü jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları.....	32
Şekil 3.23 Yedi serbestlik dereceli aşırı yüklü jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme ve ivme zaman cevapları.....	33
Şekil 3.24 Yedi serbestlik dereceli aşırı yüklü jipin gövdesinin yerdeğiştirme ve ivme frekans cevapları	33
Şekil 3.25 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümsüz platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları.....	34
Şekil 3.26 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümsüz platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları	35
Şekil 3.27 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümsüz platformlu jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme zaman cevapları.....	35
Şekil 3.28 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümsüz platformlu jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin ivme zaman cevapları	36
Şekil 3.29 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları.....	36
Şekil 3.30 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları	37
Şekil 3.31 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme zaman cevapları.....	37
Şekil 3.32 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin ivme zaman cevapları	38
Şekil 3.33 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümsüz platformlu jipin gövdesinin yerdeğiştirme frekans cevapları	38
Şekil 3.34 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümsüz platformlu jipin gövdesinin ivme frekans cevapları	39
Şekil 3.35 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümlü platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları.....	39
Şekil 3.36 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümlü platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları	40
Şekil 3.37 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümlü platformlu jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme zaman cevapları.....	40
Şekil 3.38 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümlü platformlu jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin ivme zaman cevapları	41
Şekil 3.39 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları.....	41
Şekil 3.40 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları	42
Şekil 3.41 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme zaman cevapları.....	42
Şekil 3.42 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin ivme zaman cevapları	43
Şekil 3.43 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümlü platformlu jipin gövdesinin yerdeğiştirme frekans cevapları	43
Şekil 3.44 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümlü platformlu jipin gövdesinin ivme frekans cevapları	44
Şekil 3.45 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları.....	44
Şekil 3.46 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları	45
Şekil 3.47 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele düz girmesi	

durumunda gövdenin yerdeğiştirme zaman cevapları.....	45
Şekil 3.48 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin ivme zaman cevapları	46
Şekil 3.49 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları.....	46
Şekil 3.50 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları	47
Şekil 3.51 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme zaman cevapları.....	47
Şekil 3.52 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin ivme zaman cevapları	48
Şekil 3.53 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümsüz platformlu jipin gövdesinin yerdeğiştirme frekans cevapları	48
Şekil 3.54 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümsüz platformlu jipin gövdesinin ivme frekans cevapları	49
Şekil 3.55 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümlü platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları.....	49
Şekil 3.56 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümlü platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları	50
Şekil 3.57 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümlü platformlu jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme zaman cevapları.....	50
Şekil 3.58 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümlü platformlu jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin ivme zaman cevapları	51
Şekil 3.59 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları.....	51
Şekil 3.60 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları	52
Şekil 3.61 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme zaman cevapları.....	52
Şekil 3.62 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin ivme zaman cevapları	53
Şekil 3.63 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümlü platformlu jipin gövdesinin yerdeğiştirme frekans cevapları	53
Şekil 3.64 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümlü platformlu jipin gövdesinin ivme frekans cevapları	54
Şekil 3.65 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları	54
Şekil 3.66 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları.....	55
Şekil 3.67 Şekil 3.64 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme zaman cevapları.....	55
Şekil 3.68 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin ivme zaman cevapları.....	56
Şekil 3.69 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları	56
Şekil 3.70 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları.....	57
Şekil 3.71 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme zaman cevapları	57
Şekil 3.72 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin ivme zaman cevapları.....	58

Şekil 3.73 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümsüz platformlu jipin gövdesinin yerdeğiştirme frekans cevapları	58
Şekil 3.74 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümsüz platformlu jipin gövdesinin ivme frekans cevapları	59
Şekil 3.75 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümlü platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları.....	59
Şekil 3.76 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümlü platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları	60
Şekil 3.77 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümlü platformlu jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme zaman cevapları.....	60
Şekil 3.78 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümlü platformlu jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin ivme zaman cevapları	61
Şekil 3.79 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları	61
Şekil 3.80 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları.....	62
Şekil 3.81 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme zaman cevapları	62
Şekil 3.82 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin ivme zaman cevapları.....	63
Şekil 3.83 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümlü platformlu jipin gövdesinin yerdeğiştirme frekans cevapları	63
Şekil 3.84 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümlü platformlu jipin gövdesinin ivme frekans cevapları	64
Şekil 4.1 Kupalanın emniyet katsayısının atış durumlarına göre grafiksel değişimi	66
Şekil 4.2 Kupala milinde 60° ve 0 ° (sırasıyla) namlu açılarındaki gerilmeler	66
Şekil 5.1 Jipin yüksüz durumunda şaside meydana gelen gerilmeler.....	67
Şekil 5.2 Jipin yüklü durumunda şaside meydana gelen gerilmeler.....	68
Şekil 5.3 Ağırlığın tekil yük olarak etkimesi durumunda şaside meydana gelen gerilmeler...	68
Şekil 5.4 Jip 20 km/h hızla yüksüz seyrederken ön sağ tekerleğinin 20 cm yüksekliğindeki tümseğe çıkması durumundaki gerilmeler.....	69

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Yedi serbestlik dereceli jipin doğal frekansları.....	12
Çizelge 2.2 Dokuz serbestlik dereceli jipin doğal frekansları.....	19
Çizelge 4.1 Kupalanın emniyet katsayısının atış durumlarına göre değişimi	65



ÖNSÖZ

Bu çalışma, 7. Bakım Merkezi Komutanlığı, Tuzla Fabrikası'nda imal edilen 4x4 Tayfun MK-19 Bomba atar Silah Aracının seyir halindeki dinamik davranışını incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Jip, bilgisayar ortamında yedi ve dokuz serbestlik dereceli iki model olarak her bir seferinde farklı yük durumları için analiz edilmiştir. Analiz programı olarak Mathworks firmasının Matlab® ve Simulink® yazılımları kullanılmıştır. Hareket denklemleri ise Durum-Uzay şeklinde kullanılmıştır. Araç durur vaziyette ve seyir halinde iken şaside; silah atış yaparken, kupalada meydana gelen gerilmeler FEM kullanılarak araştırılmıştır. İlgili çekici bulgulara ulaşılmış, sonuçlar kısımda bunlara yer verilmiştir. Gizlilik ilkesi sebebiyle jipin bazı teknik değerleri, tez metni kapsamına alınmamış olup sadece katalog bilgilerine yer verilmiştir.

Tez çalışmam boyunca, bilgi, tecrübe ve sabırlarını eksik etmeyen değerli hocalarım Prof. Necati Tahralı ve Yrd. Doç. Dr. Rahmi Güçlü'ye, jip ile ilgili teknik bilgiyi sağlayan Alb. Yük. Müh. Serdar Ayaroğlu ile tüm fabrika personeline teşekkürlerimi sunarım.



ÖZET

Taşıt titreşimlerinin araştırılması, taşıt tasarımında, gün geçtikçe önemi artan bir konu olmuştur. Artan hız ve konfor gereksinimleri bunu zorunlu kılmaktadır. Taşıt titreşimlerinin matematik modeller üzerinden gidilerek teorik olarak çözümlenmesi ise bilgisayar teknolojisine paralel bir biçimde gelişimini sürdürmektedir.

Bu çalışmada, 7. Bakım Merkezi Komutanlığı, Tuzla Fabrikası'nda imal edilen 4x4 Tayfun MK-19 Bomba atar Silah Aracının dinamik davranışı ele alınmıştır. Jipin silah platformsuz hali 7SD taşıt modeli olarak, silah platformlu hali ise 9SD olarak modellenmiştir. Modellerin oluşturulmasında Lagrange denklemleri kullanılmış olup, denklemler Durum-Uzay (state-space) şeklinde verilmiştir. Analizler, bilgisayar ortamında, Mathwoks firmasının Matlab® ve Simulink® yazılımları yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Yedi serbestlik dereceli (tam) taşıt modelinin simülasyonu sonucunda iyi cevaplar elde edilmiştir. Fakat jipin mevcut halinin modeli olan dokuz serbestlik dereceli modelde sistem davranışının bozulduğu görülmüştür. Bu sebeple, platform altına bir sönümleyici yerleştirilmesi önerilmiş ve bu yeni duruma uyan bir model de analize katılmıştır.

Son olarak, silah atış yaparken kupalada ve araç durur vaziyette ve seyir halinde iken şaside meydana gelen gerilmeler, sonlu elemanlar metodu kullanılarak araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dinamik analiz, taşıt titreşimleri, tam taşıt modeli, durum-uzayı, sonlu elemanlar metodu

ABSTRACT

Researching of vehicle vibrations in vehicle design has become an important subject recently. Growing requests of speed and comfort make it a must. Analyzing vehicle vibrations via mathematical models has been improving consequently with the computer technologies.

In this work, the dynamic response of the 4WD Tayfun MK-19 automatic grenade gun vehicle which is produced by 7. Bakım Merkezi Komutanlığı, Tuzla Plant, was searched. The state of the jeep not being equipped with a gun platform was modeled via the full vehicle model. The gun platform equipped jeep was modeled in nine degrees of freedom. During model settling process, Lagrange equations were used. The equations were presented in State-Space form. Analysis was made in computer environment by using Matlab® and Simulink® software which are belonging to Matworks co.

The simulation of the full vehicle model resulted good responses. But, the nine degrees of freedom jeep model resulted dissatisfying responses. For this reason, placing a damping component under the platform was suggested. And a model suits to that situation was included in the analysis.

Finally, the stresses on the cup due to firing gun and the stresses on the chassis consist of still body of the vehicle and the cruising body of the vehicle were analyzed separately via finite elements method.

Keywords: Dynamic analysis, vehicle vibrations, full vehicle model, state-space, finite elements method

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.

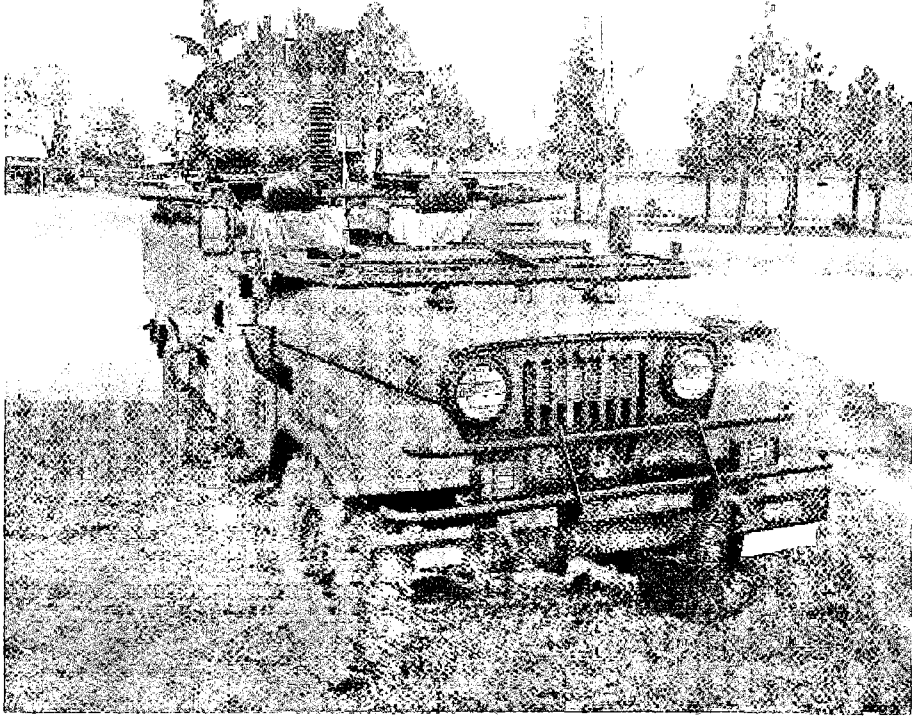
Türk Otomotiv Sanayisinin ilk tesisi olan fabrika, 1971 yılında Milli Savunma Bakanlığı tarafından satın alınarak 1013. Tekerlekli Araç Yenileştirme Yedek Parça ve Montaj Fabrikası adı altında faaliyete geçmiştir.

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

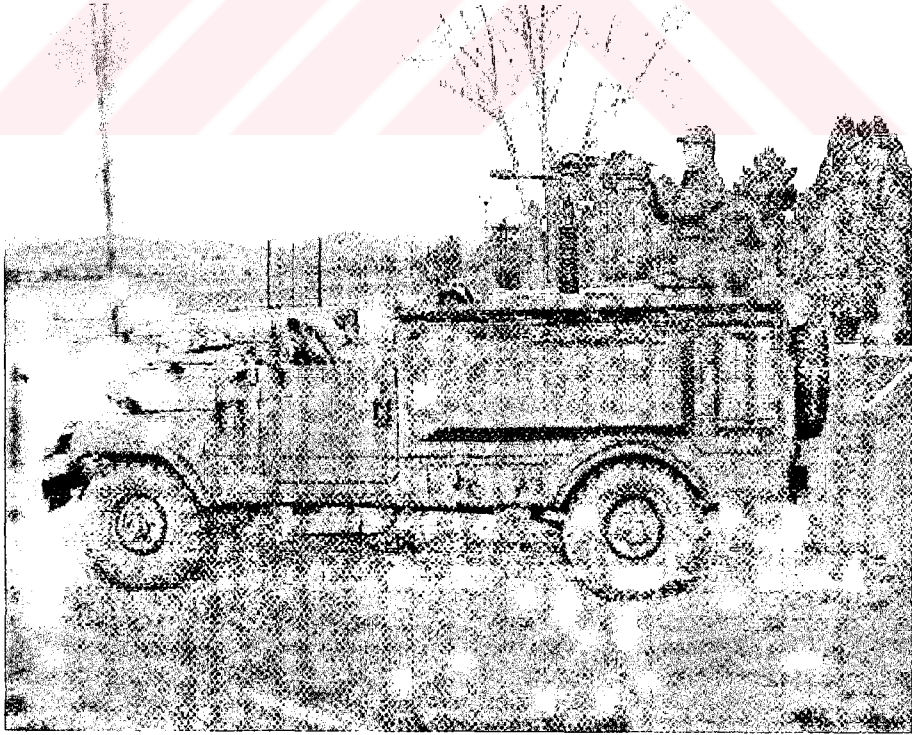
1.2 4x4 Tayfun MK-19 Bombaatar Silah Aracının ve Problemin Tanımlanması

Bu tez kapsamında, 7. Bakım Merkezi Komutanlığı, Tuzla Fabrikası’nda imal edilen 4x4 Tayfun MK-19 Bombaatar Silah Aracının seyir halindeki dinamik davranışının incelenmesi ele alınacaktır (Şekil 1.1 ve 1.2). Araç durur vaziyette ve seyir halinde iken şaside ve silah atış yaparken kupalada meydana gelen gerilmeler üzerinde de durulacaktır. Öncelikle jipin taşıt modelleri oluşturulacak ardından da matematik olarak modelleneyecektir. 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



Şekil 1.1 4x4 Tayfun MK-19 bomba atar silah aracının önden görünüşü



Şekil 1.2 4x4 Tayfun MK-19 bomba atar silah aracının soldan görünüşü

1.3 Taşıt Titreşimleri

Birer dinamik sistem olan taşıtlarda, amaçlardan biri de taşıtta meydana gelen titreşimlerin minimuma indirilmesidir. Bir taşıtta titreşimler çok değişik sebeplerden dolayı hâsıl olur. Keza bu titreşimlerin karakteristikleri çok değişik faktörlerden etkilenir. Çok nadir durumlar dışında titreşimleri meydana getiren etkiler bertaraf edilemez fakat titreşim karakteristiğini etkileyen faktörler iyi araştırılır ve anlaşılırsa bunları arzu edilen sınırlar içerisine çekmek mümkün olur. Taşıt titreşimleri konusu üç ana başlık halinde sınıflandırılabilir.

1.3.1 Taşıt Titreşime Neden Olan Faktörler

Taşıt titreşimine neden olan faktörlerden en önemli olanı yol pürüzlülükleri olmakla beraber, motor ve güç aktarma organlarındaki dengesizlikler de önemli bir unsurdur. Yol pürüzlülükleri sarsılma (hissedilir genlik ve ivmedeki salınım hareketleri) olarak kendini gösterirken; motor ve güç aktarma organlarındaki dengesizlikler genelde gürültü şeklinde hissedilir. Yol pürüzlülükleri ile aynı şekilde, tekerleklerdeki dengesizlikler (balans bozukluğu), askı sistemindeki kusurlar ve homojen olmayan süspansiyonlar da taşıt titreşimine sebep olurlar.

1.3.2 Taşıt Titreşim Karakteristiğini Etkileyen Faktörler

Taşıt tasarımı sırasında, titreşim karakteristiğini etkileyen birçok faktör olmasına rağmen, dikkat edilmesi gerekenler şunlardır:

- Süspansiyon yay elemanının özellikleri
- Sönüm elemanının özellikleri
- Stabilizatör çubuğunun yapısı ve elastiklik özelliği
- Taşıt aksının genişliği
- Taşıt aksının ağırlığı
- Ön ve arka akslar arası mesafe
- Süspansiyon askı sistemi
- Tekerleklerin tipi ve özellikleri
- Motor ve iletim elemanlarının montajı

1.3.3 Taşıt Titreşimlerinin Ele Alınması ve Analizi

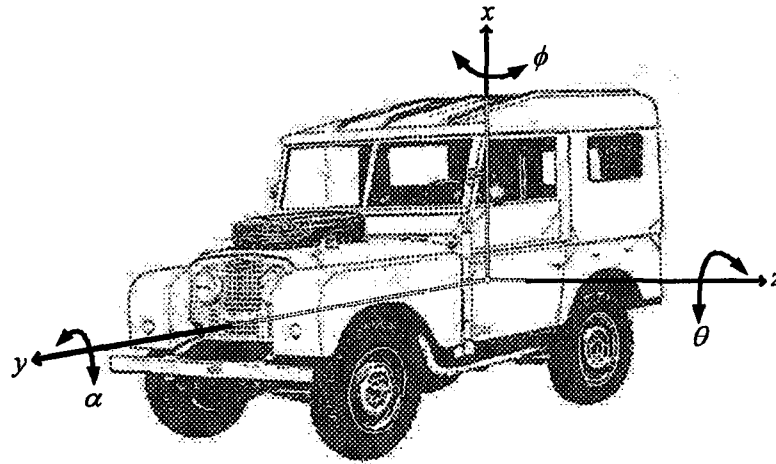
Taşıt titreşimlerinin analizinde öncelikli hedef konfordur. Fakat konfor istenilen seviyeye herhangi bir neden yüzünden çekilemiyorsa, sıradaki hedef titreşimleri en azından konstrüksiyon açısından izin verilen seviyeye indirmektedir. Konfor ele alınırken,

titreşimlerin yerdeğişim, hız ve ivme değerleri bilinmelidir. Daha sonra titreşimden etkilenenler için bir analiz gerçekleştirilir ve bir çözüm aranır. Titreşimden etkilenenler: İnsan, yük ve taşıt elemanlarının kendisidir. İnsan için konfor aranırken ivme aralıklarına dikkat edilmeli ve bunu minimize edecek çözüm araştırılmalıdır (Daldal vd, 1966; Mitchke, 1972). Çünkü insanı etkileyen parametre ivmedir. Yük ve taşıt elemanlarının etkilendiği parametre ise mukavemet açısından etkili olduğu için genliklerdir. Özellikle, genliklerin aşırı derecede arttığı rezonans aralıklarında taşıt elemanları hasar görebilir. Birçok araştırmacı taşıt hızına bağlı olarak değişik dalga boylarına sahip yol profilleri için rezonans bölgelerini araştırmıştır (Mitchke, 1972; Francis vd., 1978; Reimbel vd., 1979).

1.4 Taşıtların Fiziksel ve Matematik Modellenmesi

Genellikle sistemler sürekli dirler. Sürekli sistemler, sonsuz sayıda serbestlik derecesine sahip olabilirler. İşte bu nedenle sistemler, mühendislik açısından incelenebilmeleri için ayrıklaştırılırlar. Ayrıklaştırma işlemi sonunda ele alınan sistem, sonlu sayıda ve istenilen serbestlik derecesinde elde edilir. Taşıtlar da fiziksel olarak modellenirken, ayrık sistemler şeklinde; gövde, aks, süspansiyon elemanları ve lastiklerden meydana gelen dinamik modeller olarak ele alınırlar (Sharp vd., 1986; Chalasani, 1986; Sharp vd., 1989; Sharp vd., 1990; Demic, 1990).

Uzayda serbestçe hareket edebilen bir cisim, altı serbestlik derecesine sahiptir. Bunlardan üçü öteleme (x, y, z), diğer üçü ise dönme (ϕ, α, θ) hareketlerinden oluşur (Şekil 1.3). Bir taşıt gövde ve dört bağımsız aks olarak ele alındığında, taşıt modeli on serbestlik derecesine sahip olur.

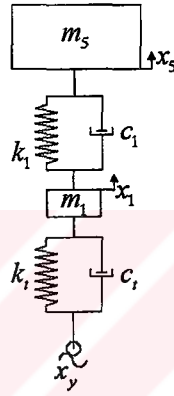


Şekil 1.3 Taşıt gövdesinin titreşim hareketleri

En çok kullanılan taşıt modelleri çeyrek (iki serbestlik dereceli), yarım (dört ve beş serbestlik dereceli) ve tam (yedi serbestlik dereceli) taşıt modelleridir. Dönme Hareketleri çoğu kez ihmal edilebilecek mertebede olduğundan bugüne kadar yapılan araştırmaların çoğunda taşıt, simetrik düşünülüp çeyrek (dörtte bir) olarak modellenmiştir (Chalasani, 1986; Güney,1989; Demic,1990; Erzi, 1990).

1.4.1 Çeyrek Taşıt Modeli

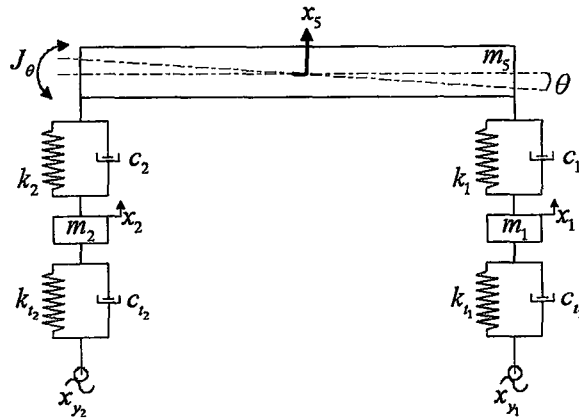
Genelde, gövde düşey genlik ve ivme değerlerinin göz önüne alındığı durumlarda tercih edilen bu model, bir aks üzerine yerleştirilmiş dörtte bir gövdeden meydana gelir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4 Çeyrek taşıt modeli

1.4.2 Yarım Taşıt Modeli

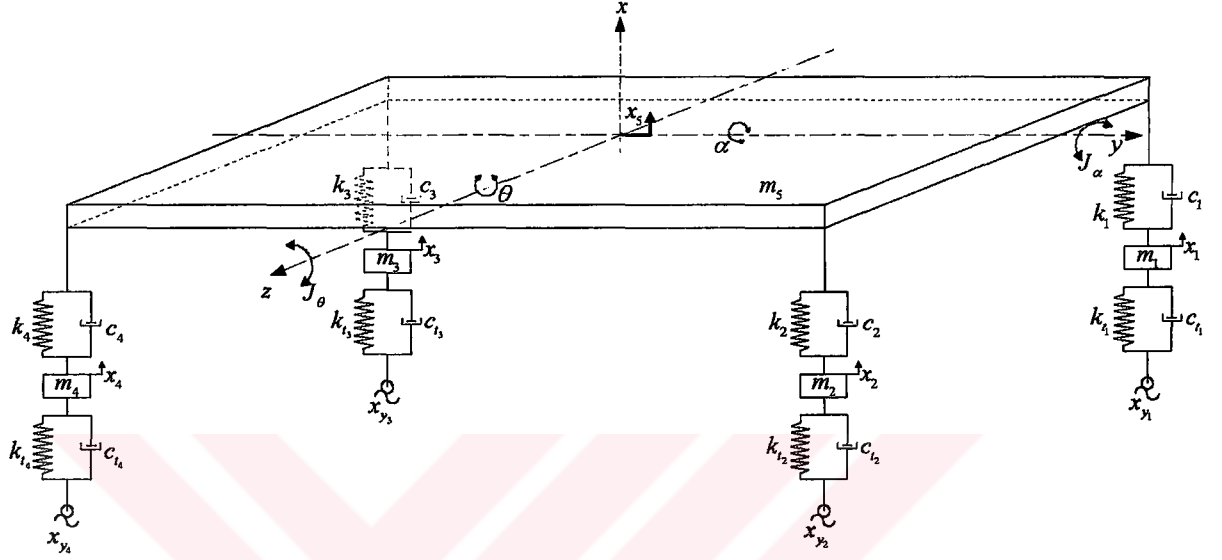
Gövde düşey genlik ve ivme değerlerinin yanında taşıtın kafa vurma hareketinin de incelendiği durumlarda kullanılan bu model, ön ve arka akslar üzerine yerleştirilmiş yarım bir gövdeden meydana gelir (Şekil 1.5).



Şekil 1.5 Yarım taşıt modeli

1.4.3 Tam Taşıt Modeli

Üç boyutlu model olarak bilinen bu modelde gövdenin düşey ötelenme, kafa vurma ve yalpa hareketlerine ek olarak, dört aksın da düşey hareketleri eklenmiştir. Bu şekilde model yedi serbestlik dereceli hale gelmektedir (Şekil 1.6). Bu model, taşıtın gerçek durumuna çok yakın cevaplar verebilmektedir.



Şekil 1.6 Tam taşıt modeli

2. YEDİ VE DOKUZ SERBESTLİK DERECELİ JİP MODELLERİ

Askeri jipin dinamik analizi için dokuz serbestlik dereceli bir jip modeli kullanılacaktır. Bu model, tam jip modeli veya üç boyutlu model olarak bilinen yedi serbestlik dereceli modele, biri silahı taşıyan kupalanın oturduğu platform ve diğeri silahın kendisi olmak üzere iki serbestlik derecesi daha eklenerek meydana getirilecektir.

Fakat öncelikle, sisteminin tabiatını tanımak amacıyla jip Yedi Serbestlik Dereceli (7SD) olarak analiz edilecek; araç, silah platformu ile donatılmadan önceki haliyle irdelenerek; bundan sonra Dokuz Serbestlik Dereceli (9SD) modele geçilecektir. 9SD modelde ise platform altında bir sönümleyici olması ve olmaması durumları için ayrı ayrı iki model incelemeye tabi tutulacaktır.

Yukarıda bahsedilen üç model de kendi içlerinde taşıtın yüksüz (YKZ), yüklü (YKL) ve aşırı yüklü (AYK) olması yani sırasıyla $m_5 = 2600$ kg, $m_5 = 3100$ kg ve $m_5 = 4000$ kg durumları için ayrı ayrı analiz edilecektir. Sonuçlar karşılaştırılacak, jipin bu şekilde donatılmasının etkileri tartışılacak, çözümler irdelenecek ve sonuçlar kısmında sunulacaktır.

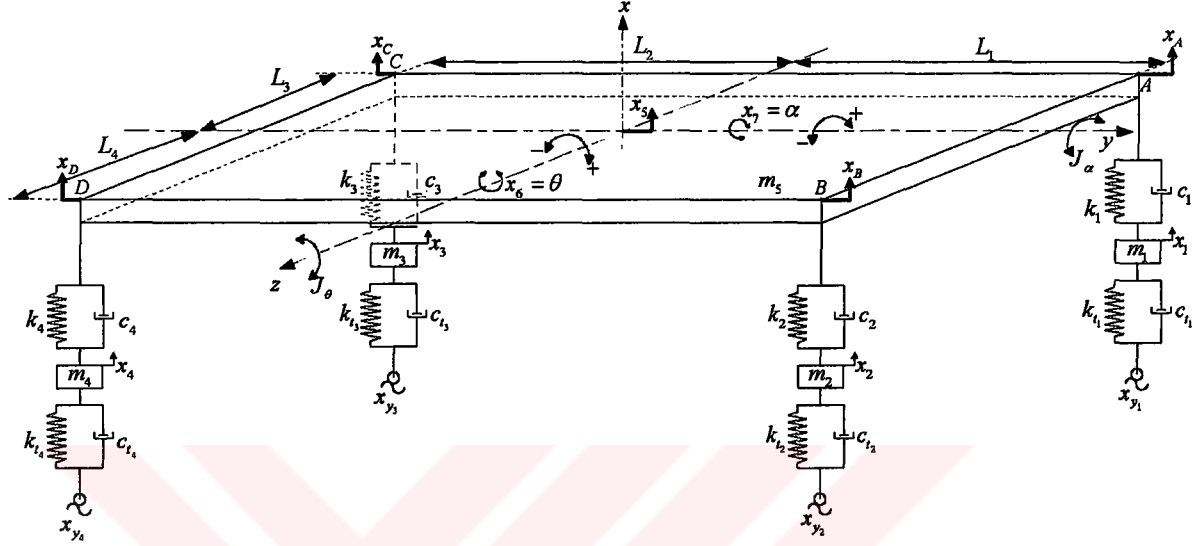
Analiz metodu olarak, Durum-Uzay, (State-Space) denklem takımları kullanılacaktır. Jipin hareket denklemleri, Lagrange Denklemleri yardımıyla elde edilecek, ardından durum değişkenleri tanımlanarak sistem, durum uzayı formunda düzenlenecektir. Analizi gerçekleştirmek için bilgisayar desteğinden istifade edilecektir. Sistem, Mathworks firmasının Matlab® ve Simulink® yazılımlarıyla modellenerek bütün durumlar için, bu yazılımlar kullanılarak çözüm gerçekleştirilecektir.

Jipin hareket denklemleri ve durum uzayı, 9SD sistem için öngörülmektedir. Denklemler elde edildiği zaman, basit birkaç işlem yardımıyla sistem, 7SD duruma getirilebilir veya platform altına sönümleyici ilave edilebilir: Her sistem için hareket denklemlerinin ayrı ayrı yazılmasına gerek yoktur. Denklemlerin matris formunda yazılması, sistemin daha tertipli, bütün ve kolay anlaşılır bir biçimde ifade edilmesi için önemli olduğu gibi ayrıca sistemler arasındaki bu tip dönüşümler için de oldukça kullanışlıdır.

Sonuç olarak sistem, 9SD şekilde modellendikten hemen sonra analiz süreci, 7SD sistemden başlayacak; 9SD – platformu altına sönüm elemanı ilave edilmemiş (SNMZ) sistem ve son olarak da 9SD platformu altına sönüm elemanı ilave edilmiş (SNM) sistem bu süreçte yerini alacaktır.

2.1 Yedi Serbestlik Dereceli Jip Modeli ve Hareket Denklemleri

Askeri Jip, öncelikle 7SD olarak modellendi (Şekil 2.1). Hareket denklemleri yazılıp denklem takımı matris formuna dönüştürüldü. Sistemin kritik frekansları hesaplandıktan sonra sistemin durum uzayı, birinci mertebeden durum değişkenleri kullanılarak tanımlandı. Denklemler durum-uzay şekline dönüştürüldü.



Şekil 2.1 Yedi serbestlik dereceli jip modeli

Simge anlamları aşağıda verilmiştir.

- A, B, C, D : Gövde – Aks Bağlantı noktaları
 c_1, c_2, c_3, c_4 : Ön ve arka süspansiyon sistemlerine ait sönüm katsayıları
 $c_{t1}, c_{t2}, c_{t3}, c_{t4}$: Ön ve arka lastik tekerleklere ait sönüm katsayıları
 J_θ : Kafa vurma (z) eksenindeki atalet momenti
 J_α : Yalpalama (y) eksenindeki atalet momenti
 k_1, k_2, k_3, k_4 : Ön ve arka süspansiyon sistemlerine ait yay katsayıları
 $k_{t1}, k_{t2}, k_{t3}, k_{t4}$: Ön ve arka lastik tekerleklere ait yay katsayıları
 L_1, L_2, L_3, L_4 : Aks arası mesafeler
 m_1, m_2, m_3, m_4 : Ön ve arka aks – tekerlek kütleleri
 m_5 : Taşıt gövdesinin kütlesi
 x_1, x_2, x_3, x_4 : Tekerleklerin titreşim genlikleri
 x_5 : Gövdenin titreşim genliği
 $x_6 = \theta$: Kafa vurma titreşim genliği
 $x_7 = \alpha$: Yalpalama titreşim genliği
 x_A, x_B, x_C, x_D : Gövde – Aks Bağlantı noktalarının düşey hareketleri
 $x_{y1}, x_{y2}, x_{y3}, x_{y4}$: Yol fonksiyonları (pürüzlülükleri)

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial q_j} + \frac{\partial E_p}{\partial q_j} + \frac{\partial E_c}{\partial q_j} = Q_j \quad (2.1)$$

$$x_A > x_1; x_B > x_2; x_C > x_3; x_D > x_4 \quad (2.2)$$

$$x_1 > x_{y_1}; x_2 > x_{y_2}; x_3 > x_{y_3}; x_4 > x_{y_4} \quad (2.3)$$

kabulleri yapıldıktan sonra enerji denklemleri yazıldı.

Sistemin toplam kinetik enerjisinin ifadesi;

$$E_k = \frac{1}{2} m_1 \dot{x}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \dot{x}_2^2 + \frac{1}{2} m_3 \dot{x}_3^2 + \frac{1}{2} m_4 \dot{x}_4^2 + \frac{1}{2} m_5 \dot{x}_5^2 + \frac{1}{2} J_\theta \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} J_\alpha \dot{\alpha}^2 \quad (2.4)$$

Toplam potansiyel enerjisinin ifadesi;

$$E_p = \frac{1}{2} k_1 (x_A - x_1)^2 + \frac{1}{2} k_2 (x_B - x_2)^2 + \frac{1}{2} k_3 (x_C - x_3)^2 + \frac{1}{2} k_4 (x_D - x_4)^2 + \frac{1}{2} k_{t_1} (x_1 - x_{y_1})^2 + \frac{1}{2} k_{t_2} (x_2 - x_{y_2})^2 + \frac{1}{2} k_{t_3} (x_3 - x_{y_3})^2 + \frac{1}{2} k_{t_4} (x_4 - x_{y_4})^2 \quad (2.5)$$

Toplam sönüm enerjisinin ifadesi,

$$E_c = \frac{1}{2} c_1 (\dot{x}_A - \dot{x}_1)^2 + \frac{1}{2} c_2 (\dot{x}_B - \dot{x}_2)^2 + \frac{1}{2} c_3 (\dot{x}_C - \dot{x}_3)^2 + \frac{1}{2} c_4 (\dot{x}_D - \dot{x}_4)^2 + \frac{1}{2} c_{t_1} (\dot{x}_1 - \dot{x}_{y_1})^2 + \frac{1}{2} c_{t_2} (\dot{x}_2 - \dot{x}_{y_2})^2 + \frac{1}{2} c_{t_3} (\dot{x}_3 - \dot{x}_{y_3})^2 + \frac{1}{2} c_{t_4} (\dot{x}_4 - \dot{x}_{y_4})^2 \quad (2.6)$$

şeklindedir.

$$x_B > x_A; x_D > x_C; x_C > x_A; x_D > x_B \quad (2.7)$$

koşulları kabul edilerek aks – gövde bağlantı noktalarının genelleştirilmiş koordinatlar cinsinden karşılıkları yazıldı:

$$x_A = x_5 - L_1 \theta - L_3 \alpha \quad (2.8)$$

$$x_B = x_5 - L_1 \theta + L_4 \alpha \quad (2.9)$$

$$x_C = x_5 + L_2 \theta - L_3 \alpha \quad (2.10)$$

$$x_D = x_5 + L_2 \theta + L_4 \alpha \quad (2.11)$$

Enerji denklemleri formülasyonda yerine konularak her bir genelleştirilmiş koordinat için işlem tekrar edilerek hareket denklemlerine ulaşılır. Ara işlemler Ek 1 ve Ek 2’de verilmiştir. Aşağıda yedi serbestlik dereceli jipin hareket denklemleri gösterilmiştir.

$$m_1 \ddot{x}_1 + (c_1 + c_{t_1}) \dot{x}_1 - c_1 \dot{x}_5 + c_1 L_1 \dot{x}_6 + c_1 L_3 \dot{x}_7 + (k_1 + k_{t_1}) x_1 - k_1 x_5 + k_1 L_1 x_6 + k_1 L_3 x_7 = k_{t_1} x_{y_1} + c_{t_1} \dot{x}_{y_1} \quad (2.12)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + (c_2 + c_{t_2}) \dot{x}_2 - c_2 \dot{x}_5 + c_2 L_1 \dot{x}_6 - c_2 L_4 \dot{x}_7 + (k_2 + k_{t_2}) x_2 - k_2 x_5 + k_2 L_1 x_6 - k_2 L_4 x_7 = k_{t_2} x_{y_2} + c_{t_2} \dot{x}_{y_2} \quad (2.13)$$

$$m_3 \ddot{x}_3 + (c_3 + c_{t_3}) \dot{x}_3 - c_3 \dot{x}_5 - c_3 L_2 \dot{x}_6 + c_3 L_3 \dot{x}_7 + (k_3 + k_{t_3}) x_3 - k_3 x_5 - k_3 L_2 x_6 + k_3 L_3 x_7 = k_{t_3} x_{y_3} + c_{t_3} \dot{x}_{y_3} \quad (2.14)$$

$$m_4 \ddot{x}_4 + (c_4 + c_{t_4}) \dot{x}_4 - c_4 \dot{x}_5 - c_4 L_2 \dot{x}_6 - c_4 L_4 \dot{x}_7 + (k_4 + k_{t_4}) x_4 - k_4 x_5 - k_4 L_2 x_6 - k_4 L_4 x_7 = k_{t_4} x_{y_4} + c_{t_4} \dot{x}_{y_4} \quad (2.15)$$

$$m_5 \ddot{x}_5 - c_1 \dot{x}_1 - c_2 \dot{x}_2 - c_3 \dot{x}_3 - c_4 \dot{x}_4 + (c_1 + c_2 + c_3 + c_4) \dot{x}_5 + (-c_1 L_1 - c_2 L_1 + c_3 L_2 + c_4 L_2) \dot{x}_6 + (-c_1 L_3 + c_2 L_4 - c_3 L_3 + c_4 L_4) \dot{x}_7 - k_1 x_1 - k_2 x_2 - k_3 x_3 - k_4 x_4 + (k_1 + k_2 + k_3 + k_4) x_5 + (-k_1 L_1 - k_2 L_1 + k_3 L_2 + k_4 L_2) x_6 + (-k_1 L_3 + k_2 L_4 - k_3 L_3 + k_4 L_4) x_7 = 0 \quad (2.16)$$

$$J_\theta \ddot{x}_6 + c_1 L_1 \dot{x}_1 + c_2 L_1 \dot{x}_2 - c_3 L_2 \dot{x}_3 - c_4 L_2 \dot{x}_4 + (-c_1 L_1 - c_2 L_1 + c_3 L_2 + c_4 L_2) \dot{x}_5 + (c_1 L_1^2 + c_2 L_1^2 + c_3 L_2^2 + c_4 L_2^2) \dot{x}_6 + (c_1 L_1 L_3 - c_2 L_1 L_4 - c_3 L_2 L_3 + c_4 L_2 L_4) \dot{x}_7 + k_1 L_1 x_1 + k_2 L_1 x_2 - k_3 L_2 x_3 - k_4 L_2 x_4 + (-k_1 L_1 - k_2 L_1 + k_3 L_2 + k_4 L_2) x_5 + (k_1 L_1^2 + k_2 L_1^2 + k_3 L_2^2 + k_4 L_2^2) x_6 + (k_1 L_1 L_3 - k_2 L_1 L_4 - k_3 L_2 L_3 + k_4 L_2 L_4) x_7 = 0 \quad (2.17)$$

$$J_\alpha \ddot{x}_7 + c_1 L_3 \dot{x}_1 - c_2 L_4 \dot{x}_2 + c_3 L_3 \dot{x}_3 - c_4 L_4 \dot{x}_4 + (-c_1 L_3 + c_2 L_4 - c_3 L_3 + c_4 L_4) \dot{x}_5 + (c_1 L_3 L_1 - c_2 L_4 L_1 - c_3 L_3 L_2 + c_4 L_4 L_2) \dot{x}_6 + (c_1 L_3^2 + c_2 L_4^2 + c_3 L_3^2 + c_4 L_4^2) \dot{x}_7 + k_1 L_3 x_1 - k_2 L_4 x_2 + k_3 L_3 x_3 - k_4 L_4 x_4 + (-k_1 L_3 + k_2 L_4 - k_3 L_3 + k_4 L_4) x_5 + (k_1 L_3 L_1 - k_2 L_4 L_1 - k_3 L_3 L_2 + k_4 L_4 L_2) x_6 + (k_1 L_3^2 + k_2 L_4^2 + k_3 L_3^2 + k_4 L_4^2) x_7 = 0 \quad (2.18)$$

$$[M] \begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \\ \ddot{x}_4 \\ \ddot{x}_5 \\ \ddot{x}_6 \\ \ddot{x}_7 \end{bmatrix} + [C] \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \\ \dot{x}_5 \\ \dot{x}_6 \\ \dot{x}_7 \end{bmatrix} + [K] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \end{bmatrix} = [F] \quad (2.19)$$

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & J_\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & J_a \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

$$[C] = \begin{bmatrix} c_1 + c_{i_1} & 0 & 0 & 0 & -c_1 & c_1 L_1 & c_1 L_3 \\ 0 & c_2 + c_{i_2} & 0 & 0 & -c_2 & c_2 L_1 & -c_2 L_4 \\ 0 & 0 & c_3 + c_{i_3} & 0 & -c_3 & -c_3 L_2 & c_3 L_3 \\ 0 & 0 & 0 & c_4 + c_{i_4} & -c_4 & -c_4 L_2 & -c_4 L_4 \\ -c_1 & -c_2 & -c_3 & -c_4 & c_1 + c_2 + c_3 + c_4 & \begin{Bmatrix} -c_1 L_1 - c_2 L_1 \\ +c_3 L_2 + c_4 L_2 \end{Bmatrix} & \begin{Bmatrix} -c_1 L_3 + c_2 L_4 \\ -c_3 L_3 + c_4 L_4 \end{Bmatrix} \\ c_1 L_1 & c_2 L_1 & -c_3 L_2 & -c_4 L_2 & \begin{Bmatrix} -c_1 L_1 - c_2 L_1 \\ +c_3 L_2 + c_4 L_2 \end{Bmatrix} & \begin{Bmatrix} c_1 L_1^2 + c_2 L_1^2 + \\ c_3 L_2^2 + c_4 L_2^2 \end{Bmatrix} & \begin{Bmatrix} c_1 L_1 L_3 - c_2 L_1 L_4 \\ -c_3 L_2 L_3 + c_4 L_2 L_4 \end{Bmatrix} \\ c_1 L_3 & -c_2 L_4 & c_3 L_3 & -c_4 L_4 & \begin{Bmatrix} -c_1 L_3 + c_2 L_4 \\ -c_3 L_3 + c_4 L_4 \end{Bmatrix} & \begin{Bmatrix} c_1 L_1 L_3 - c_2 L_1 L_4 \\ -c_3 L_2 L_3 + c_4 L_2 L_4 \end{Bmatrix} & \begin{Bmatrix} c_1 L_3^2 + c_2 L_4^2 + \\ c_3 L_3^2 + c_4 L_4^2 \end{Bmatrix} \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

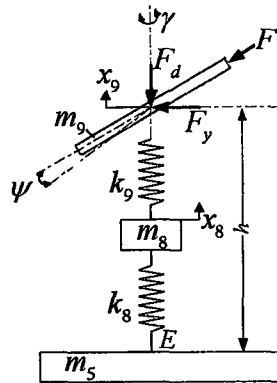
$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_{i_1} & 0 & 0 & 0 & -k_1 & k_1 L_1 & k_1 L_3 \\ 0 & k_2 + k_{i_2} & 0 & 0 & -k_2 & k_2 L_1 & -k_2 L_4 \\ 0 & 0 & k_3 + k_{i_3} & 0 & -k_3 & -k_3 L_2 & k_3 L_3 \\ 0 & 0 & 0 & k_4 + k_{i_4} & -k_4 & -k_4 L_2 & -k_4 L_4 \\ -k_1 & -k_2 & -k_3 & -k_4 & \begin{Bmatrix} k_1 + k_2 + \\ k_3 + k_4 \end{Bmatrix} & \begin{Bmatrix} -k_1 L_1 - k_2 L_1 + \\ k_3 L_2 + k_4 L_2 \end{Bmatrix} & \begin{Bmatrix} -k_1 L_3 + k_2 L_4 \\ -k_3 L_3 + k_4 L_4 \end{Bmatrix} \\ k_1 L_1 & k_2 L_1 & -k_3 L_2 & -k_4 L_2 & \begin{Bmatrix} -k_1 L_1 - k_2 L_1 + \\ k_3 L_2 + k_4 L_2 \end{Bmatrix} & \begin{Bmatrix} k_1 L_1^2 + k_2 L_1^2 + \\ k_3 L_2^2 + k_4 L_2^2 \end{Bmatrix} & \begin{Bmatrix} k_1 L_1 L_3 - k_2 L_1 L_4 \\ -k_3 L_2 L_3 + k_4 L_2 L_4 \end{Bmatrix} \\ k_1 L_3 & -k_2 L_4 & k_3 L_3 & -k_4 L_4 & \begin{Bmatrix} -k_1 L_3 + k_2 L_4 \\ -k_3 L_3 + k_4 L_4 \end{Bmatrix} & \begin{Bmatrix} k_1 L_1 L_3 - k_2 L_1 L_4 \\ -k_3 L_2 L_3 + k_4 L_2 L_4 \end{Bmatrix} & \begin{Bmatrix} k_1 L_3^2 + k_2 L_4^2 + \\ k_3 L_3^2 + k_4 L_4^2 \end{Bmatrix} \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

Şekil 2.2 Dokuz serbestlik dereceli jip modeli

Şekil 2.2’de,

A, B, C, D	: Gövde – Aks Bağlantı noktaları
c_1, c_2, c_3, c_4	: Ön ve arka süspansiyon sistemlerine ait sönüm katsayıları
$c_{t_1}, c_{t_2}, c_{t_3}, c_{t_4}$	: Ön ve arka lastik tekerleklerle ait sönüm katsayıları
J_θ	: Kafa vurma (z) eksenindeki atalet momenti
J_α	: Yalpalama (y) eksenindeki atalet momenti
k_1, k_2, k_3, k_4	: Ön ve arka süspansiyon sistemlerine ait yay katsayıları
$k_{t_1}, k_{t_2}, k_{t_3}, k_{t_4}$	: Ön ve arka lastik tekerleklerle ait yay katsayıları
k_8	: Platformun yay katsayısı
k_9	: Kupala milinin yay katsayısı
L_1, L_2, L_3, L_4	: Aks arası mesafeler
L_5	: Kupala ağırlık merkezinin taşıt gövdesinin ağırlık merkezine olan mesafesi
m_1, m_2, m_3, m_4	: Ön ve arka aks – tekerlek kütleleri
m_5	: Taşıt gövdesinin kütlesi
m_8	: Platformun kütlesi
m_9	: Silahın kütlesi
M_θ	: Taşıtı kafa vurma hareketine zorlayan moment (silahtan kaynaklanan)
M_α	: Taşıtı yalpa hareketine zorlayan moment (silahtan kaynaklanan)
x_1, x_2, x_3, x_4	: Tekerleklerin titreşim genlikleri
x_5	: Gövdenin titreşim genliği
$x_6 = \theta$	: Kafa vurma titreşim genliği
$x_7 = \alpha$	: Yalpalama titreşim genliği
x_8	: Kupalanın titreşim genliği
x_9	: Silahın titreşim genliği
x_A, x_B, x_C, x_D	: Gövde – Aks Bağlantı noktalarının düşey hareketleri

göstermektedir.



Şekil 2.3 Silahın geri tepme kuvvetinin bileşenleri

Şekil 2.3’de,

F_d	: Silah geri tepme kuvvetinin düşey bileşeni
F_y	: Silah geri tepme kuvvetinin yatay bileşeni
F	: Silah geri tepme kuvveti
h	: Silahın gövdeden yüksekliği
k_8	: Platformun yay katsayısı
k_9	: Kupala milinin yay katsayısı
m_5	: Taşıt gövdesinin kütlesi
m_8	: Platformun kütlesi
m_9	: Silahın kütlesi
x_8	: Kupalanın titreşim genliği
x_9	: Silahın titreşim genliği
γ	: Namlu eğimi (atış açısı)
ψ	: Namlu yönü (dönüş açısı)

göstermektedir.

Silahın geri tepme kuvveti F olduğuna göre Şekil 2.3’ün yardımıyla, Şekil 2.2’deki F_d, F_y, M_θ ve M_α değişkenlerinin açık ifadeleri aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$F(t) = F \cdot \sin \omega t \quad (2.23)$$

şeklinde verilmek üzere;

$$F_d = F \cdot \sin \omega t \cdot \sin \psi \quad (2.24)$$

$$F_y = F \cdot \sin \omega t \cdot \cos \psi \quad (2.25)$$

$$M_\theta = F \cdot h \cdot \sin \omega t \cdot \cos \psi \cdot \cos \gamma \quad (2.26)$$

$$M_\alpha = F \cdot h \cdot \sin \omega t \cdot \cos \psi \cdot \sin \gamma \quad (2.27)$$

2.2.1 Dokuz Serbestlik Dereceli Sönümsüz Platformlu Jipin Hareket Denklemleri

Jipin hareket denklemleri Lagrange Metodu kullanılarak elde edildi. Lagrange denklemlerinin en genel ifadesi aşağıdaki şekildedir:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial q_j} + \frac{\partial E_p}{\partial q_j} + \frac{\partial E_c}{\partial q_j} = Q_j \quad (2.28)$$

$$x_A > x_1; x_B > x_2; x_C > x_3; x_D > x_4 \quad (2.29)$$

$$x_1 > x_{y1}; x_2 > x_{y2}; x_3 > x_{y3}; x_4 > x_{y4}; x_9 > x_8 > x_E \quad (2.30)$$

kabulleri yapıldıktan sonra enerji denklemleri yazıldı.

Sistemin toplam kinetik enerjisinin ifadesi;

$$E_k = \frac{1}{2}m_9\dot{x}_9^2 + \frac{1}{2}m_8\dot{x}_8^2 + \frac{1}{2}m_5\dot{x}_5^2 + \frac{1}{2}J_\theta\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}J_\alpha\dot{\alpha}^2 + \frac{1}{2}m_1\dot{x}_1^2 + \frac{1}{2}m_2\dot{x}_2^2 + \frac{1}{2}m_3\dot{x}_3^2 + \frac{1}{2}m_4\dot{x}_4^2 \quad (2.31)$$

Toplam potansiyel enerjisinin ifadesi;

$$\begin{aligned} E_p = & \frac{1}{2}k_9(x_9 - x_8)^2 + \frac{1}{2}k_8(x_8 - x_E)^2 + \frac{1}{2}k_1(x_A - x_1)^2 + \frac{1}{2}k_2(x_B - x_2)^2 + \\ & \frac{1}{2}k_3(x_C - x_3)^2 + \frac{1}{2}k_4(x_D - x_4)^2 + \frac{1}{2}k_{t_1}(x_1 - x_{y_1})^2 + \frac{1}{2}k_{t_2}(x_2 - x_{y_2})^2 + \\ & \frac{1}{2}k_{t_3}(x_3 - x_{y_3})^2 + \frac{1}{2}k_{t_4}(x_4 - x_{y_4})^2 \end{aligned} \quad (2.32)$$

Toplam sönüm enerjisinin ifadesi,

$$\begin{aligned} E_c = & \frac{1}{2}c_1(\dot{x}_A - \dot{x}_1)^2 + \frac{1}{2}c_2(\dot{x}_B - \dot{x}_2)^2 + \frac{1}{2}c_3(\dot{x}_C - \dot{x}_3)^2 + \frac{1}{2}c_4(\dot{x}_D - \dot{x}_4)^2 + \\ & \frac{1}{2}c_{t_1}(\dot{x}_1 - \dot{x}_{y_1})^2 + \frac{1}{2}c_{t_2}(\dot{x}_2 - \dot{x}_{y_2})^2 + \frac{1}{2}c_{t_3}(\dot{x}_3 - \dot{x}_{y_3})^2 + \frac{1}{2}c_{t_4}(\dot{x}_4 - \dot{x}_{y_4})^2 \end{aligned} \quad (2.33)$$

şeklindedir.

$$x_B > x_A; x_D > x_C; x_C > x_A; x_D > x_B \quad (2.34)$$

koşulları kabul edilerek aks – gövde bağlantı noktalarının genelleştirilmiş koordinatlar cinsinden karşılıkları yazıldı:

$$x_A = x_5 - L_1\theta - L_3\alpha \quad (2.35)$$

$$x_B = x_5 - L_1\theta + L_4\alpha \quad (2.36)$$

$$x_C = x_5 + L_2\theta - L_3\alpha \quad (2.37)$$

$$x_D = x_5 + L_2\theta + L_4\alpha \quad (2.38)$$

$$x_E = x_5 + L_5\theta \quad (2.39)$$

Enerji denklemleri formülasyonda yerine konularak her bir genelleştirilmiş koordinat için işlem tekrar edilerek hareket denklemlerine ulaşıldı. Ara işlemler Ek 3-4’de verilmiştir. Aşağıda dokuz serbestlik dereceli jipin hareket denklemleri gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} m_1\ddot{x}_1 + (c_1 + c_{t_1})\dot{x}_1 - c_1\dot{x}_5 + c_1L_1\dot{x}_6 + c_1L_3\dot{x}_7 + (k_1 + k_{t_1})x_1 - k_1x_5 + \\ k_1L_1x_6 + k_1L_3x_7 = k_{t_1}x_{y_1} + c_{t_1}\dot{x}_{y_1} \end{aligned} \quad (2.40)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + (c_2 + c_{t_2}) \dot{x}_2 - c_2 \dot{x}_5 + c_2 L_1 \dot{x}_6 - c_2 L_4 \dot{x}_7 + (k_2 + k_{t_2}) x_2 - k_2 x_5 + k_2 L_1 x_6 - k_2 L_4 x_7 = k_{t_2} x_{y_2} + c_{t_2} \dot{x}_{y_2} \quad (2.41)$$

$$m_3 \ddot{x}_3 + (c_3 + c_{t_3}) \dot{x}_3 - c_3 \dot{x}_5 - c_3 L_2 \dot{x}_6 + c_3 L_3 \dot{x}_7 + (k_3 + k_{t_3}) x_3 - k_3 x_5 - k_3 L_2 x_6 + k_3 L_3 x_7 = k_{t_3} x_{y_3} + c_{t_3} \dot{x}_{y_3} \quad (2.42)$$

$$m_4 \ddot{x}_4 + (c_4 + c_{t_4}) \dot{x}_4 - c_4 \dot{x}_5 - c_4 L_2 \dot{x}_6 - c_4 L_4 \dot{x}_7 + (k_4 + k_{t_4}) x_4 - k_4 x_5 - k_4 L_2 x_6 - k_4 L_4 x_7 = k_{t_4} x_{y_4} + c_{t_4} \dot{x}_{y_4} \quad (2.43)$$

$$m_5 \ddot{x}_5 - c_1 \dot{x}_1 - c_2 \dot{x}_2 - c_3 \dot{x}_3 - c_4 \dot{x}_4 + (c_1 + c_2 + c_3 + c_4) \dot{x}_5 + (-c_1 L_1 - c_2 L_1 + c_3 L_2 + c_4 L_2) \dot{x}_6 + (-c_1 L_3 + c_2 L_4 - c_3 L_3 + c_4 L_4) \dot{x}_7 - k_1 x_1 - k_2 x_2 - k_3 x_3 - k_4 x_4 + (k_8 + k_1 + k_2 + k_3 + k_4) x_5 + (-k_1 L_1 - k_2 L_1 + k_3 L_2 + k_4 L_2 + k_8 L_5) x_6 + (-k_1 L_3 + k_2 L_4 - k_3 L_3 + k_4 L_4) x_7 - k_8 x_8 = 0 \quad (2.44)$$

$$J_\theta \ddot{x}_6 + c_1 L_1 \dot{x}_1 + c_2 L_1 \dot{x}_2 - c_3 L_2 \dot{x}_3 - c_4 L_2 \dot{x}_4 + (-c_1 L_1 - c_2 L_1 + c_3 L_2 + c_4 L_2) \dot{x}_5 + (c_1 L_1^2 + c_2 L_1^2 + c_3 L_2^2 + c_4 L_2^2) \dot{x}_6 + (c_1 L_1 L_3 - c_2 L_1 L_4 - c_3 L_2 L_3 + c_4 L_2 L_4) \dot{x}_7 + k_1 L_1 x_1 + k_2 L_1 x_2 - k_3 L_2 x_3 - k_4 L_2 x_4 + (k_8 L_5 - k_1 L_1 - k_2 L_1 + k_3 L_2 + k_4 L_2) x_5 + (k_8 L_5^2 + k_1 L_1^2 + k_2 L_1^2 + k_3 L_2^2 + k_4 L_2^2) x_6 + (k_1 L_1 L_3 - k_2 L_1 L_4 - k_3 L_2 L_3 + k_4 L_2 L_4) x_7 - k_8 L_5 x_8 = M_\theta \quad (2.45)$$

$$J_\alpha \ddot{x}_7 + c_1 L_3 \dot{x}_1 - c_2 L_4 \dot{x}_2 + c_3 L_3 \dot{x}_3 - c_4 L_4 \dot{x}_4 + (-c_1 L_3 + c_2 L_4 - c_3 L_3 + c_4 L_4) \dot{x}_5 + (c_1 L_3 L_1 - c_2 L_4 L_1 - c_3 L_3 L_2 + c_4 L_4 L_2) \dot{x}_6 + (c_1 L_3^2 + c_2 L_4^2 + c_3 L_3^2 + c_4 L_4^2) \dot{x}_7 + k_1 L_3 x_1 - k_2 L_4 x_2 + k_3 L_3 x_3 - k_4 L_4 x_4 + (-k_1 L_3 + k_2 L_4 - k_3 L_3 + k_4 L_4) x_5 + (k_1 L_3 L_1 - k_2 L_4 L_1 - k_3 L_3 L_2 + k_4 L_4 L_2) x_6 + (k_1 L_3^2 + k_2 L_4^2 + k_3 L_3^2 + k_4 L_4^2) x_7 = M_\alpha \quad (2.46)$$

$$m_8 \ddot{x}_8 - k_8 x_5 - k_8 L_5 x_6 + (k_8 + k_9) x_8 - k_9 x_9 = 0 \quad (2.47)$$

$$m_9 \ddot{x}_9 - k_9 x_8 + k_9 x_9 = F_d \quad (2.48)$$

Sistem matris formunda düzenlendi:

$$[M] \begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \\ \ddot{x}_4 \\ \ddot{x}_5 \\ \ddot{x}_6 \\ \ddot{x}_7 \\ \ddot{x}_8 \\ \ddot{x}_9 \end{bmatrix} + [C] \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \\ \dot{x}_5 \\ \dot{x}_6 \\ \dot{x}_7 \\ \dot{x}_8 \\ \dot{x}_9 \end{bmatrix} + [K] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \\ x_9 \end{bmatrix} = [F] \quad (2.49)$$

Kütle matrisi;

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & J_\theta & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & J_\alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_9 \end{bmatrix} \quad (2.50)$$

Sönüm matrisi;

$$[C] = \begin{bmatrix} c_1 + c_4 & 0 & 0 & 0 & -c_1 & c_1 L_1 & c_1 L_3 & 0 & 0 \\ 0 & c_2 + c_4 & 0 & 0 & -c_2 & c_2 L_1 & -c_2 L_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_3 + c_4 & 0 & -c_3 & -c_3 L_2 & c_3 L_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_4 + c_4 & -c_4 & -c_4 L_2 & -c_4 L_4 & 0 & 0 \\ -c_1 & -c_2 & -c_3 & -c_4 & c_1 + c_2 + c_3 + c_4 & \begin{Bmatrix} -c_1 L_1 - c_2 L_1 \\ +c_3 L_2 + c_4 L_2 \end{Bmatrix} & \begin{Bmatrix} -c_1 L_3 + c_2 L_4 \\ -c_3 L_3 + c_4 L_4 \end{Bmatrix} & 0 & 0 \\ c_1 L_1 & c_2 L_1 & -c_3 L_2 & -c_4 L_2 & \begin{Bmatrix} -c_1 L_1 - c_2 L_1 \\ +c_3 L_2 + c_4 L_2 \end{Bmatrix} & \begin{Bmatrix} c_1 L_1^2 + c_2 L_1^2 + \\ +c_3 L_2^2 + c_4 L_2^2 \end{Bmatrix} & \begin{Bmatrix} c_1 L_1 L_3 - c_2 L_1 L_4 \\ -c_3 L_2 L_3 + c_4 L_2 L_4 \end{Bmatrix} & 0 & 0 \\ c_1 L_3 & -c_2 L_4 & c_3 L_3 & -c_4 L_4 & \begin{Bmatrix} -c_1 L_3 + c_2 L_4 \\ -c_3 L_3 + c_4 L_4 \end{Bmatrix} & \begin{Bmatrix} c_1 L_1 L_3 - c_2 L_1 L_4 \\ -c_3 L_2 L_3 + c_4 L_2 L_4 \end{Bmatrix} & \begin{Bmatrix} c_1 L_1^2 + c_2 L_1^2 + \\ +c_3 L_2^2 + c_4 L_2^2 \end{Bmatrix} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.51)$$

Katılık matrisi;

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_4 & 0 & 0 & 0 & -k_1 & k_1 L_1 & k_1 L_3 & 0 & 0 \\ 0 & k_2 + k_4 & 0 & 0 & -k_2 & k_2 L_1 & -k_2 L_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_3 + k_4 & 0 & -k_3 & -k_3 L_2 & k_3 L_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_4 + k_4 & -k_4 & -k_4 L_2 & -k_4 L_4 & 0 & 0 \\ -k_1 & -k_2 & -k_3 & -k_4 & \begin{Bmatrix} k_1 + k_2 + k_3 \\ +k_4 + k_8 \end{Bmatrix} & \begin{Bmatrix} -k_1 L_1 - k_2 L_1 + k_3 L_2 \\ +k_4 L_2 + k_8 L_2 \end{Bmatrix} & \begin{Bmatrix} -k_1 L_3 + k_2 L_4 \\ -k_3 L_3 + k_4 L_4 \end{Bmatrix} & -k_8 & 0 \\ k_1 L_1 & k_2 L_1 & -k_3 L_2 & -k_4 L_2 & \begin{Bmatrix} -k_1 L_1 - k_2 L_1 + k_3 L_2 \\ +k_4 L_2 + k_8 L_2 \end{Bmatrix} & \begin{Bmatrix} k_1 L_1^2 + k_2 L_1^2 + k_3 L_2^2 \\ +k_4 L_2^2 + k_8 L_2^2 \end{Bmatrix} & \begin{Bmatrix} k_1 L_1 L_3 - k_2 L_1 L_4 \\ -k_3 L_2 L_3 + k_4 L_2 L_4 \end{Bmatrix} & -k_8 L_3 & 0 \\ k_1 L_3 & -k_2 L_4 & k_3 L_3 & -k_4 L_4 & \begin{Bmatrix} -k_1 L_3 + k_2 L_4 \\ -k_3 L_3 + k_4 L_4 \end{Bmatrix} & \begin{Bmatrix} k_1 L_1 L_3 - k_2 L_1 L_4 \\ -k_3 L_2 L_3 + k_4 L_2 L_4 \end{Bmatrix} & \begin{Bmatrix} k_1 L_1^2 + k_2 L_1^2 + \\ +k_3 L_2^2 + k_4 L_2^2 \end{Bmatrix} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -k_8 & -k_8 L_2 & 0 & k_8 + k_9 & -k_9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_9 & k_9 \end{bmatrix} \quad (2.52)$$

Kuvvet Vektörü;

$$\begin{bmatrix} k_1 x_{y_1} + c_1 \dot{x}_{y_1} \\ k_2 x_{y_2} + c_2 \dot{x}_{y_2} \\ k_3 x_{y_3} + c_3 \dot{x}_{y_3} \\ k_4 x_{y_4} + c_4 \dot{x}_{y_4} \\ 0 \\ M_\theta \\ M_\alpha \\ 0 \\ F_d \end{bmatrix} \quad (2.53)$$

2.2.2 Dokuz Serbestlik Dereceli Sönümlü Platformlu Jipin Hareket Denklemleri

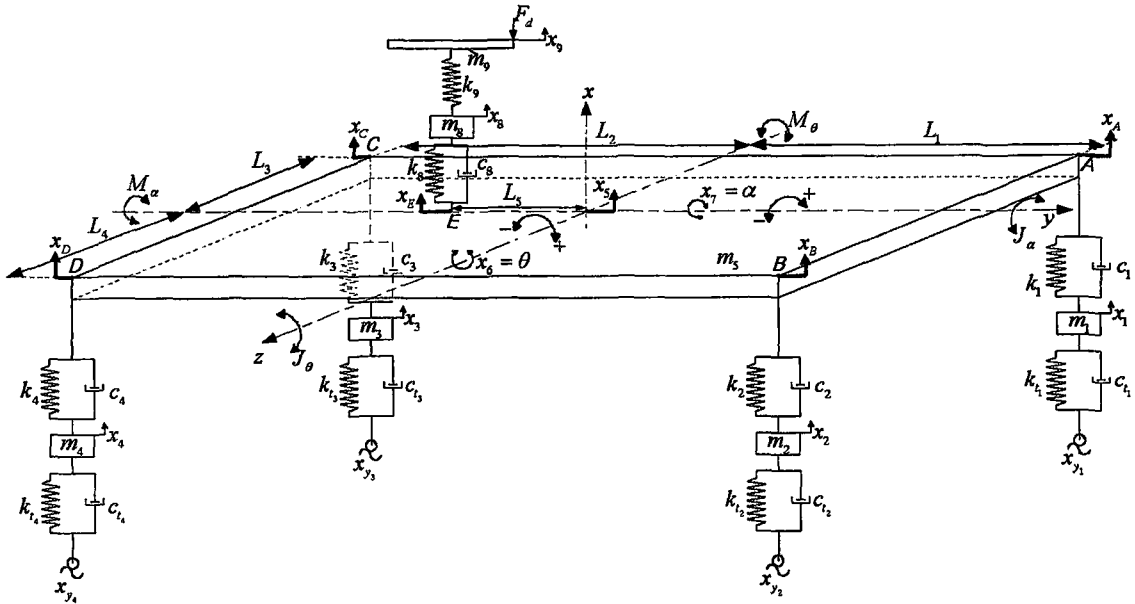
Bir önceki bölümde elde edilen denklem takımı basit matris işlemleri ile söz konusu modele dönüştürülebilir. Bunun için sönüm matrisinde ilave sönümleyiciye (c_8) ait ifadeleri gerekli yerlere eklemek kâfidir. İlave sönümleyiciye ait ifadeler, sadece bu elemandan etkilenecek iki kütle yani; platform ve silah için hareket denklemlerinin yeniden yazılmasıyla kolaylıkla elde edilirler. Sönüm matrisine eklenen elemanlar aşağıda satır – sütun indisleriyle birlikte verilmiştir. Ayrıca, Şekil 2.2’deki model üzerinde de gösterilmiştir.

$$C(5,8) = C(8,5) = -c_8 \quad (2.54)$$

$$C(6,8) = C(8,6) = -c_8 L_5 \quad (2.55)$$

$$C(8,8) = c_8 \quad (2.56)$$

$$C(8,9) = C(9,8) = -c_8 \quad (2.57)$$



Şekil 2.4 Dokuz serbestlik dereceli sönümlü platformlu jip modeli

2.2.3 Dokuz Serbestlik Dereceli Jipin Kritik Frekansları

Elde edilen matrisler Matlab® ortamında girilerek her bir yük durumu için doğal frekanslar hesaplatıldı. Hesaplama metodu olarak özdeğerler kullanıldı. Kullanılan program Ek 6'da verilmiştir. Çizelge 2.2'de jipin yüklü, yüksüz ve aşırı yüklü durumları için kritik frekanslar tablo halinde sunulmuştur.

Çizelge 2.2 Dokuz serbestlik dereceli jipin doğal frekansları

9SD-SNMZ		Jipin Yük Durumu		
		YKZ	YKL	AYK
Doğal Frekanslar (rad/s)	w_1	1.5501	1.4361	1.2773
	w_2	1.5711	1.5711	1.5711
	w_3	2.2026	2.2000	2.1975
	w_4	4.8798	4.8479	4.8102
	w_5	10.8737	10.8737	10.8737
	w_6	10.9229	10.9188	10.9138
	w_7	12.9411	12.9411	12.9411
	w_8	13.0584	13.0491	13.0378
	w_9	16.9717	16.9712	16.9706

2.2.4 Hareket Denklemlerinin Durum Uzayı Şekline Dönüştürülmesi

Jip modellerinin analizinde çözüm yöntemi olarak Durum – Uzay (State – Space) denklemleri seçilmişti. Elde edilen hareket denklemleri durum değişkenleri tanımlamak suretiyle durum uzayı denklemlerine dönüştürüldü. Bir durum-uzay modeli aşağıdaki bağıntıda gösterildiği üzere kurulur.

$$\begin{aligned} \dot{y} &= [A] \cdot y + [B] \cdot u \\ x &= [C] \cdot y + [D] \end{aligned} \quad (2.58)$$

Burada A (nxn) boyutlu Durum Matrisi, B (nxr) boyutlu Giriş Matrisi, C (mxn) boyutlu Çıkış Matrisi, D ise (mxr) 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 (Yüksel,2001).

Seçilen durum değişkenleri aşağıda verilmiştir:

$$\begin{aligned}
x_1 &= y_1 & \dot{x}_1 &= y_{10} = \dot{y}_1 \\
x_2 &= y_2 & \dot{x}_2 &= y_{11} = \dot{y}_2 \\
x_3 &= y_3 & \dot{x}_3 &= y_{12} = \dot{y}_3 \\
x_4 &= y_4 & \dot{x}_4 &= y_{13} = \dot{y}_4 \\
x_5 &= y_5 & \dot{x}_5 &= y_{14} = \dot{y}_5 \\
x_6 &= y_6 & \dot{x}_6 &= y_{15} = \dot{y}_6 \\
x_7 &= y_7 & \dot{x}_7 &= y_{16} = \dot{y}_7 \\
x_8 &= y_8 & \dot{x}_8 &= y_{17} = \dot{y}_8 \\
x_9 &= y_9 & \dot{x}_9 &= y_{18} = \dot{y}_9
\end{aligned} \tag{2.59}$$

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

$$\exists i, j, k \in C \text{ ve } i, j < n; \quad \forall x_i, x_i = y_j \text{ ve } \forall \dot{x}_i = y_{j+n} = \dot{y}_i \tag{2.60}$$

$$\forall i, M_{ii} \ddot{x}_i + \sum_{j=1}^n [C_{ij} \dot{x}_j + K_{ij} x_j] - F_i = 0 \tag{2.61}$$

$$\forall i, \ddot{x}_i = \frac{-1}{M_{ii}} \left[\sum_{j=1}^n [C_{ij} \dot{x}_j + K_{ij} x_j] - F_i \right] \tag{2.62}$$

$$\forall i, \ddot{y}_{i+n} = \frac{-1}{M_{ii}} \left[\sum_{j=1}^n [C_{ij} \dot{y}_{j+n} + K_{ij} y_j] - F_i \right] \tag{2.63}$$

$$A = \begin{bmatrix} [N] & [I] \\ -\frac{[I]}{[M]} \cdot [K] & -\frac{[I]}{[M]} \cdot [C] \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} [N] \\ [I] \cdot [F] \end{bmatrix} \tag{2.64}$$

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

Denklem 2.59'un ışığında durum-uzay modeli matrisleri denklem 2.60'da gösterildiği şekilde kolayca oluşturulabilir. Burada, n , serbestlik derecesini simgeleyecek şekilde:

- $[M]$: $n \times n$ boyutlu kütle matrisi
- $[C]$: $n \times n$ boyutlu sönüm matrisi
- $[K]$: $n \times n$ boyutlu katılık matrisi
- $[F]$: n boyutlu kuvvet vektörü
- $[I]$: $n \times n$ boyutlu asal matris

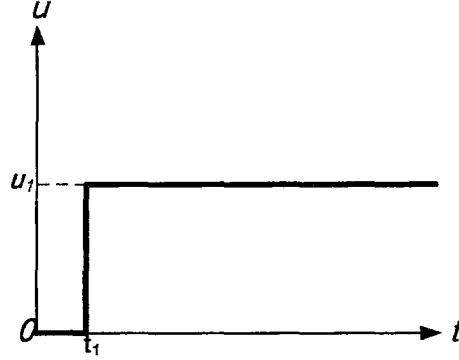
$[N]$: nxn boyutlu sıfır matris
 olmaktadır.

Durum değişkenlerini bu şekilde seçmek ve durum – uzay modelini bunun üzere kurmak görüldüğü gibi hareket denklemlerinden durum uzayına geçişte büyük kolaylık sağlamaktadır. Elde edilen hareket denklemleri, matris formunda Matlab® ‘de kullanıldığından, aynı şekilde durum–uzay modeli de bu matrisler kullanılarak tanımlanabilir.



3. JIP MODELLERİNİN SİMÜLASYONU

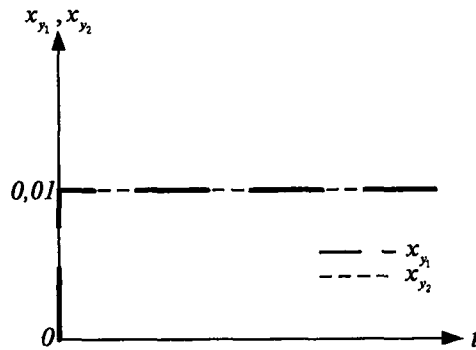
Askeri jip modellerinin simülasyonu, Simulink® yazılımında oluşturulan blok diyagramları ve Matlab®'de yazılan programlar kullanılarak gerçekleştirildi (Ek 5 – 8). Simülasyonlarda Adım (Step) yol fonksiyonu esas alındı (Şekil 3.1).



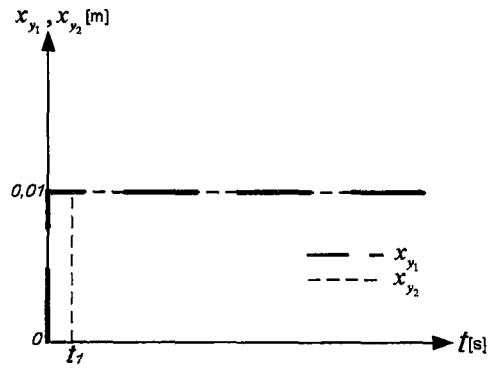
Şekil 3.1 Adım yol fonksiyonu

7SD model ve 9SD model için iki adet simülasyon yapıldı: Bunlardan birincisi jipin engele düz şekilde yani her iki ön tekerleğin aynı anda girmesi, ikinci olarak ise çapraz yani ön tekerleklerin bir zaman farkıyla girmesi olarak öngörülmüştür (Şekil 3.2 ve 3.3). Jipin silah platformu yerleştirilmeden evvelki halini anlamak amacıyla öncelikle 7SD modelin simülasyonuna geçildi. Jipin her bir yük durumu için işlemler tekrar edildi. Aksların zaman cevapları ardından gövdenin zaman cevapları ve frekans cevapları elde edilerek irdelendi.

9SD model, mevcut haline göre yani sönümsüz platformlu ve platform altında ilave bir sönüm elemanın bulunması durumları için ayrı ayrı incelendi. Her iki durumda da aracın yük şartları için ayrı ayrı simülasyon yapıldı. Aks ve gövdenin zaman cevapları ve gövdenin frekans cevapları elde edildi.



Şekil 3.2 Jipin ön tekerleklerinin aynı anda engele girmesi (düz) durumu



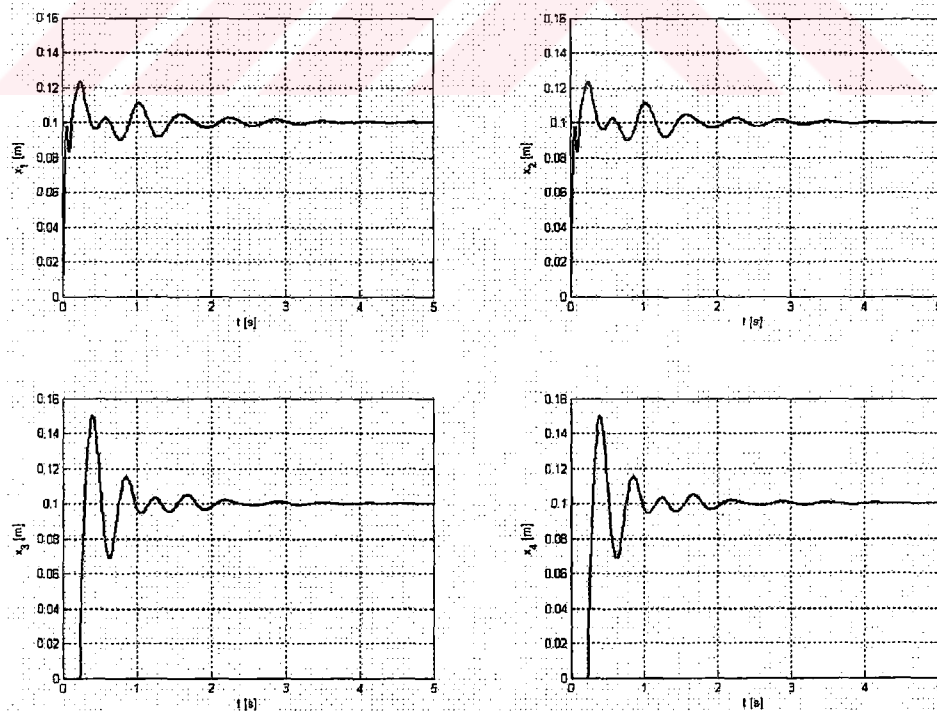
Şekil 3.3 Jipin ön tekerleklerinin zaman farkıyla engele girmesi (çapraz) durumu

3.1 Yedi Serbestlik Dereceli Jip Modelinin Simülasyonu

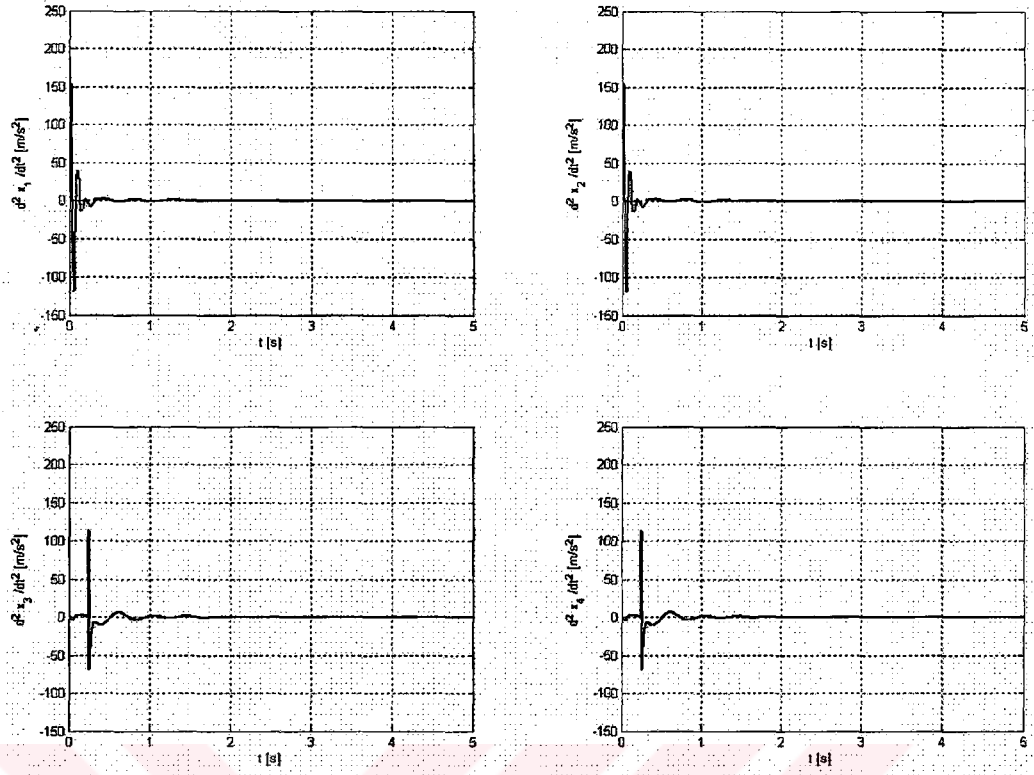
Yedi serbestlik dereceli model, yüksüz jip, yüklü jip ve aşırı yüklü jip yani sırasıyla $m_5=2600$ kg, $m_5=3100$ kg ve $m_5=4000$ kg durumları için incelendi. Her bir şartta jipin engele düz girmesi ve çapraz girmesi durumları öngörüldü. Zaman ve frekans cevapları çizdirildi.

3.1.1 Yedi Serbestlik Dereceli Yüksüz Model

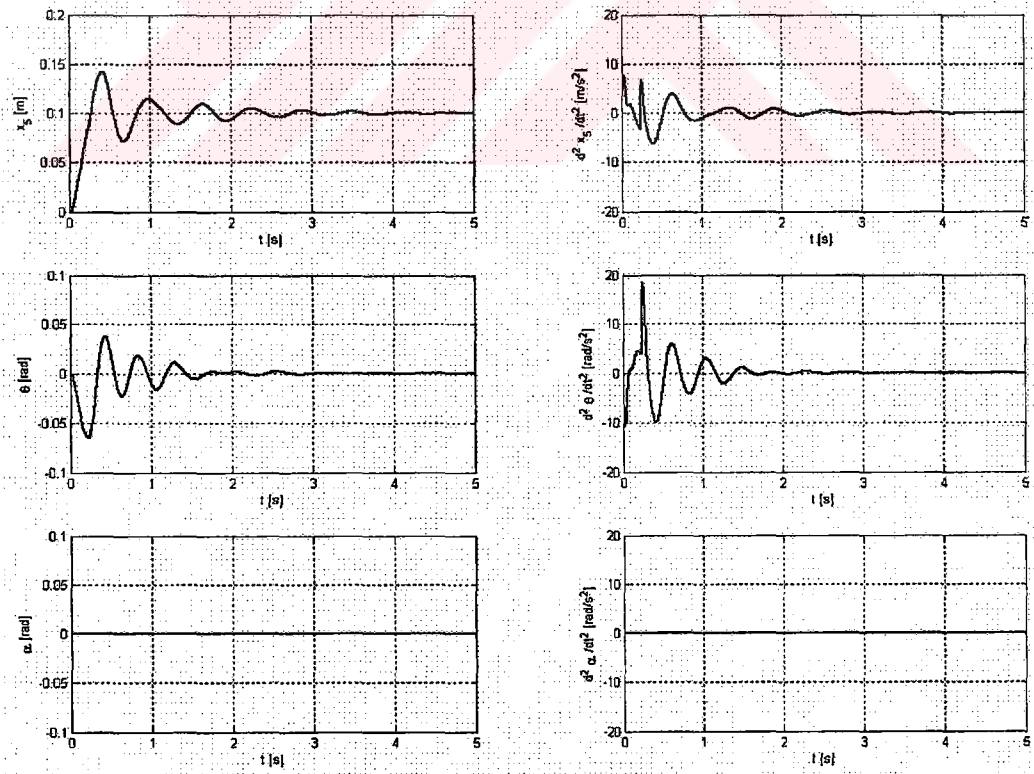
Yedi serbestlik dereceli yüksüz jipin engele düz girmesi durumunda aksların ve gövdenin yer değiştirme ve ivmesinin zaman cevapları sırasıyla Şekil 3.4, 3.5 ve 3.6 da verilmiştir.



Şekil 3.4 Yedi serbestlik dereceli yüksüz jipin engele düz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları



Şekil 3.5 Yedi serbestlik dereceli yüksüz jipin engele düz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları

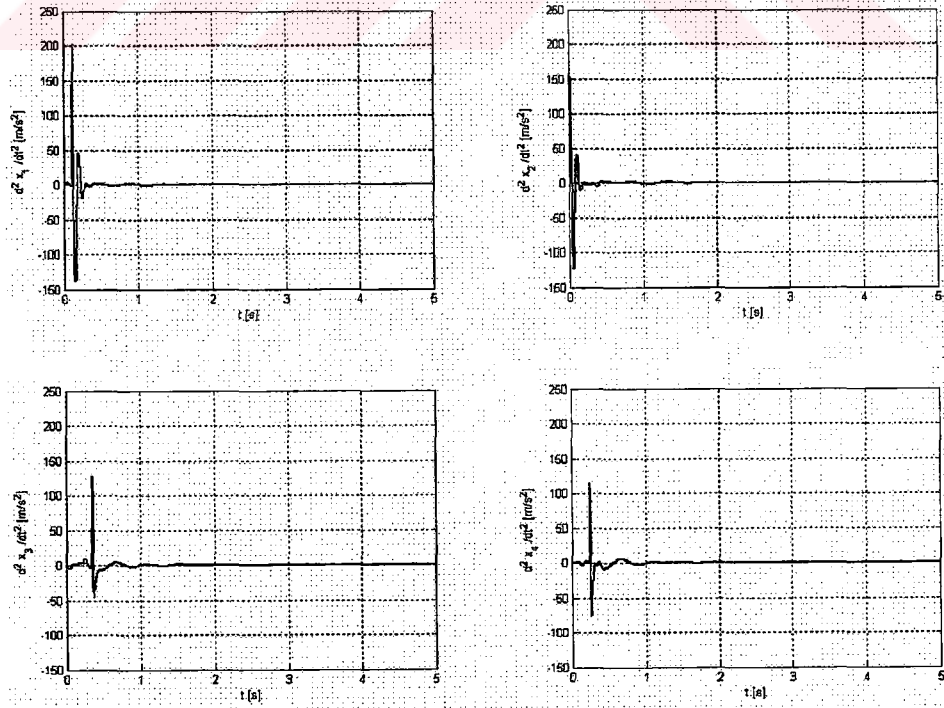


Şekil 3.6 Yedi serbestlik dereceli yüksüz jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme ve ivme zaman cevapları

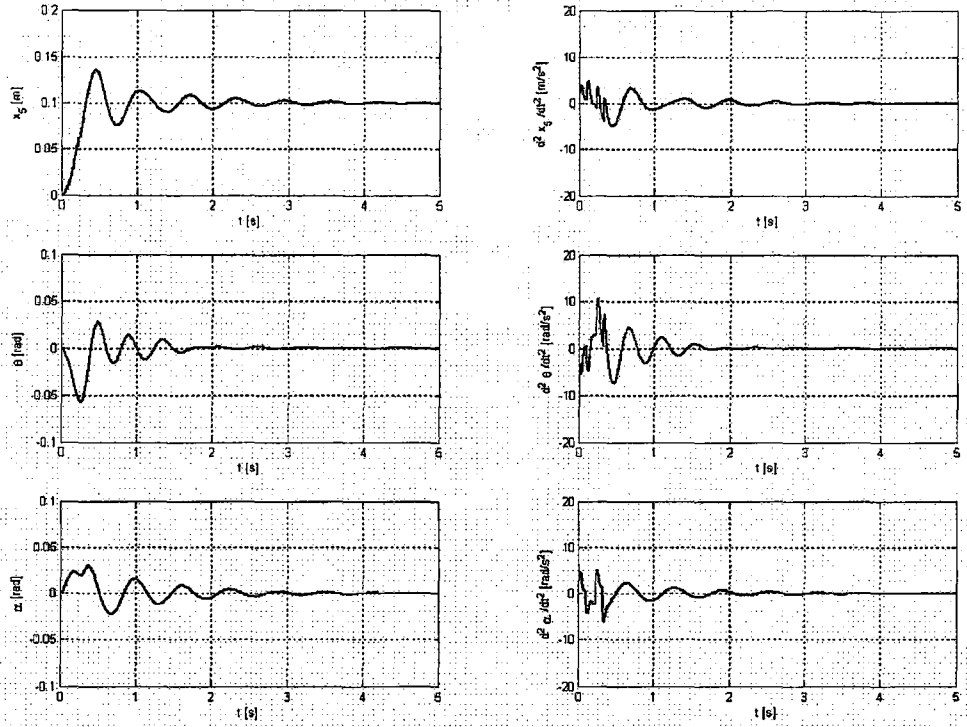
Yedi serbestlik dereceli yüksüz jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların ve gövdenin yer değiştirme ve ivmesinin zaman cevapları sırasıyla Şekil 3.7, 3.8 ve 3.9 da verilmiştir. Yedi serbestlik dereceli yüksüz jipin gövdesinin frekans cevapları ise Şekil 3.10 da verilmiştir.



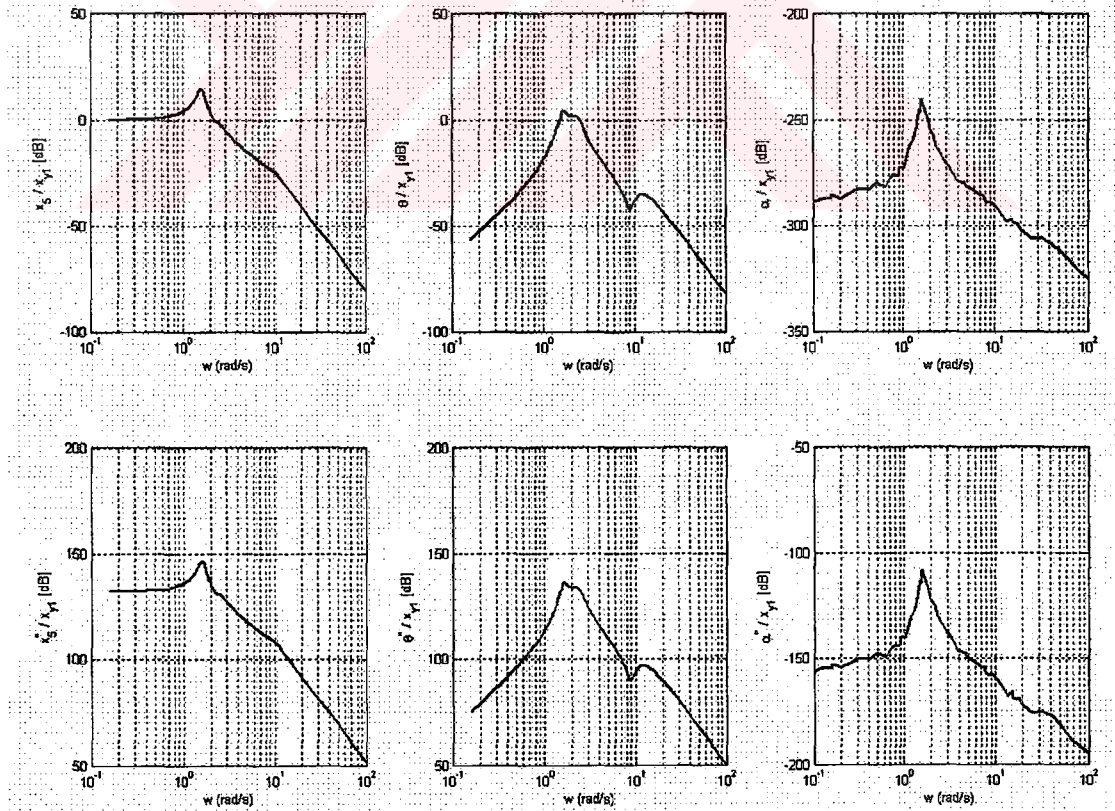
Şekil 3.7 Yedi serbestlik dereceli yüksüz jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları



Şekil 3.8 Yedi serbestlik dereceli yüksüz jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları



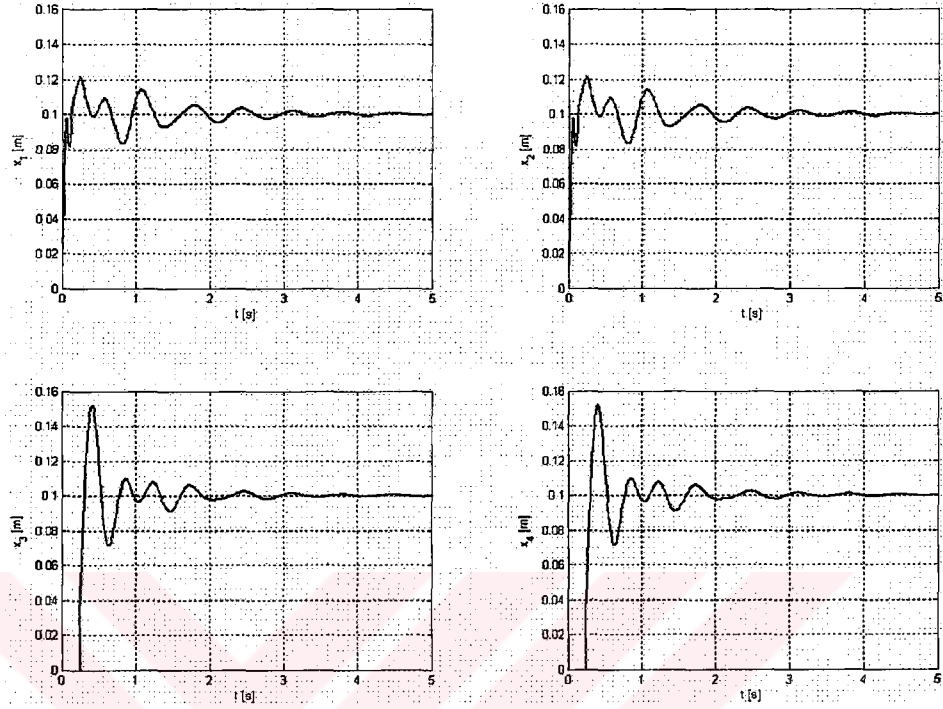
Şekil 3.9 Yedi serbestlik dereceli yüksüz jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme ve ivme zaman cevapları



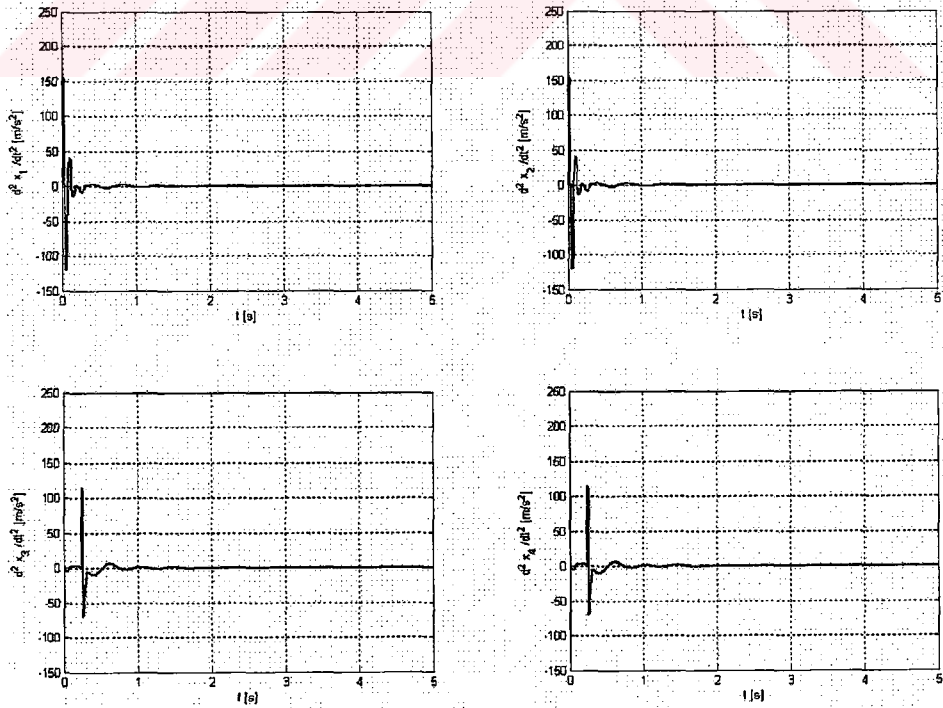
Şekil 3.10 Yedi serbestlik dereceli yüksüz jipin gövdesinin yerdeğiştirme ve ivme frekans cevapları

3.1.2 Yedi Serbestlik Dereceli Yüklü Model

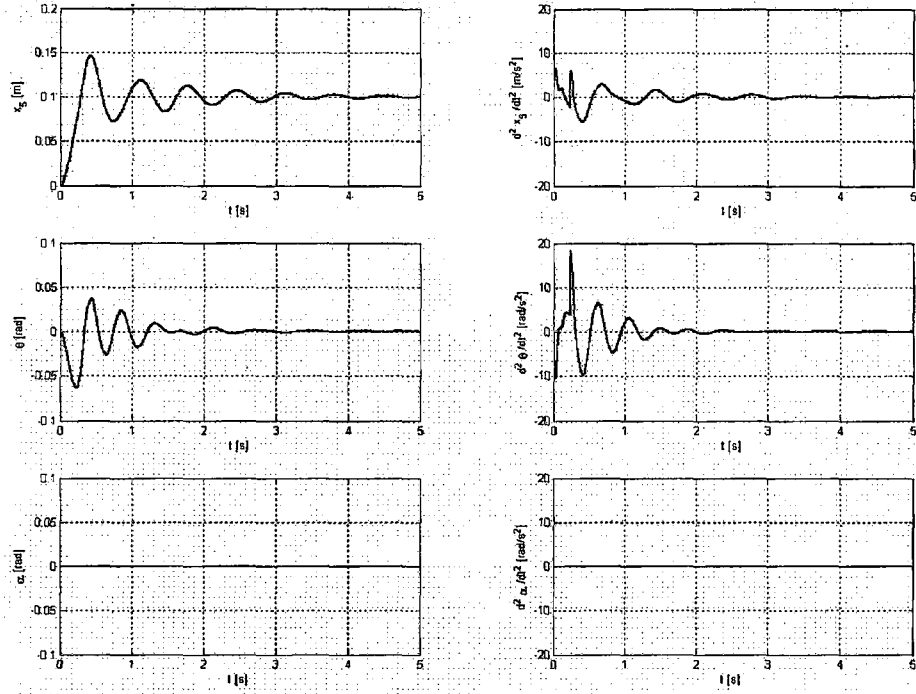
Yedi serbestlik dereceli yüklü jipin engele düz girmesi durumunda aksların ve gövdenin yer değiştirme ve ivmesinin zaman cevapları sırasıyla Şekil 3.11, 3.12 ve 3.13 da verilmiştir.



Şekil 3.11 Yedi serbestlik dereceli yüklü jipin engele düz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları

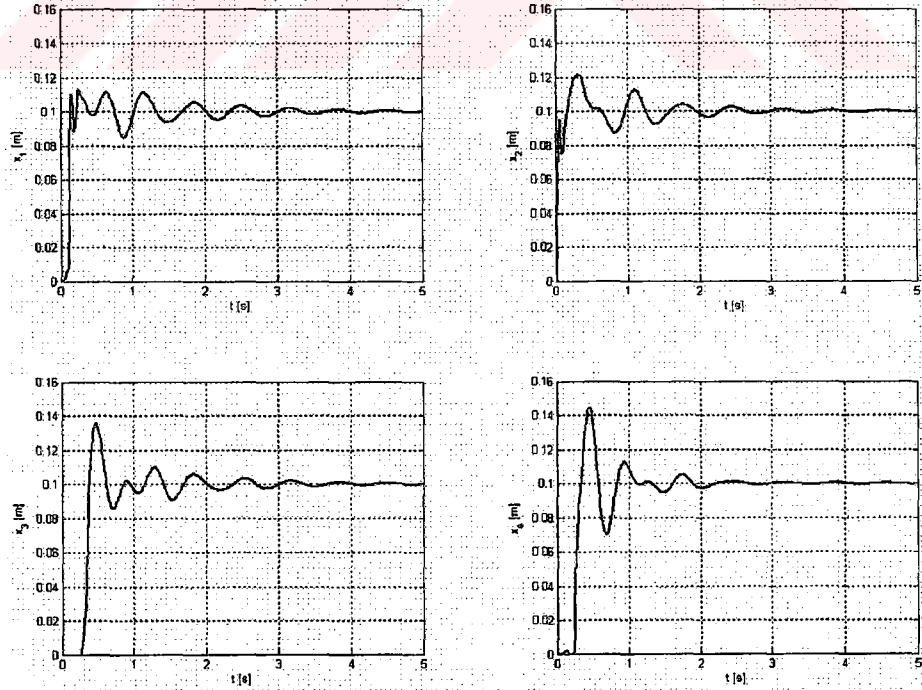


Şekil 3.12 Yedi serbestlik dereceli yüklü jipin engele düz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları

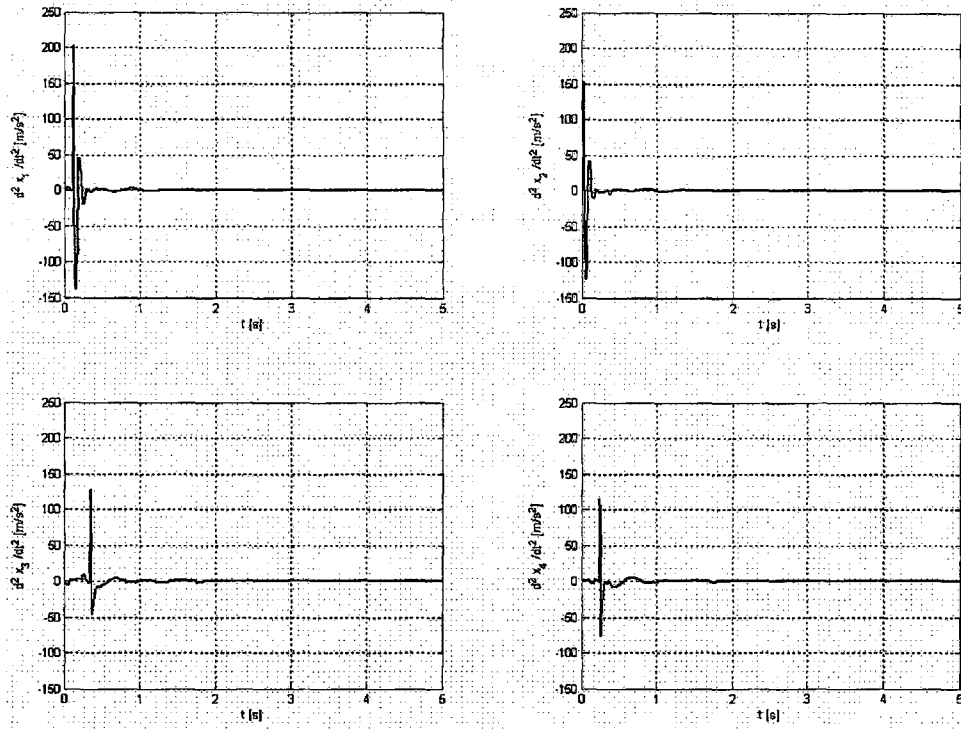


Şekil 3.13 Yedi serbestlik dereceli yüklü jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme ve ivme zaman cevapları

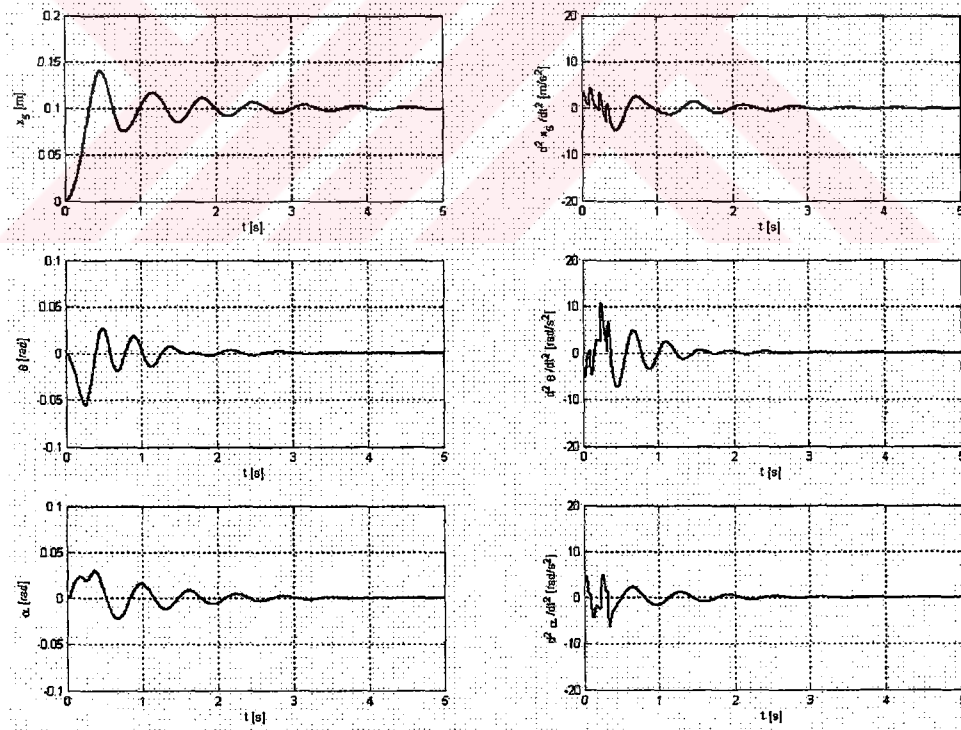
Yedi serbestlik dereceli yüklü jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların ve gövdenin yer değiştirme ve ivmesinin zaman cevapları sırasıyla Şekil 3.14, 3.15 ve 3.16 da verilmiştir. 7SD yüksüz jipin gövdesinin frekans cevapları ise Şekil 3.17 de verilmiştir.



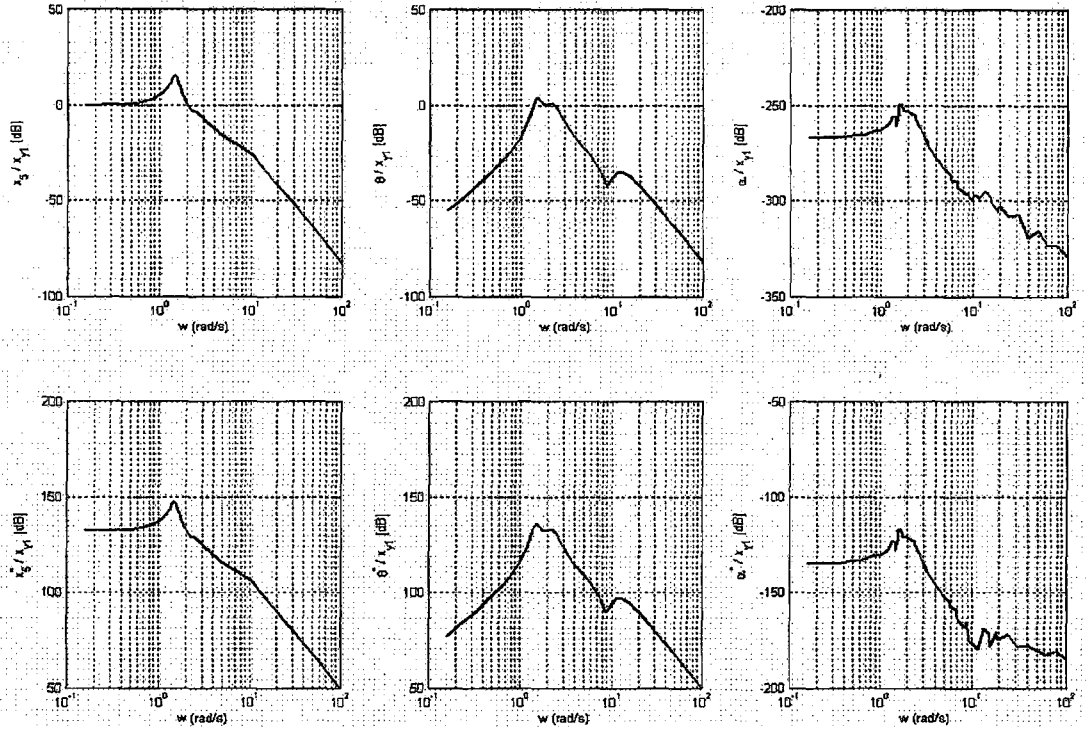
Şekil 3.14 Yedi serbestlik dereceli yüklü jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları



Şekil 3.15 Yedi serbestlik dereceli yüklü jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları



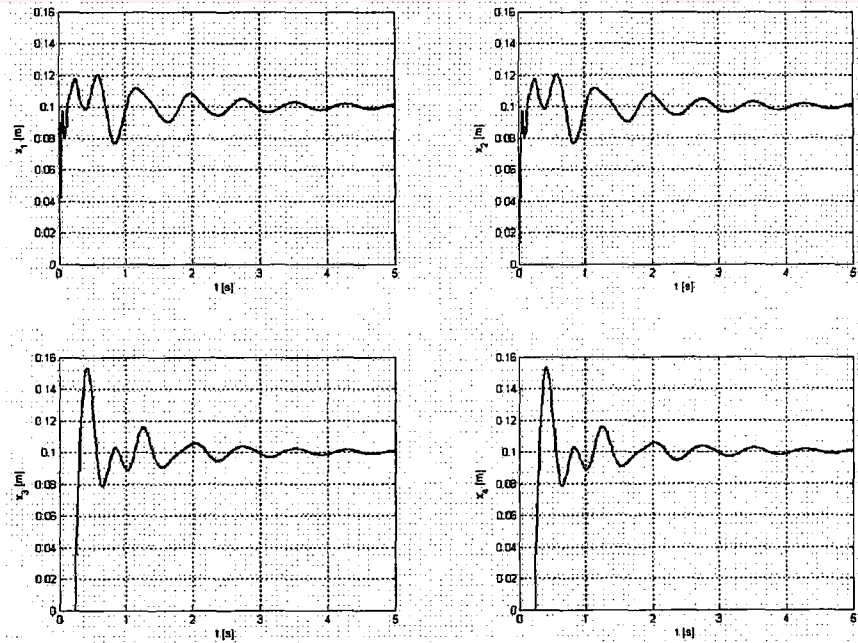
Şekil 3.16 Yedi serbestlik dereceli yüklü jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme ve ivme zaman cevapları



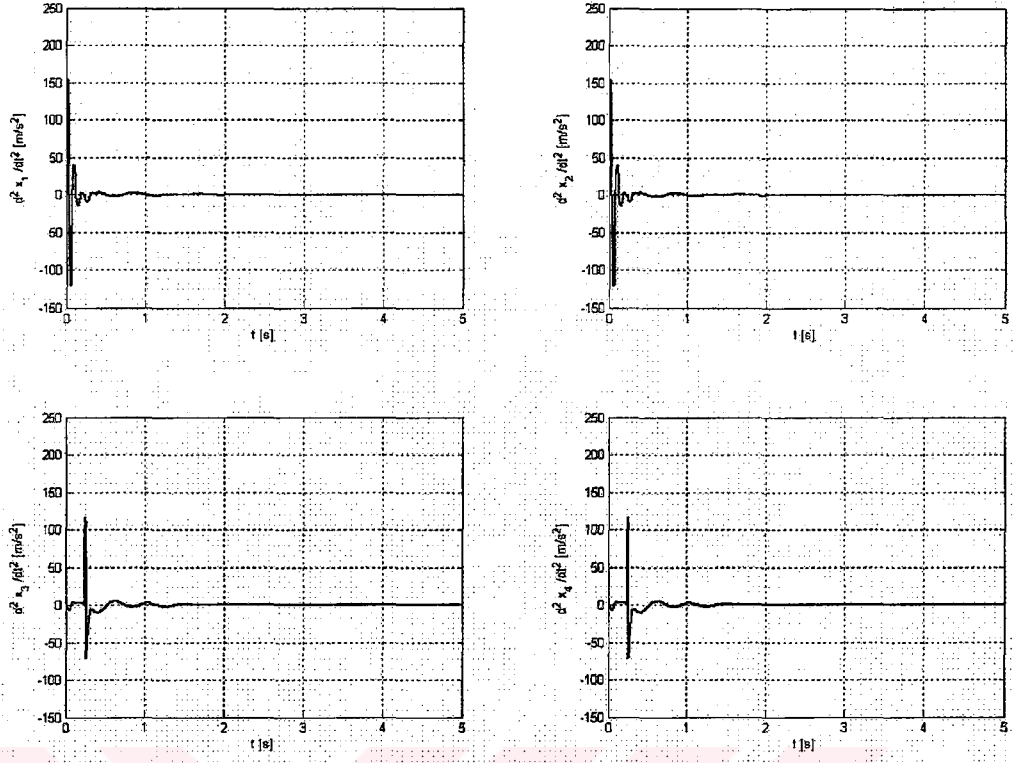
Şekil 3.17 Yedi serbestlik dereceli yüklü jipin gövdesinin yerdeğiştirme ve ivme frekans cevapları

3.1.3 Yedi Serbestlik Dereceli Aşırı Yüklü Model

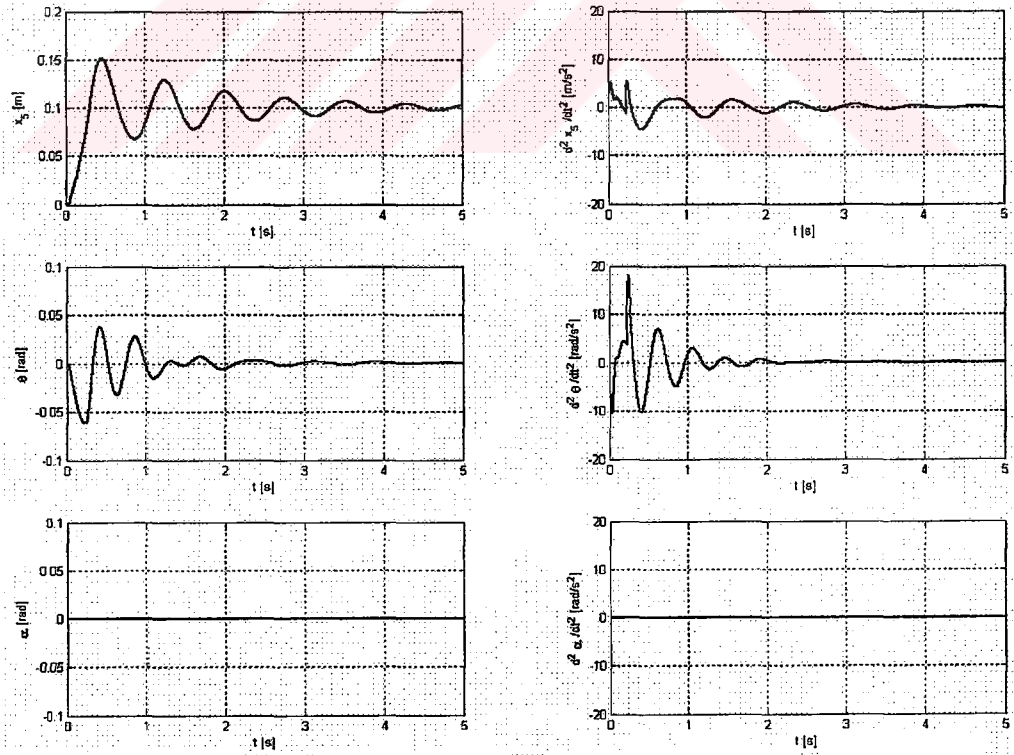
Yedi serbestlik dereceli aşırı yüklü jipin engele düz girmesi durumunda aksların ve gövdenin yer değiştirme ve ivmesinin zaman cevapları sırasıyla Şekil 3.18, 3.19 ve 3.20 de verilmiştir.



Şekil 3.18 Yedi serbestlik dereceli aşırı yüklü jipin engele düz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları

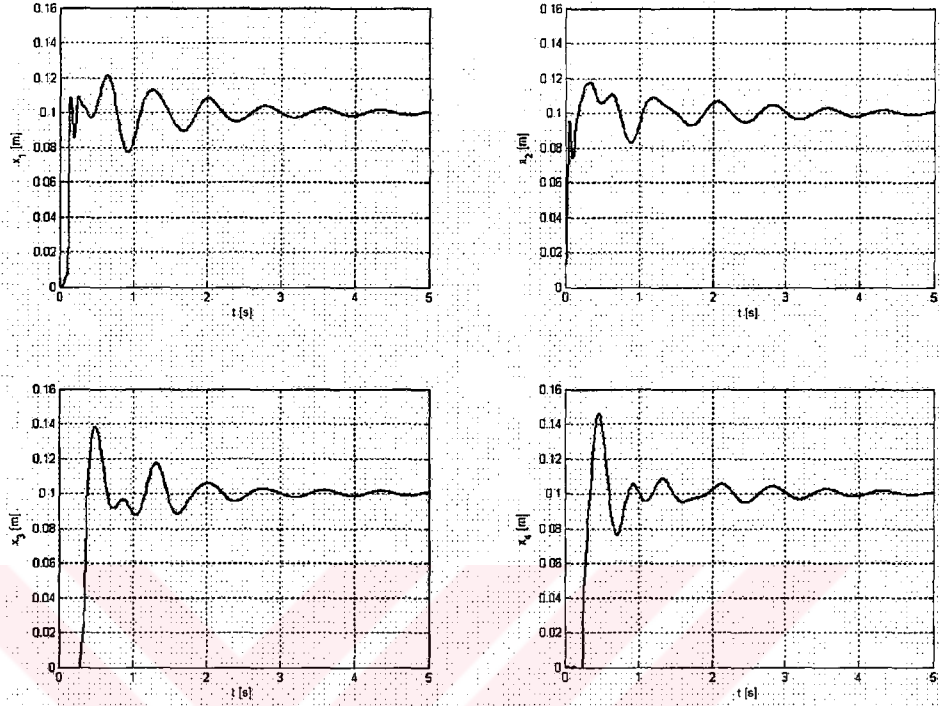


Şekil 3.19 Yedi serbestlik dereceli aşırı yüklü jipin engele düz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları

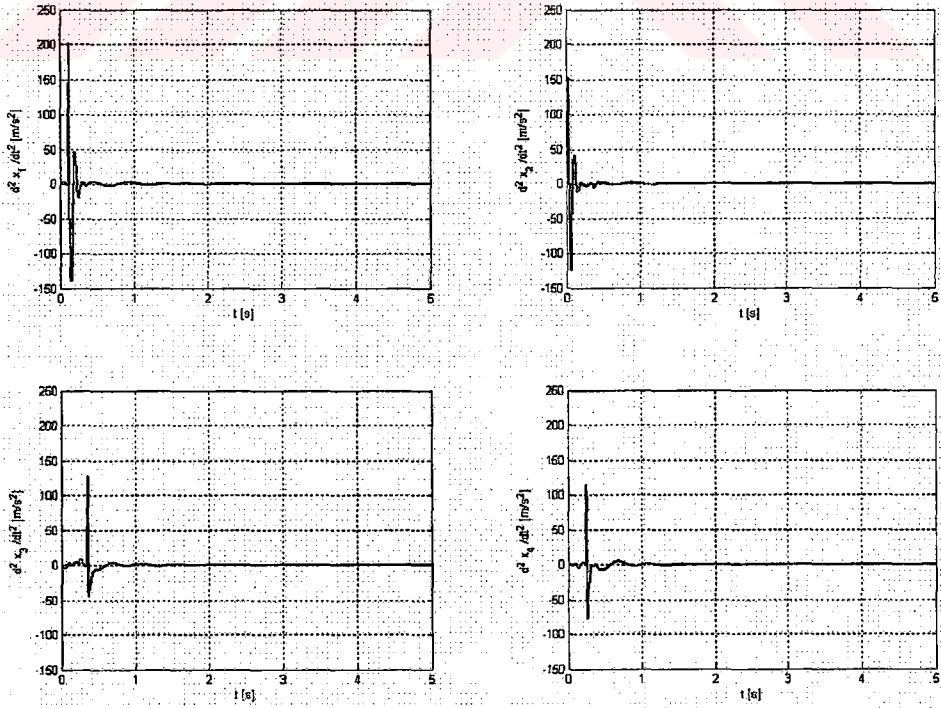


Şekil 3.20 Yedi serbestlik dereceli aşırı yüklü jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme ve ivme zaman cevapları

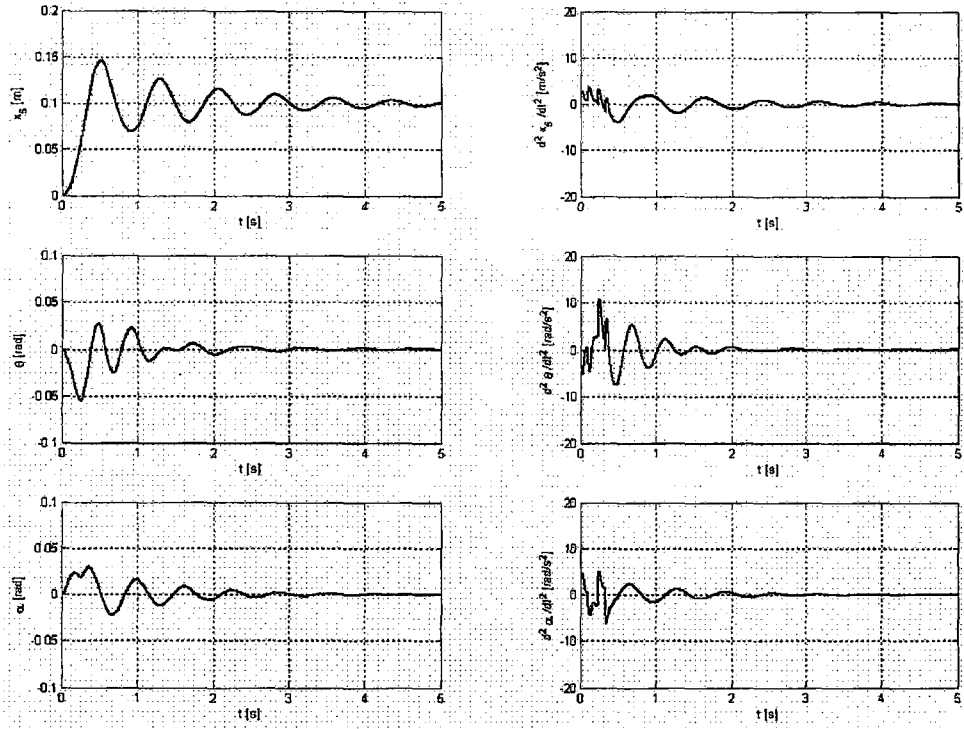
Yedi serbestlik dereceli yüklü jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların ve gövdenin yer değiştirme ve ivmesinin zaman cevapları sırasıyla Şekil 3.21, 3.22 ve 3.23 de verilmiştir. 7SD aşırı yüklü jipin gövdesinin frekans cevapları ise Şekil 3.24 de verilmiştir.



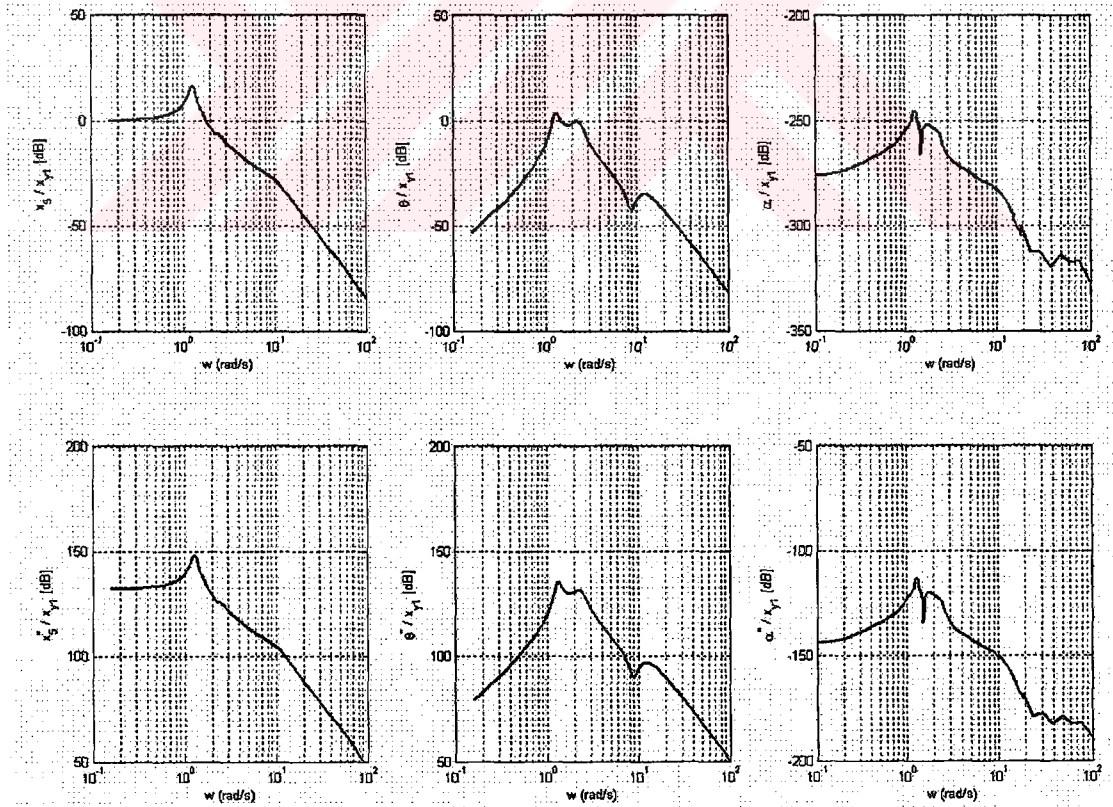
Şekil 3.21 Yedi serbestlik dereceli aşırı yüklü jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları



Şekil 3.22 Yedi serbestlik dereceli aşırı yüklü jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları



Şekil 3.23 Yedi serbestlik dereceli aşırı yüklü jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme ve ivme zaman cevapları



Şekil 3.24 Yedi serbestlik dereceli aşırı yüklü jipin gövdesinin yerdeğiştirme ve ivme frekans cevapları

7SD jipin simülasyonu sonucunda sistemin kararlı bir davranış sergilediği görüldü. Gövdenin zaman cevaplarında düşük seviyelerde maksimum genlikler ve kısa sükûnete erme süreleri gözlemlendi. Keza frekans cevaplarında da iyi sonuçlar elde edildi. Rezonans tepeleri ile karşılaşmadı. Ayrıca, jipin yük durumunun zaman ve frekans cevaplarını önemli ölçüde etkilemediği görüldü. Tüm yük şartlarında, jipin engele düz girmesi durumuna yalpanın olmadığı, çapraz girmesi durumunun ise gövde ve kafa vurma genliklerini düşürdüğü, ivme tepe noktalarını aşağıya çektiği ve sükûnete erme zamanlarını kısalttığı görüldü.

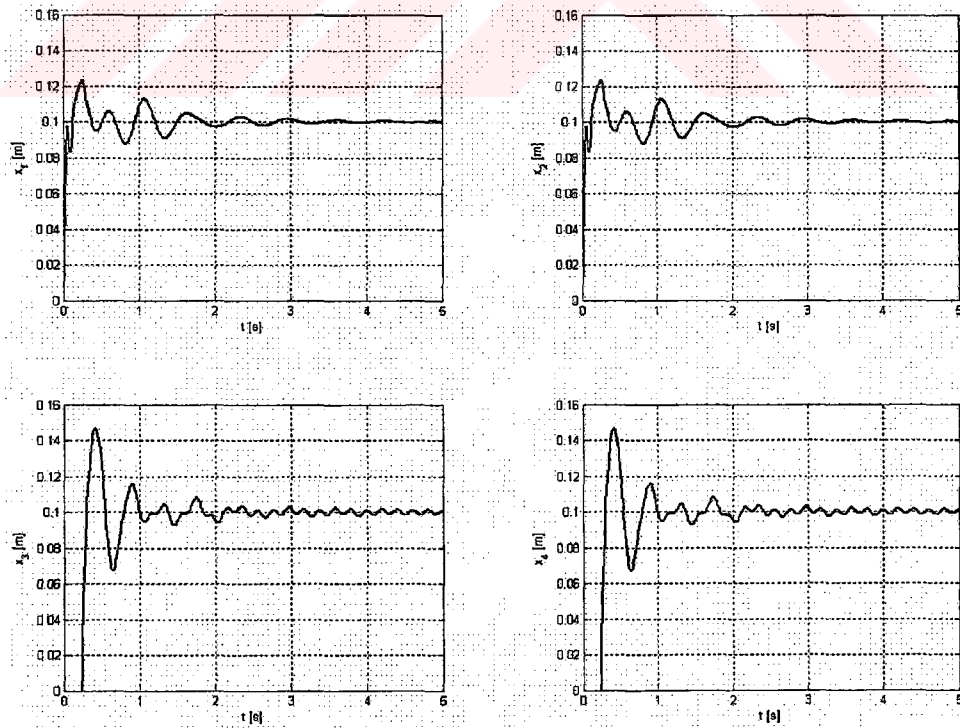
3.2 Dokuz Serbestlik Dereceli Jip Modelinin Simülasyonu

Dokuz serbestlik dereceli sistem de aynı yedi serbestlik dereceli sistemde olduğu gibi jipin yük şartları ana başlıkları altında incelendi. Her bir yük şartında, sistem önce sönümsüz platformlu, hemen ardından sönümlü platformlu olarak simüle edildi. Platforma ilave edilen sönümleyicinin sönüm oranı $\xi = 0,6$ olacak şekilde seçildi.

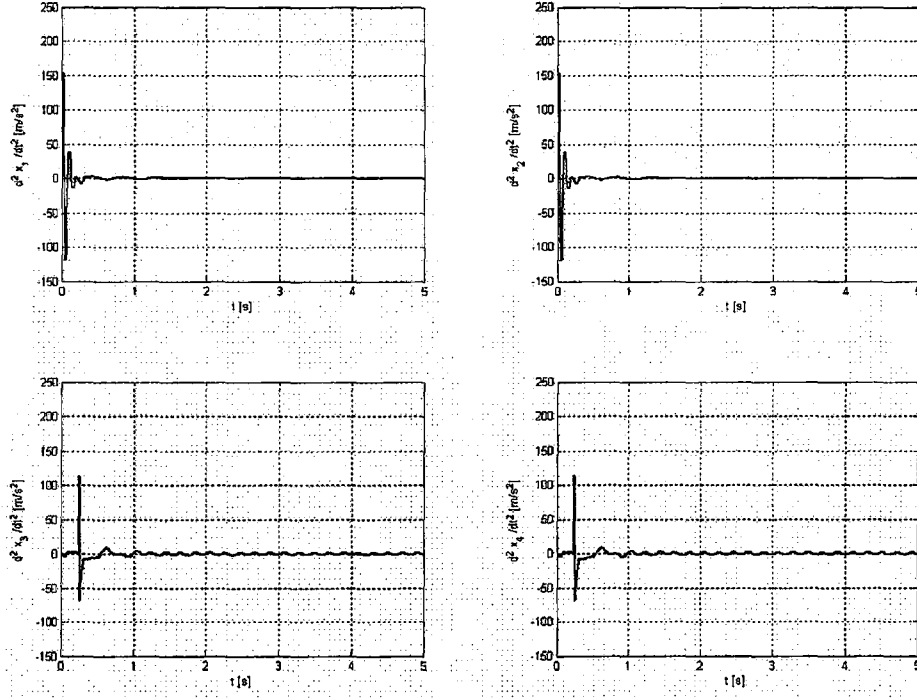
3.2.1 Dokuz Serbestlik Dereceli Yüksüz Model

3.2.1.1 Dokuz Serbestlik Dereceli Yüksüz, Sönümsüz Platformlu Model

9SD yüksüz, sönümsüz platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme ve ivmesinin zaman cevapları sırasıyla Şekil 3.25 ve 3.26 da verilmiştir.

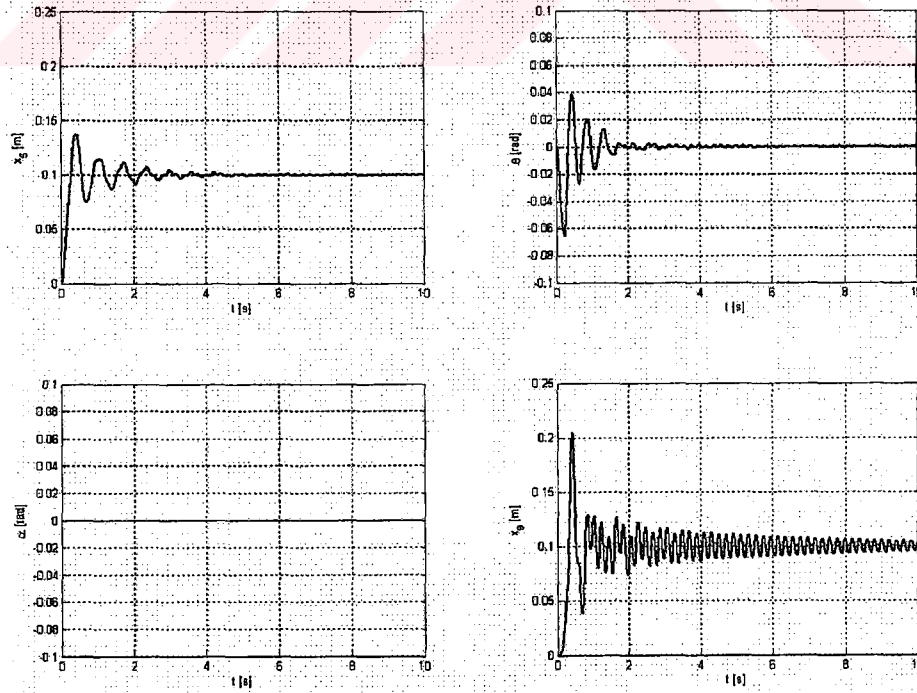


Şekil 3.25 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümsüz platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları

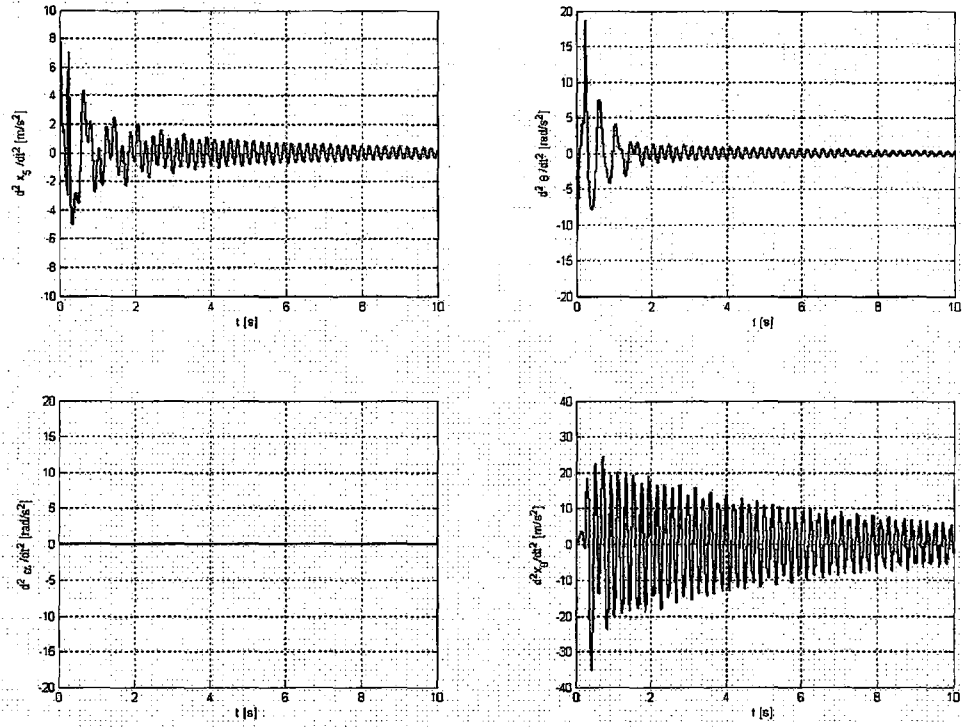


Şekil 3.26 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümsüz platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları

9SD yüksüz, sönümsüz platformlu jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin, kafa vurmanın ve yalpalamanın yer değiştirme ve ivmesinin zaman cevapları sırasıyla Şekil 3.27 ve 3.28 de verilmiştir.

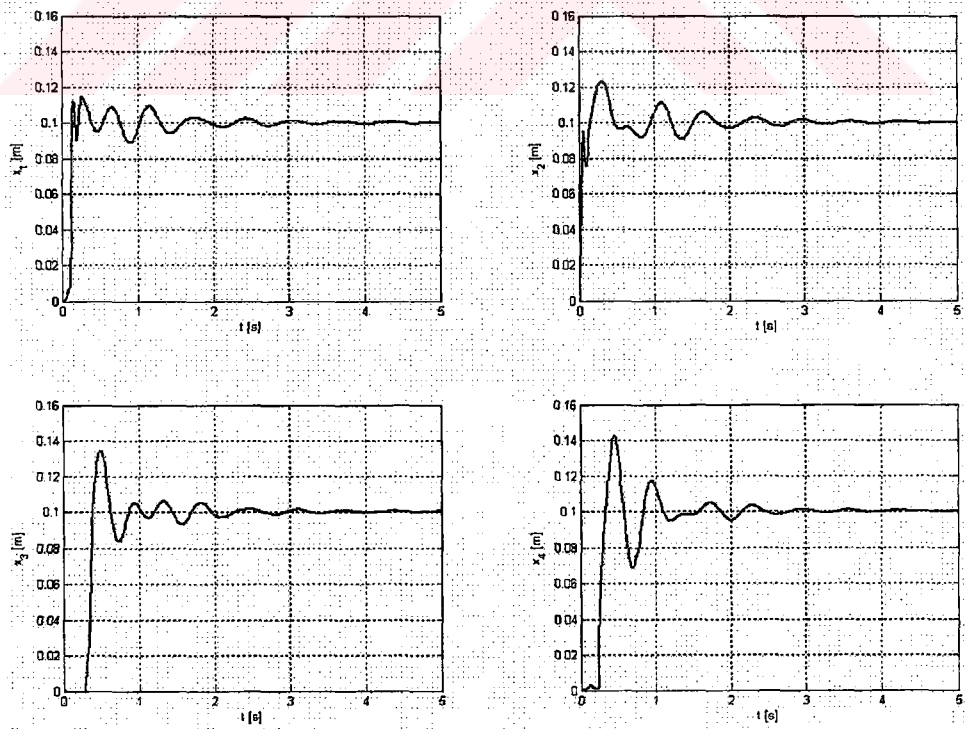


Şekil 3.27 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümsüz platformlu jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme zaman cevapları

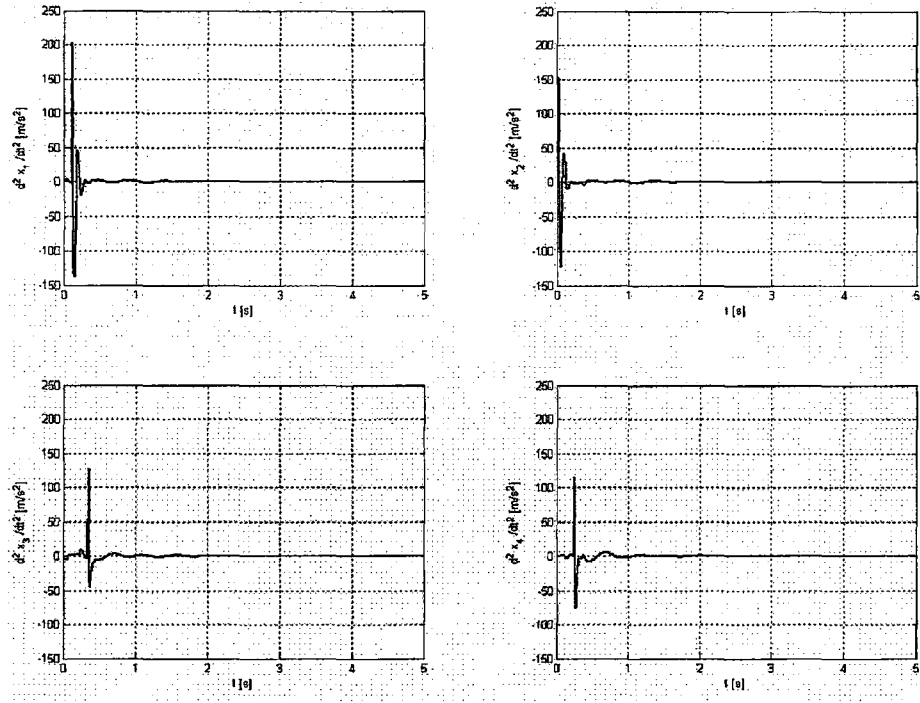


Şekil 3.28 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümsüz platformlu jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin ivme zaman cevapları

9SD yüksüz, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların yer değiştirme ve ivmesinin zaman cevapları sırasıyla Şekil 3.29 ve 3.30 da verilmiştir.

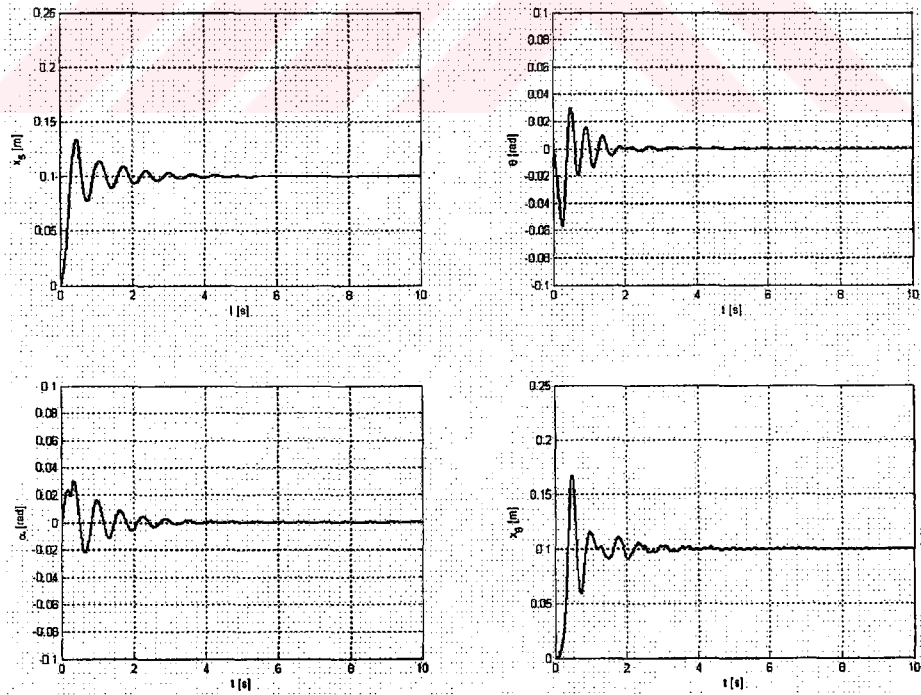


Şekil 3.29 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları

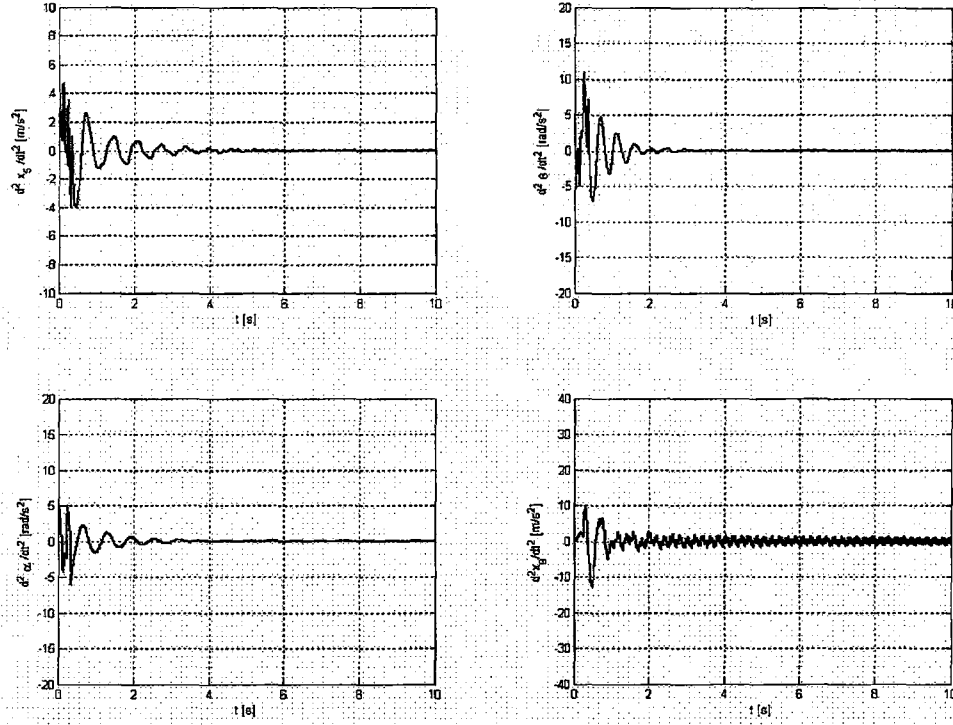


Şekil 3.30 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları

9SD yüksüz, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin, kafa vurmanın ve yalpalamanın yer değiştirme ve ivmesinin zaman cevapları sırasıyla Şekil 3.31 ve 3.32 de verilmiştir.

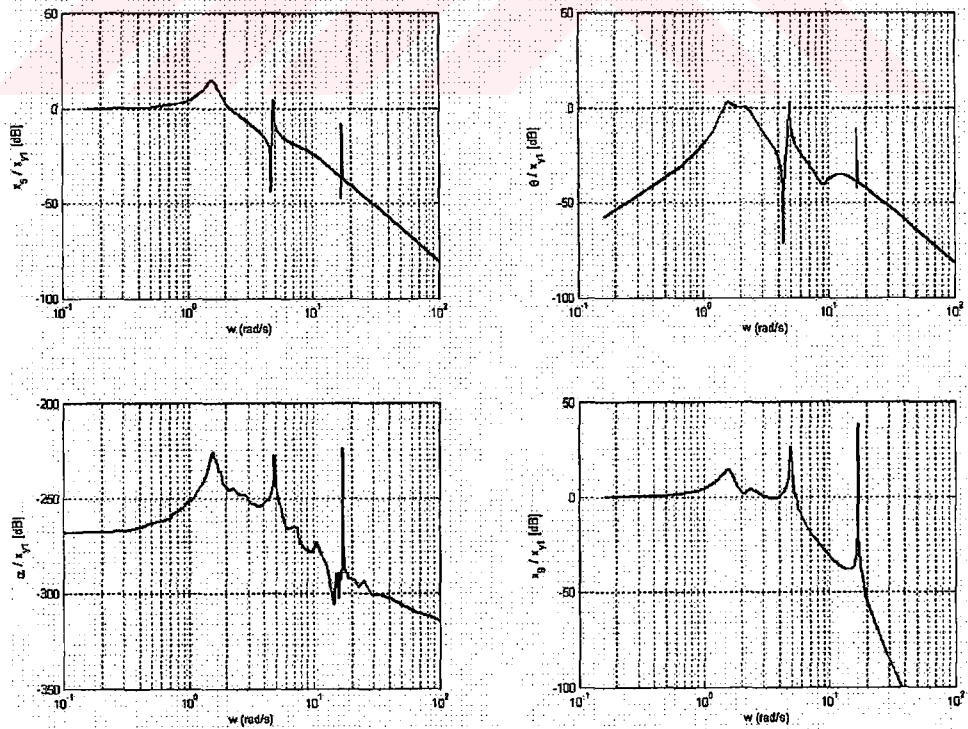


Şekil 3.31 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme zaman cevapları

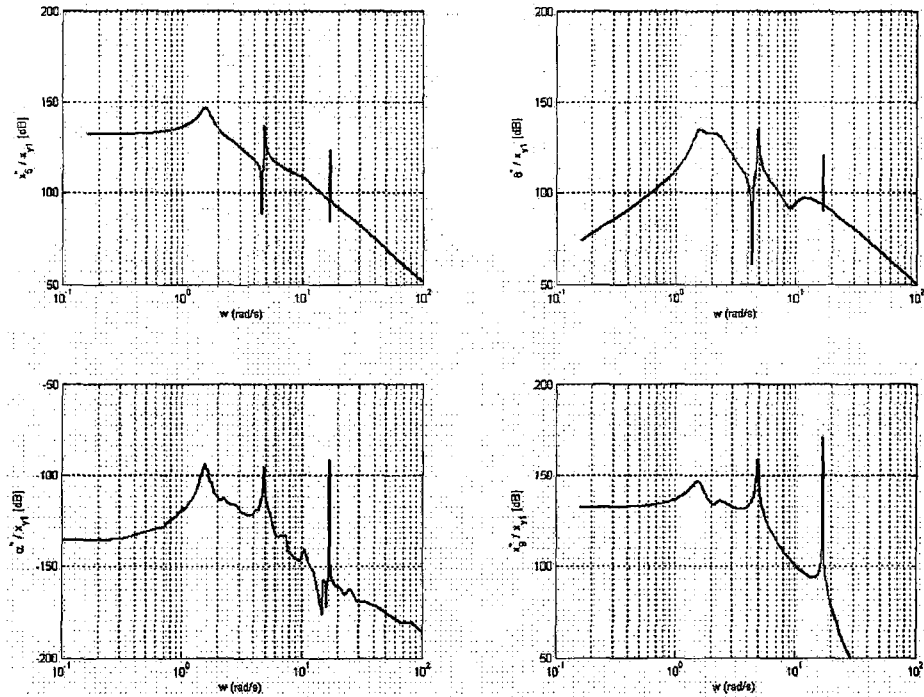


Şekil 3.32 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin ivme zaman cevapları

9SD yüksüz, sönümsüz platformlu jipin gövdesinin, kafa vurmasının ve yalpalamasının yer değiştirme ve ivmesinin frekans cevapları sırasıyla Şekil 3.33 ve 3.34 de verilmiştir.



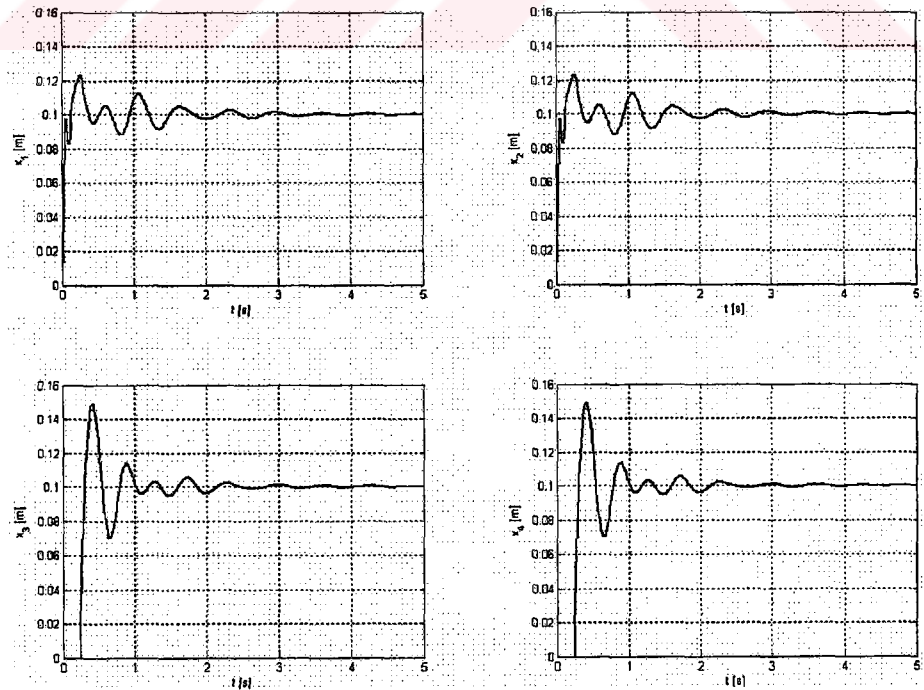
Şekil 3.33 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümsüz platformlu jipin gövdesinin yerdeğiştirme frekans cevapları



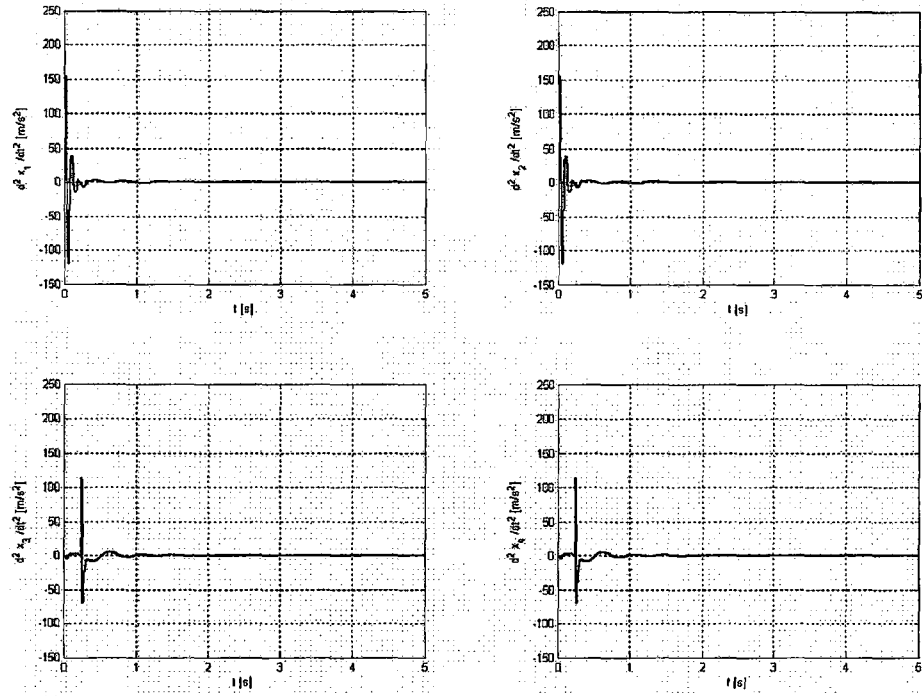
Şekil 3.34 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümsüz platformlu jipin gövdesinin ivme frekans cevapları

3.2.1.2 Dokuz Serbestlik Dereceli Yüksüz, Sönümlü Platformlu Model

9SD yüksüz, sönümlü platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme ve ivmesinin zaman cevapları sırasıyla Şekil 3.35 ve 3.36 da verilmiştir.

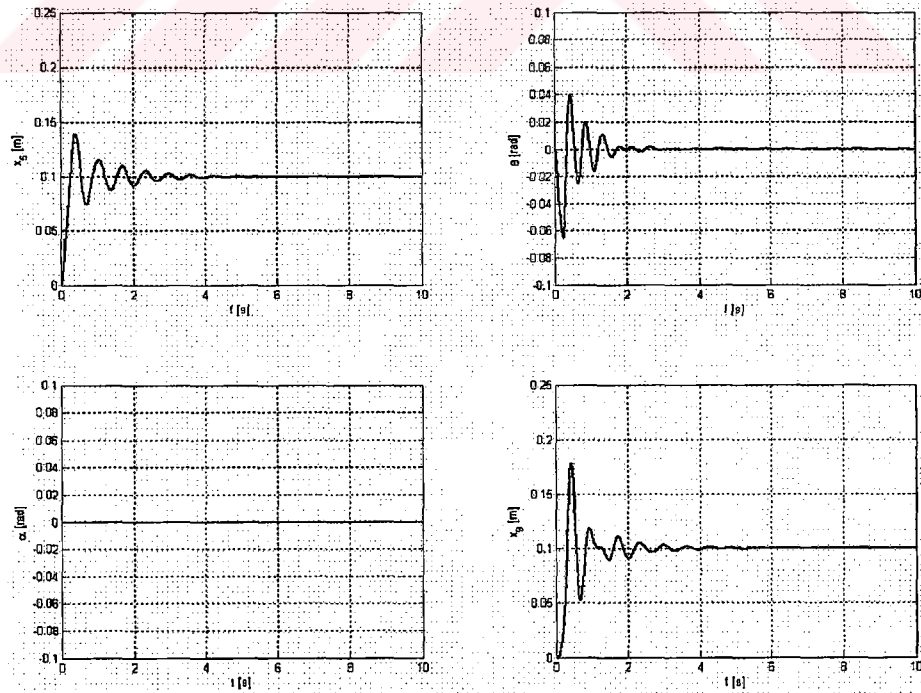


Şekil 3.35 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümlü platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları

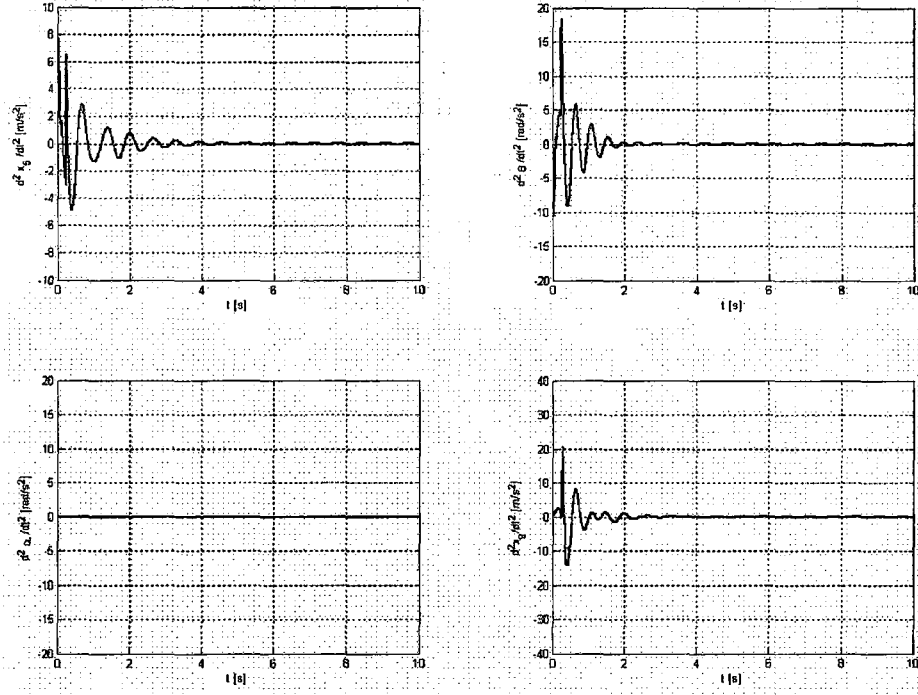


Şekil 3.36 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümlü platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları

9SD yüksüz, sönümlü platformlu jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin, kafa vurmanın ve yalpalamanın yer değiştirme ve ivmesinin zaman cevapları sırasıyla Şekil 3.37 ve 3.38 de verilmiştir.

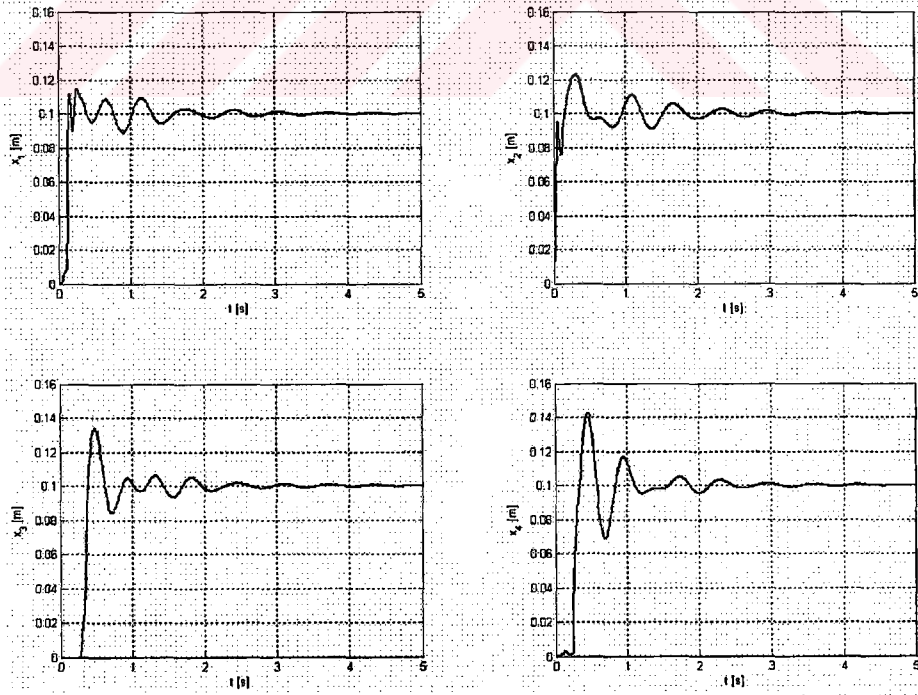


Şekil 3.37 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümlü platformlu jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme zaman cevapları

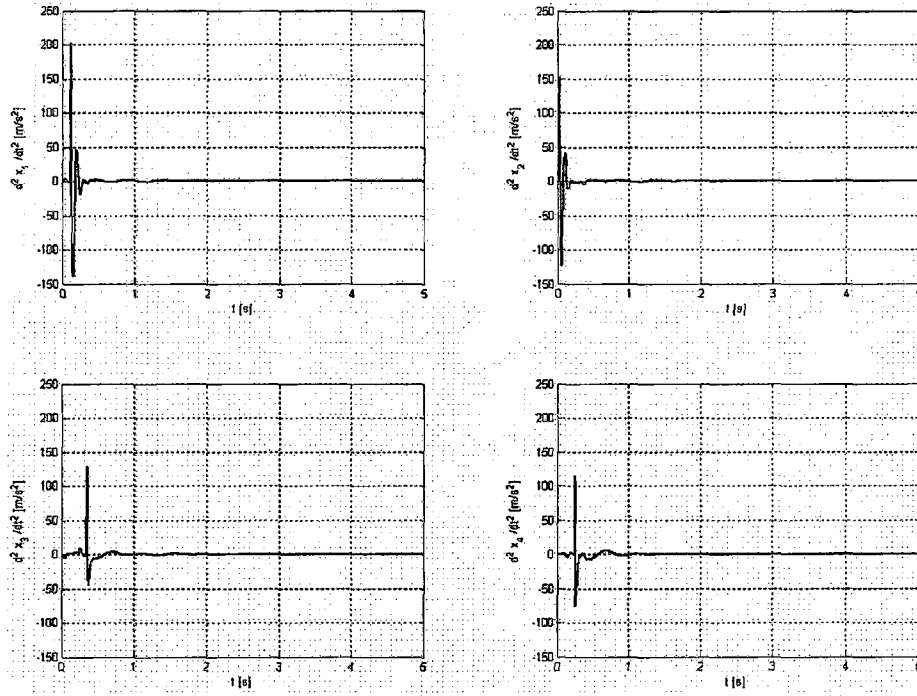


Şekil 3.38 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümlü platformlu jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin ivme zaman cevapları

9SD yüksüz, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme ve ivmesinin zaman cevapları sırasıyla Şekil 3.39 ve 3.40 da verilmiştir.

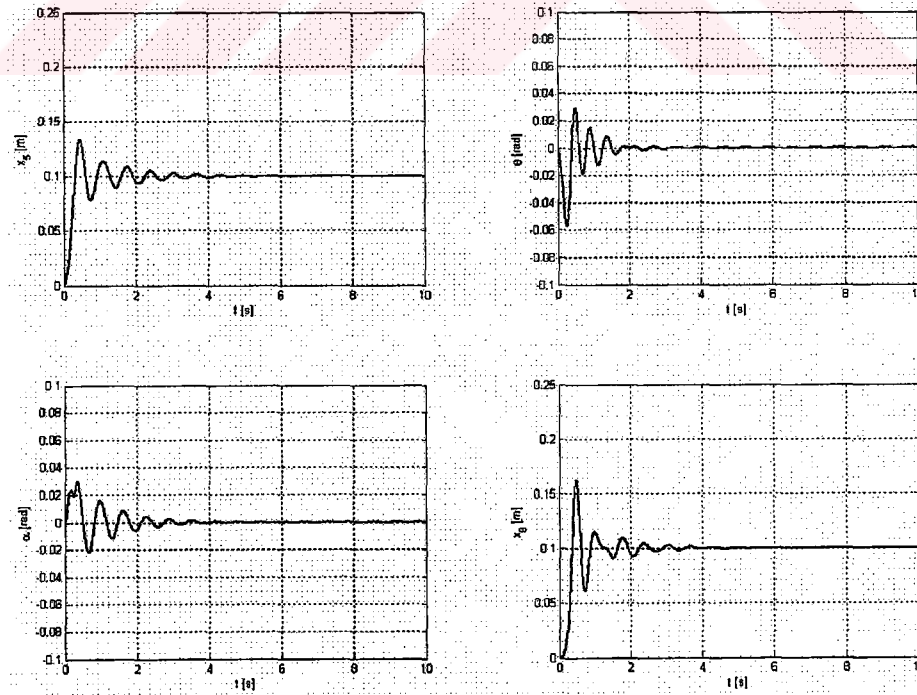


Şekil 3.39 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları

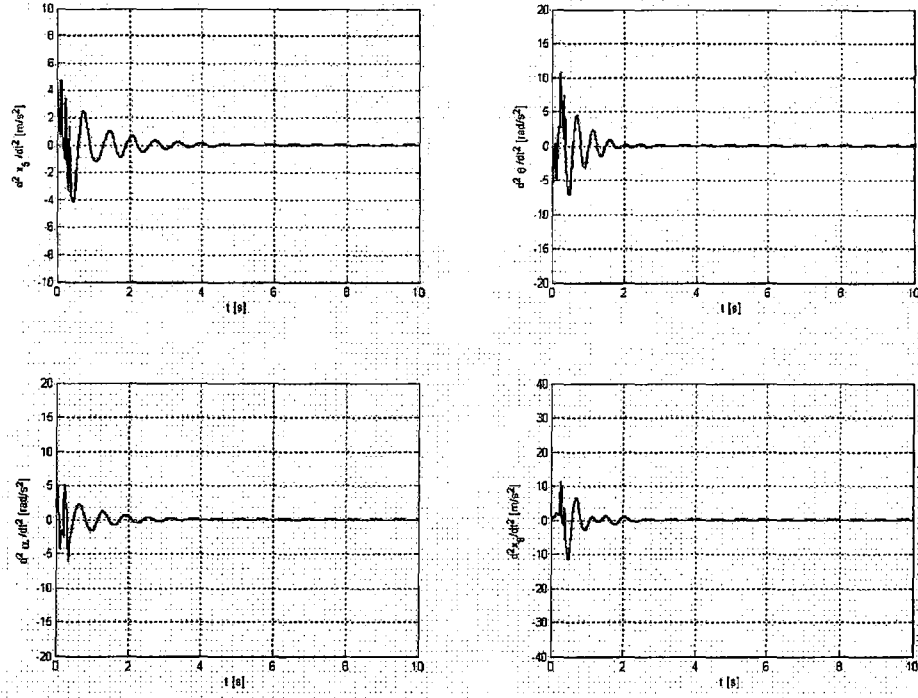


Şekil 3.40 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları

9SD yüksüz, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin, kafa vurmanın ve yalpalamasının yer değiştirme ve ivmesinin zaman cevapları sırasıyla Şekil 3.41 ve 3.42 de verilmiştir.

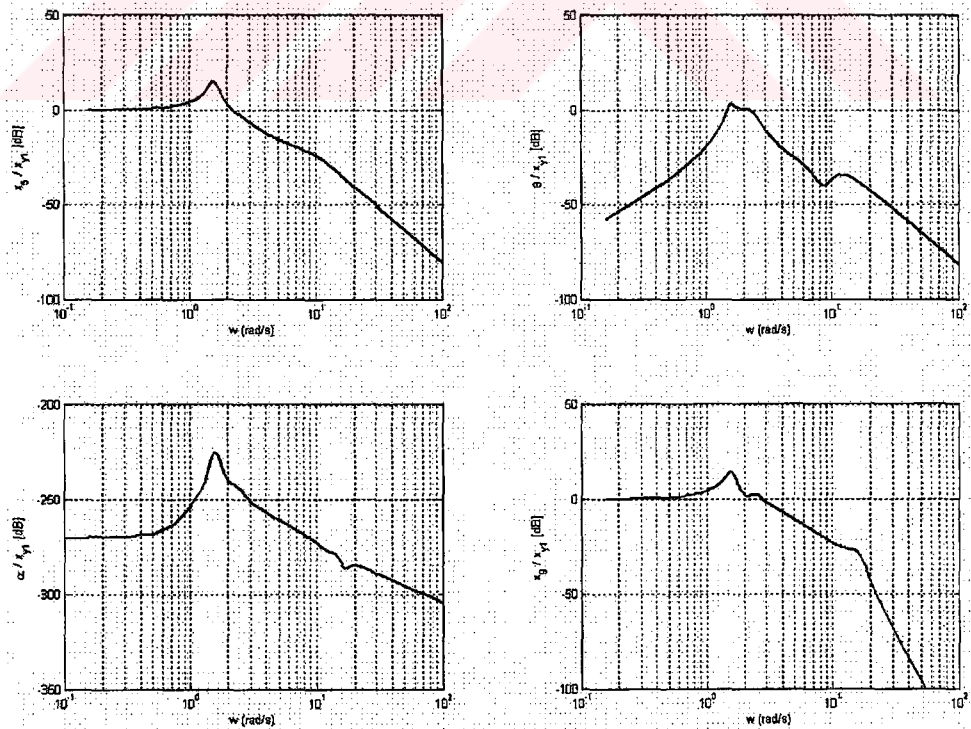


Şekil 3.41 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme zaman cevapları

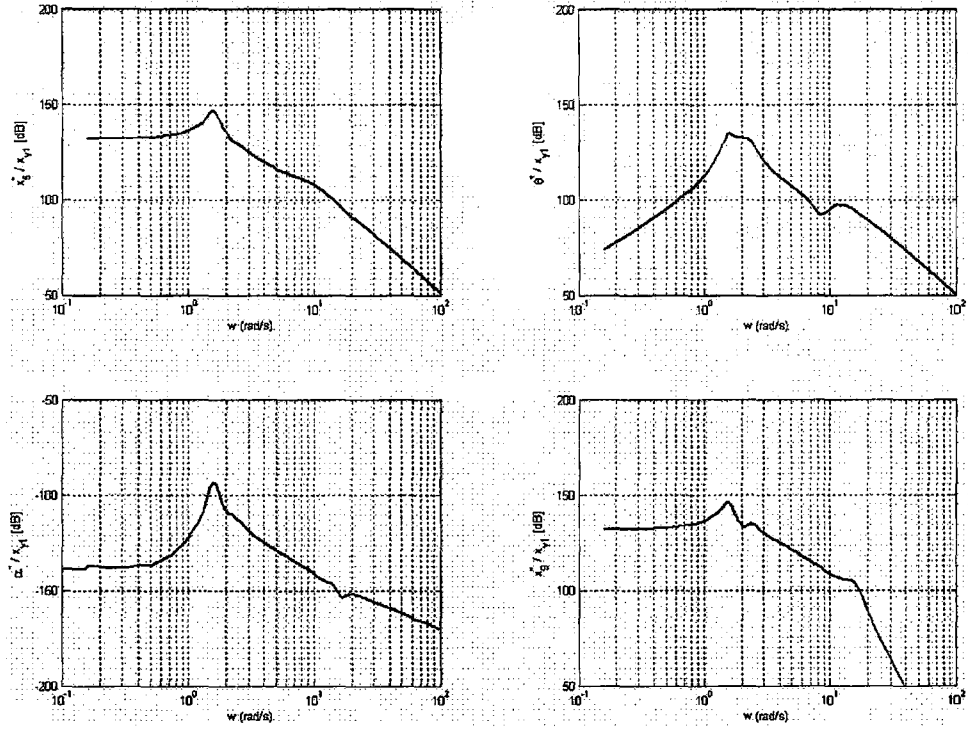


Şekil 3.42 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin ivme zaman cevapları

9SD yüksüz, sönümlü platformlu jipin gövdesinin, kafa vurmasının ve yalpalamasının yer değiştirme ve ivmesinin frekans cevapları sırasıyla Şekil 3.43 ve 3.44 de verilmiştir.



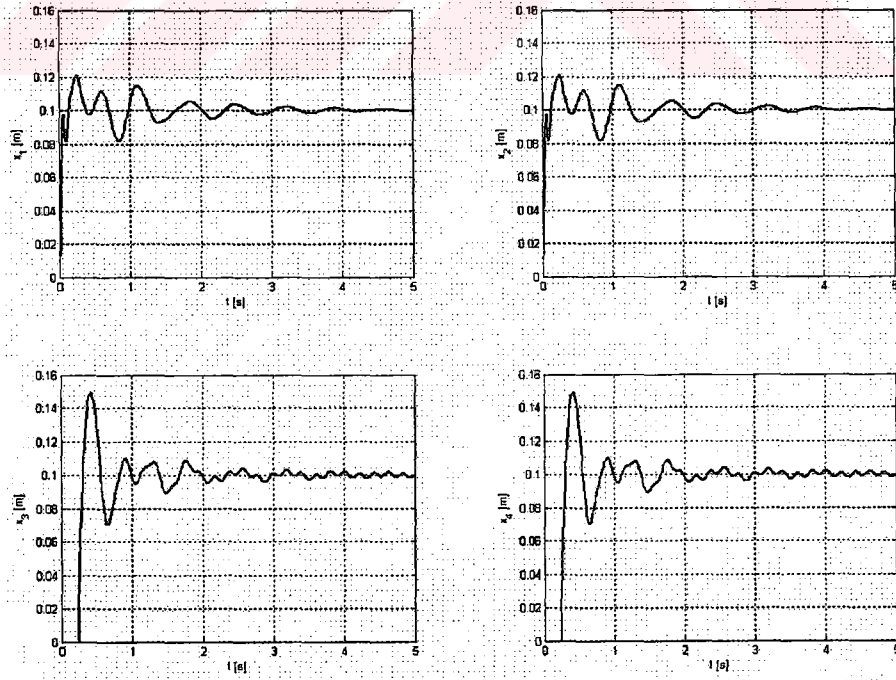
Şekil 3.43 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümlü platformlu jipin gövdesinin yerdeğiştirme frekans cevapları



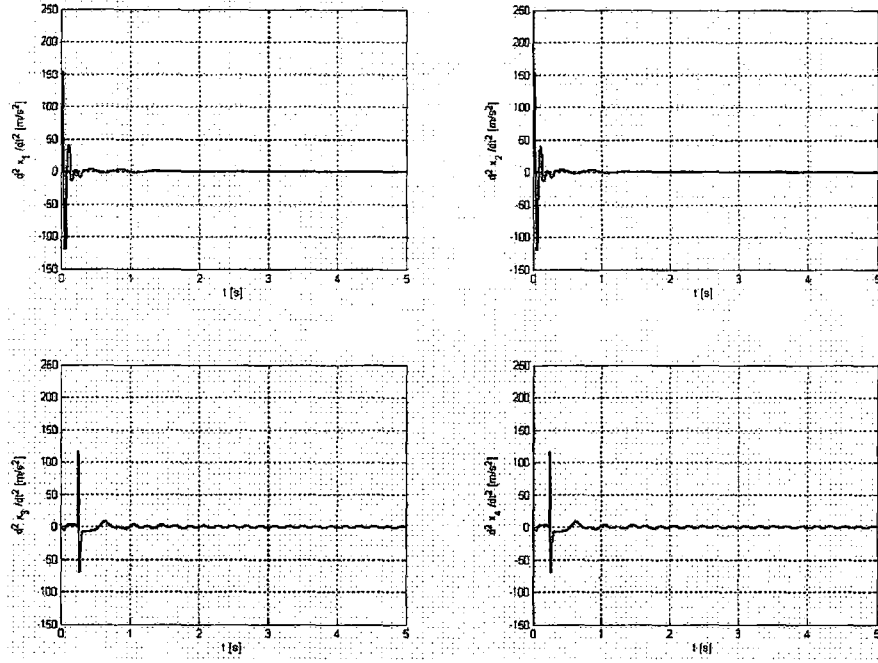
Şekil 3.44 Dokuz serbestlik dereceli yüksüz, sönümlü platformlu jipin gövdesinin ivme frekans cevapları

3.2.2 Dokuz Serbestlik Dereceli Yüklü Model

3.2.2.1 Dokuz Serbestlik Dereceli Yüklü, Sönümsüz Platformlu Model

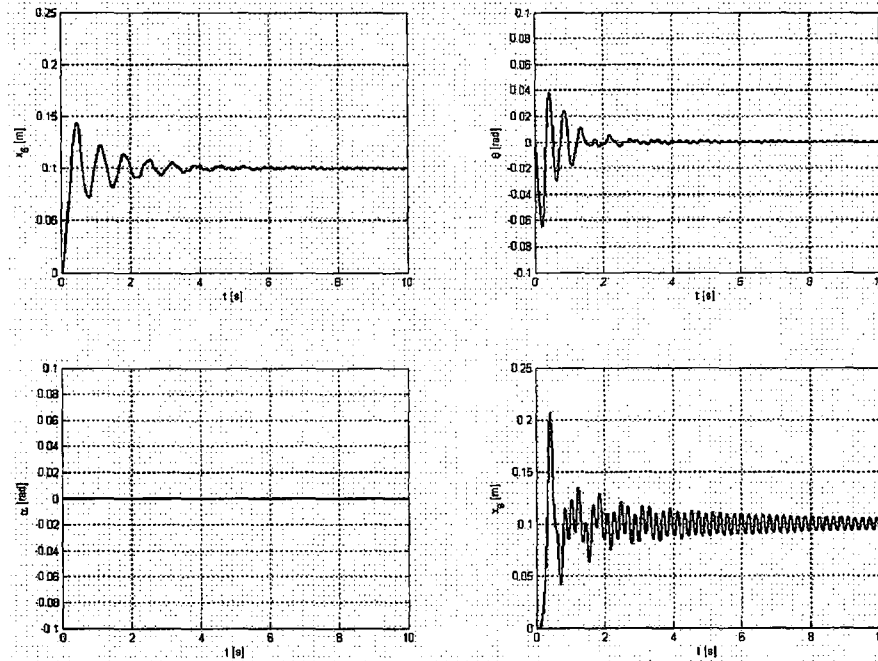


Şekil 3.45 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları

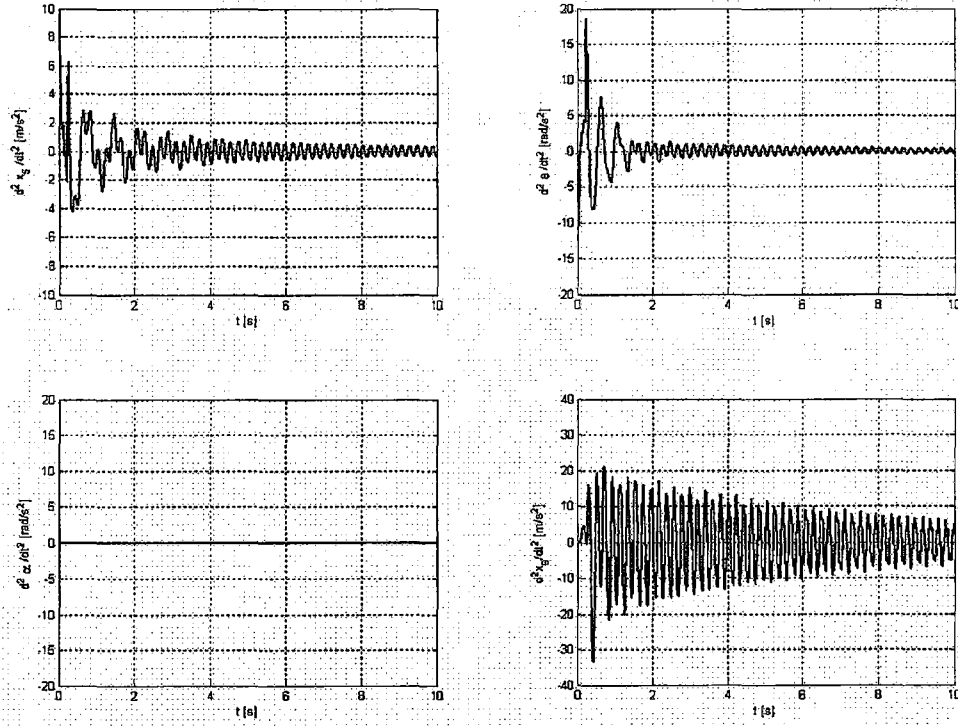


Şekil 3.46 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları

9SD yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme ve ivmesinin zaman cevapları sırasıyla Şekil 3.45 ve 3.46 da verilmiştir. Aynı durumda gövdenin, kafa vurmanın ve yalpalamanın yerdeğiştirme ve ivme zaman cevapları ise Şekil 3.47 ve 3.48 de verilmiştir.

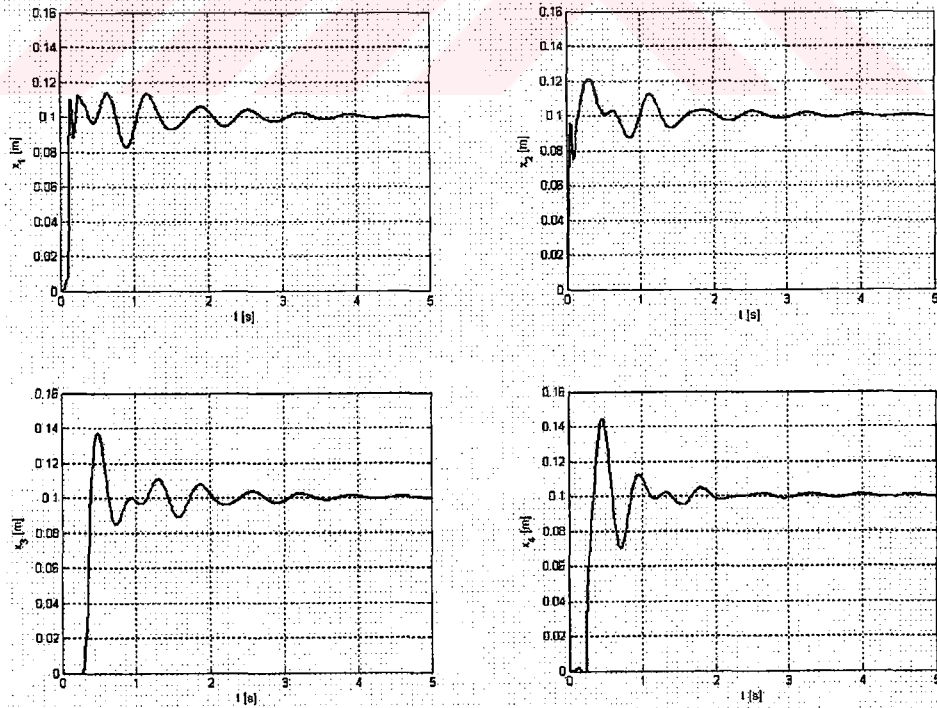


Şekil 3.47 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme zaman cevapları

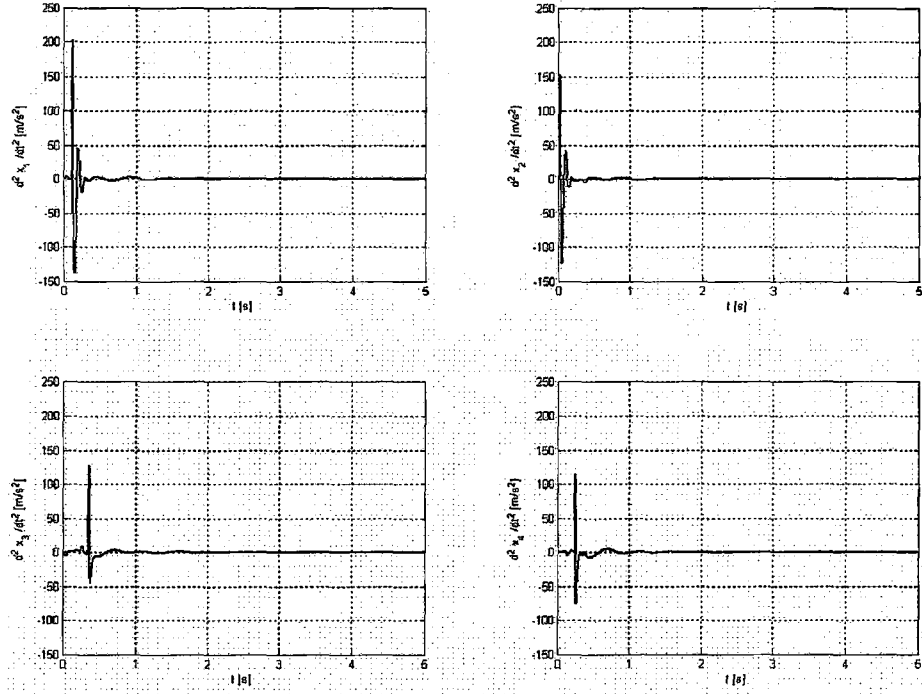


Şekil 3.48 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin ivme zaman cevapları

9SD yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme ve ivmesinin zaman cevapları sırasıyla Şekil 3.49 ve 3.50 de verilmiştir.

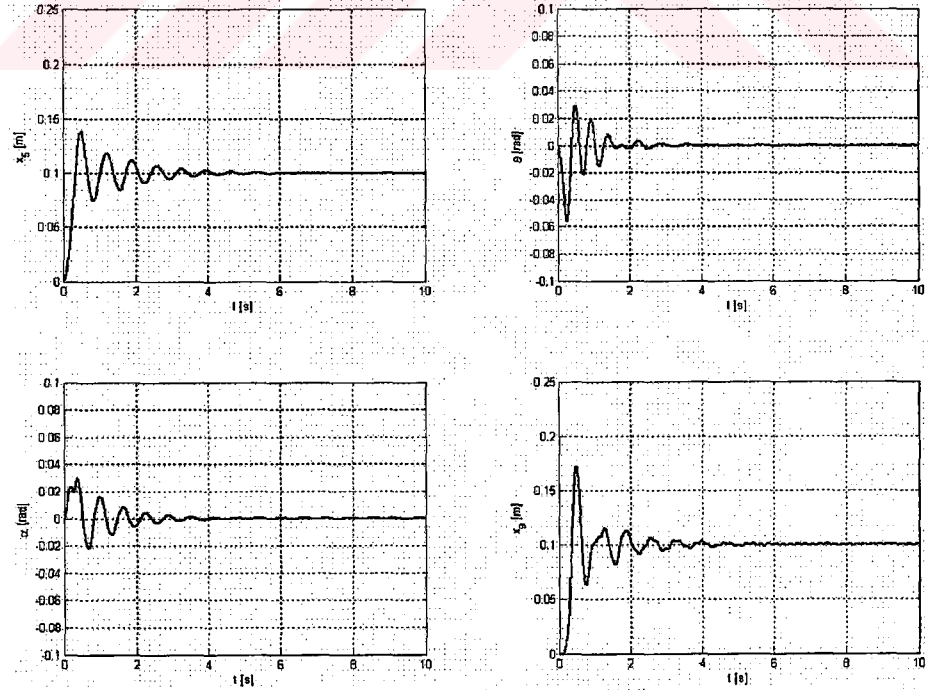


Şekil 3.49 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları

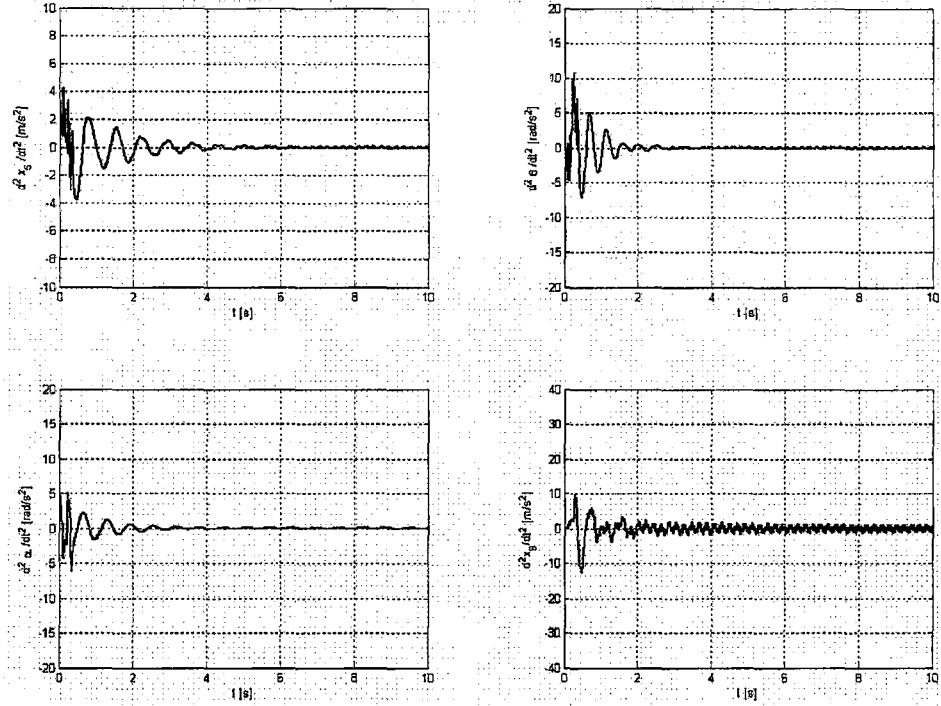


Şekil 3.50 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları

9SD yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin, kafa vurmanın ve yalpalamasının yerdeğiştirme ve ivme zaman cevapları sırasıyla Şekil 3.51 ve 3.52 de verilmiştir.

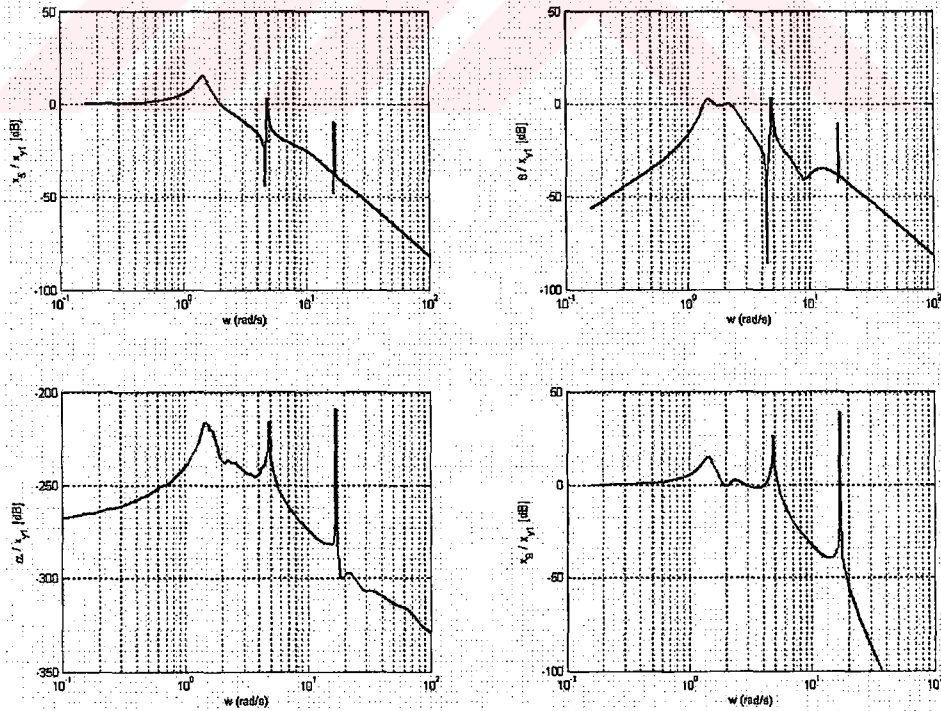


Şekil 3.51 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme zaman cevapları

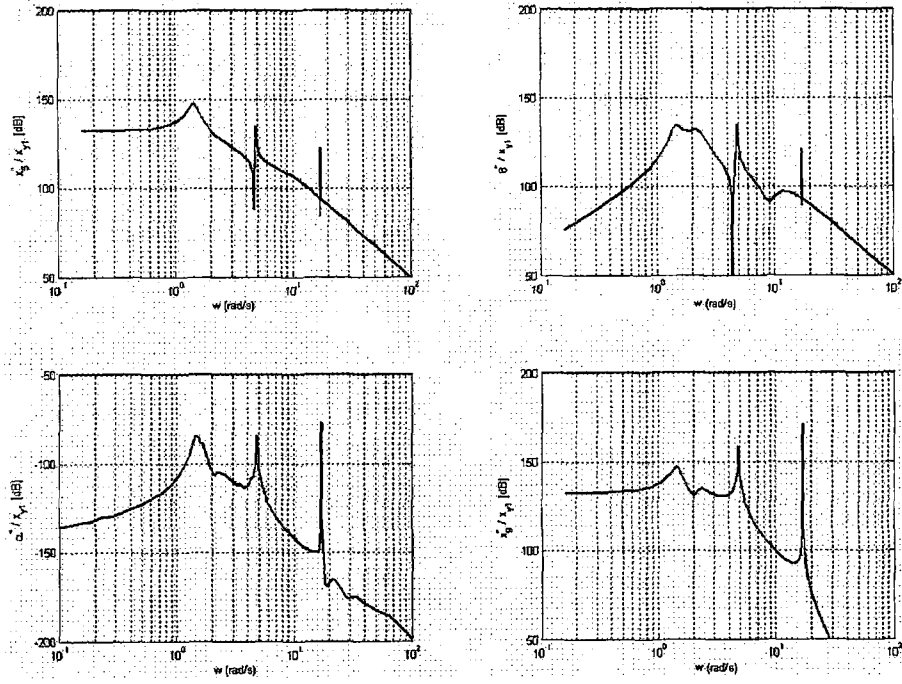


Şekil 3.52 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin ivme zaman cevapları

9SD yüklü, sönümsüz platformlu jipin gövdesinin, kafa vurmasının ve yalpalamasının yerdeğiştirme ve ivme frekans cevapları sırasıyla Şekil 3.53 ve 3.54 de verilmiştir.



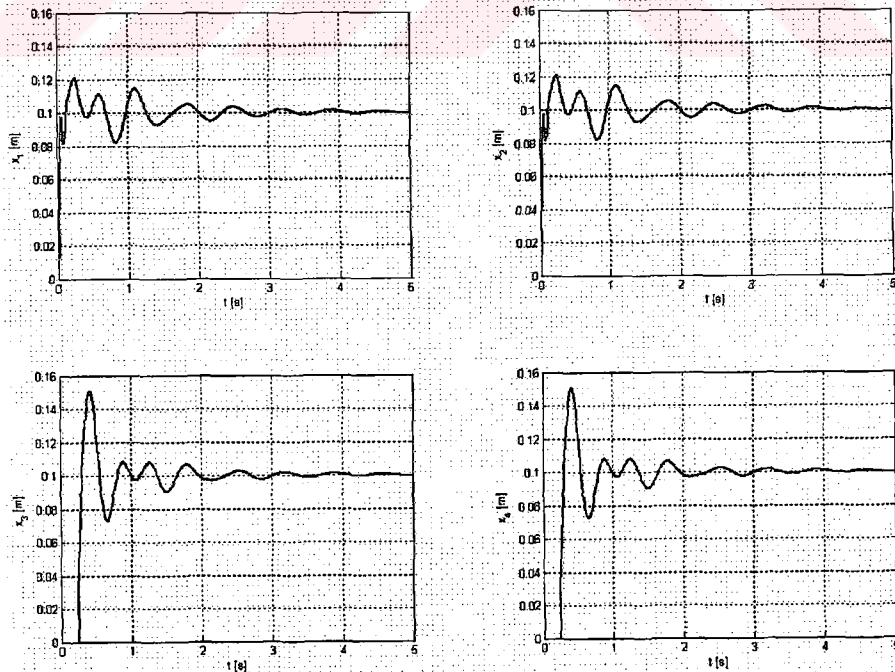
Şekil 3.53 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümsüz platformlu jipin gövdesinin yerdeğiştirme frekans cevapları



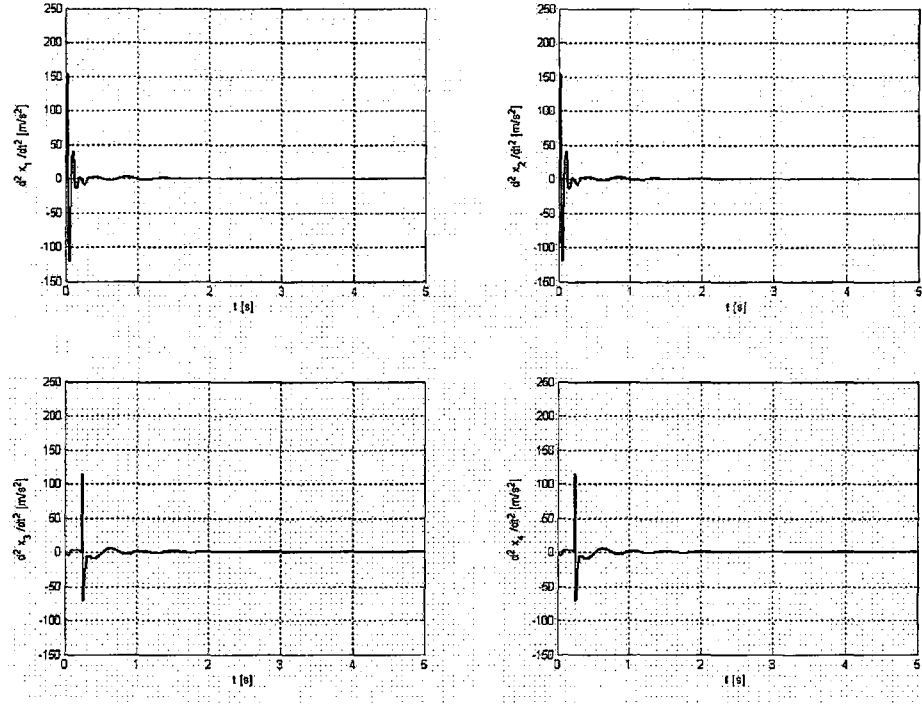
Şekil 3.54 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümsüz platformlu jipin gövdesinin ivme frekans cevapları

3.2.2.2 Dokuz Serbestlik Dereceli Yüklü, Sönümlü Platformlu Model

9SD yüklü, sönümlü platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme ve ivmesinin zaman cevapları sırasıyla Şekil 3.55 ve 3.56 da verilmiştir.

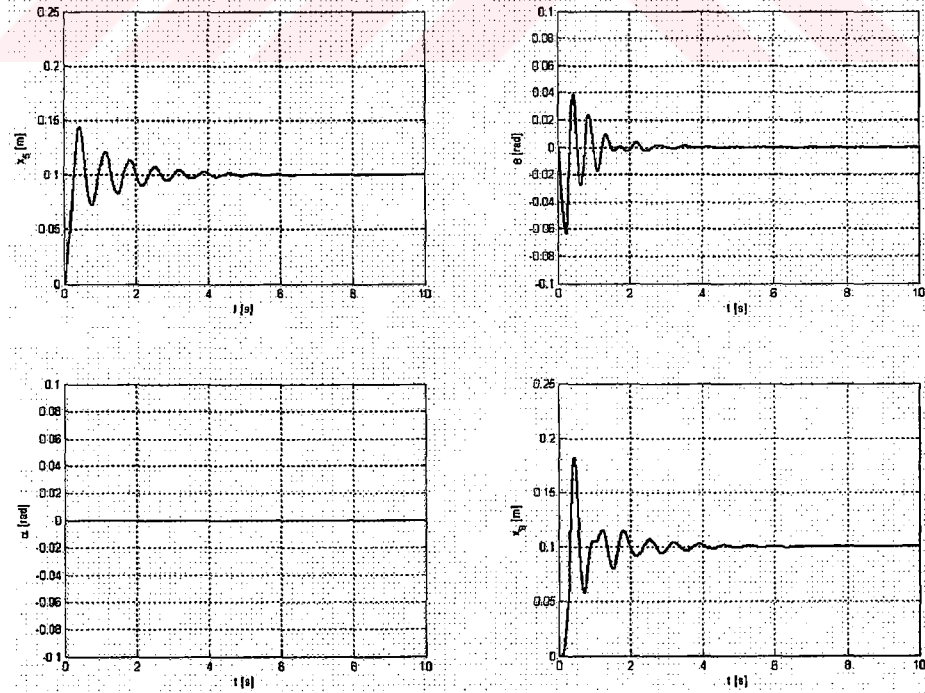


Şekil 3.55 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümlü platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları

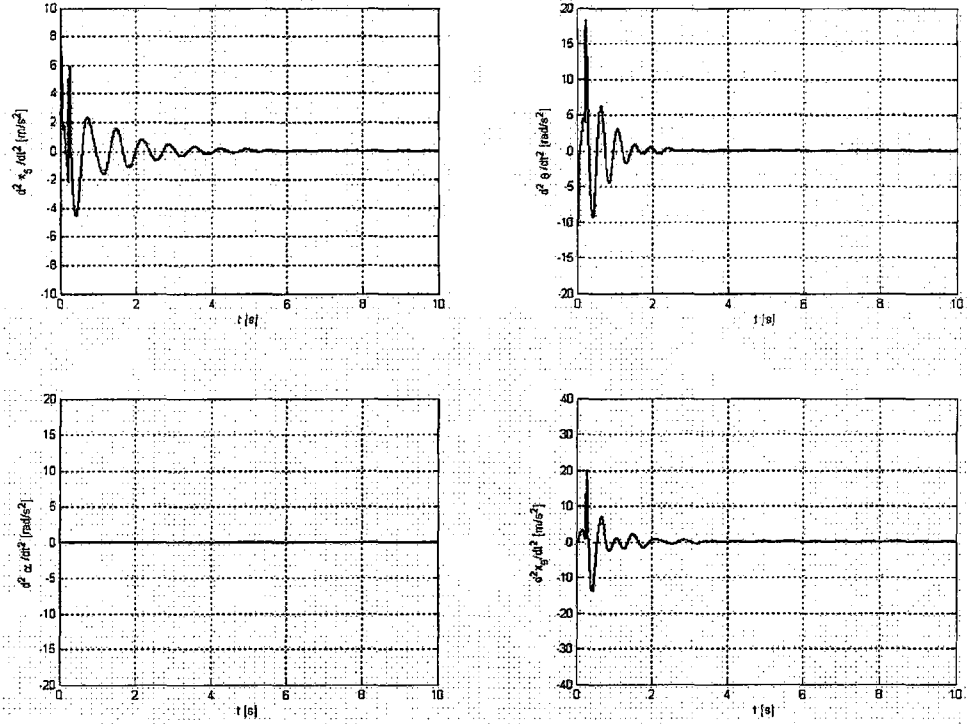


Şekil 3.56 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümlü platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları

9SD yüklü, sönümlü platformlu jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin, kafa vurmanın ve yalpalamanın yerdeğiştirme ve ivme zaman cevapları sırasıyla Şekil 3.57 ve 3.58 de verilmiştir.

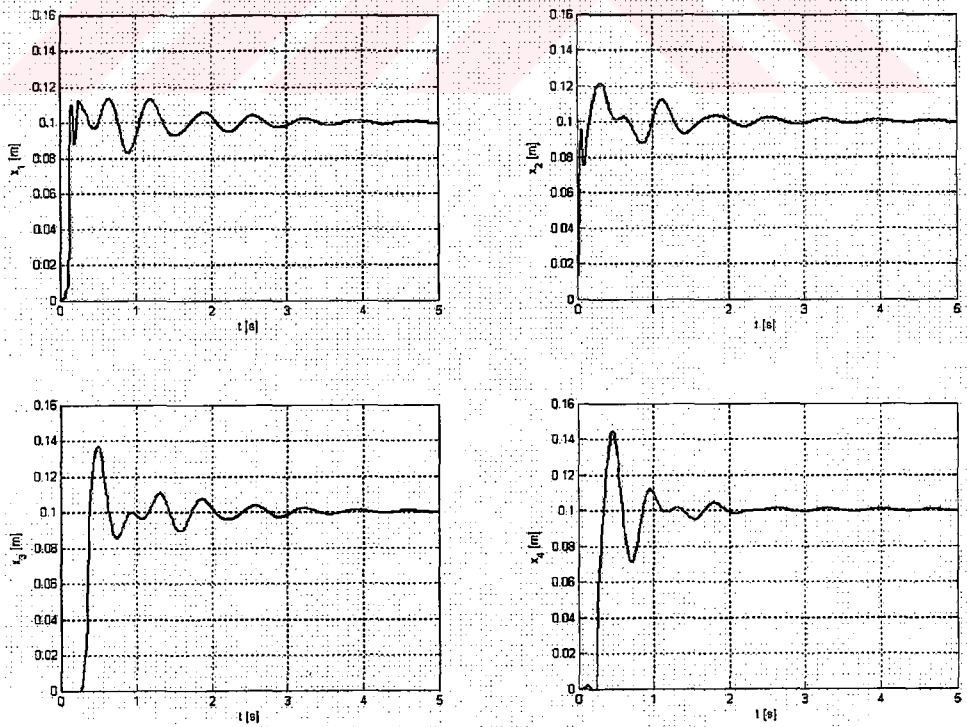


Şekil 3.57 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümlü platformlu jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme zaman cevapları

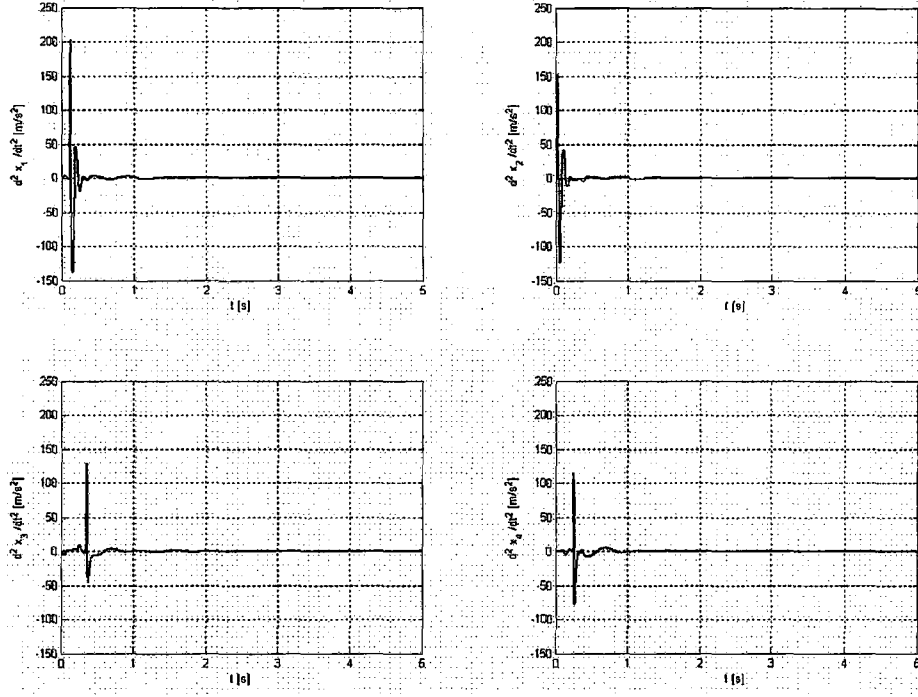


Şekil 3.58 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümlü platformlu jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin ivme zaman cevapları

9SD yüklü, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme ve ivmesinin zaman cevapları sırasıyla Şekil 3.59 ve 3.60 da verilmiştir.

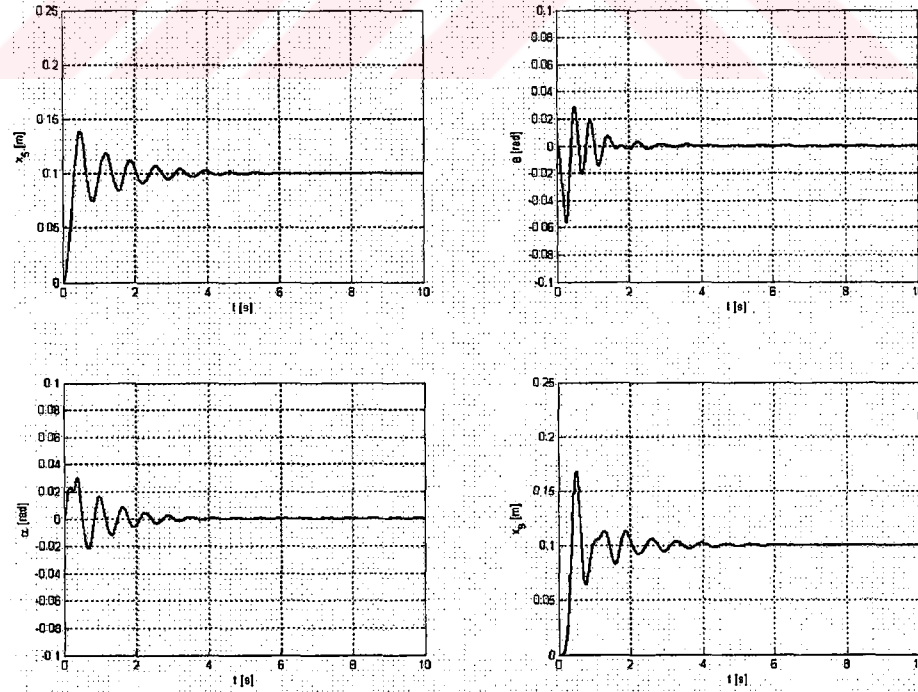


Şekil 3.59 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları

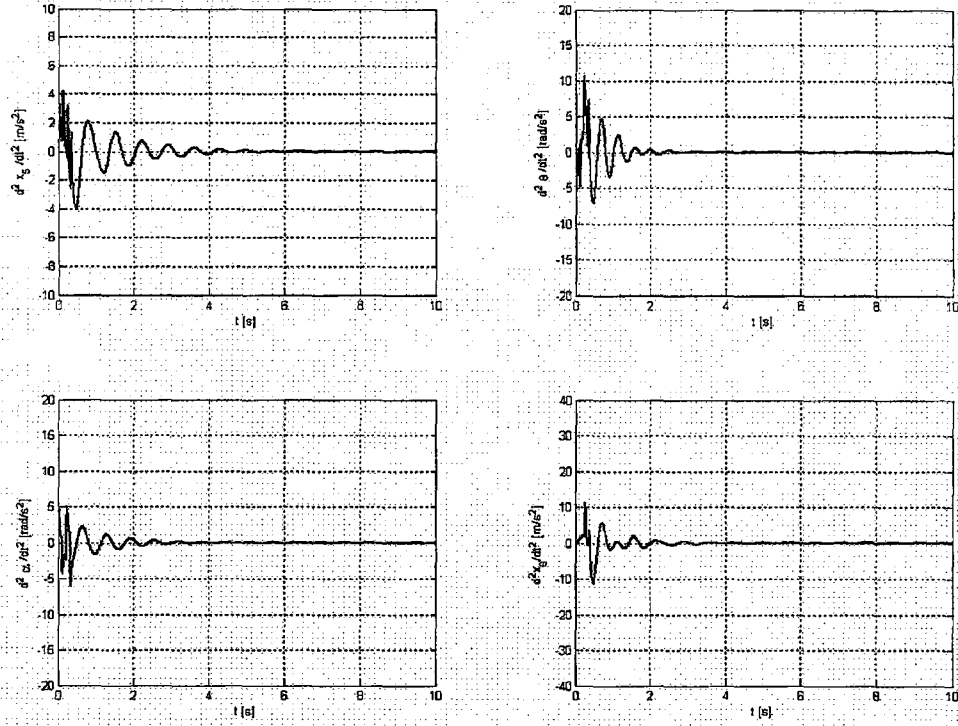


Şekil 3.60 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları

9SD yüklü, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin, kafa vurmanın ve yalpalamanın yerdeğiştirme ve ivme zaman cevapları sırasıyla Şekil 3.61 ve 3.62 de verilmiştir.

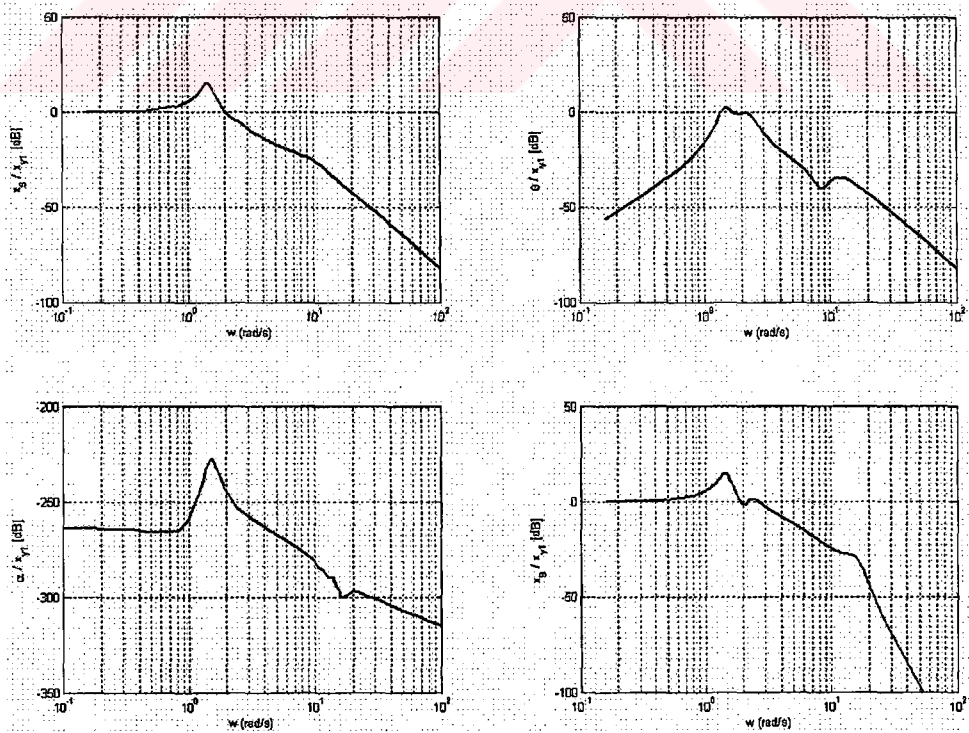


Şekil 3.61 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme zaman cevapları

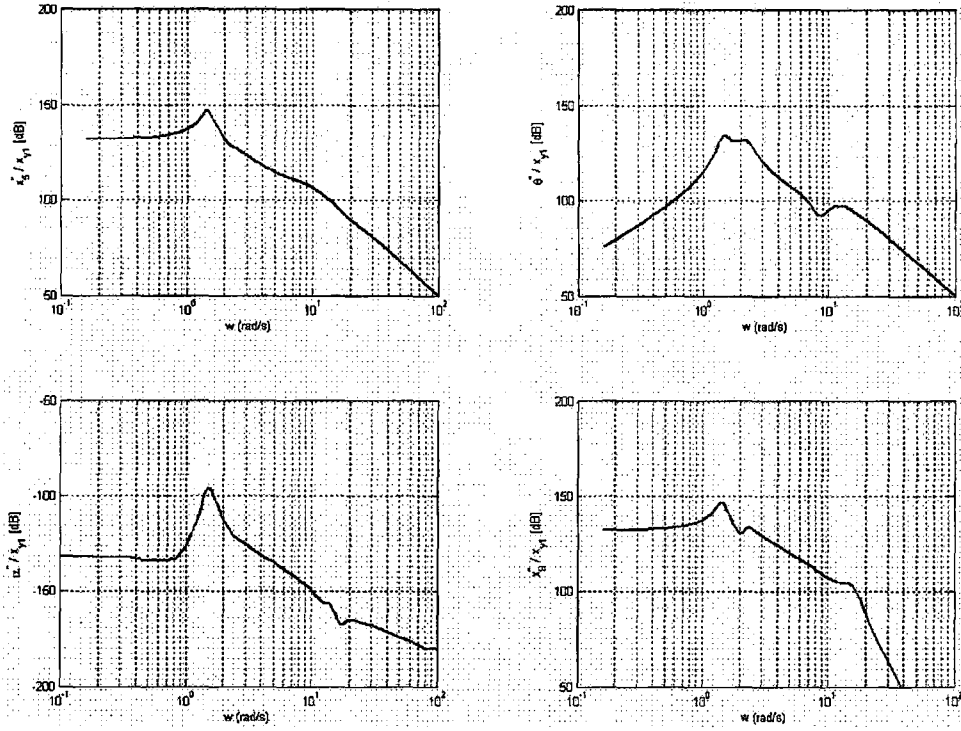


Şekil 3.62 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin ivme zaman cevapları

9SD yüklü, sönümlü platformlu jipin gövdesinin, kafa vurmasının ve yalpalamasının yer değiştirme ve ivmesinin frekans cevapları sırasıyla Şekil 3.63 ve 3.64 de verilmiştir.



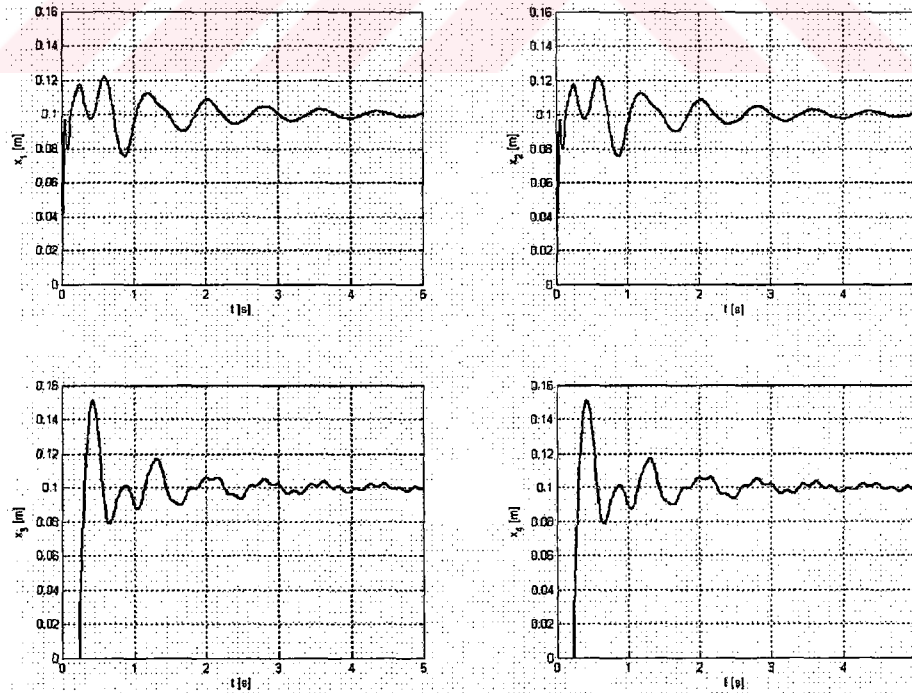
Şekil 3.63 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümlü platformlu jipin gövdesinin yerdeğiştirme frekans cevapları



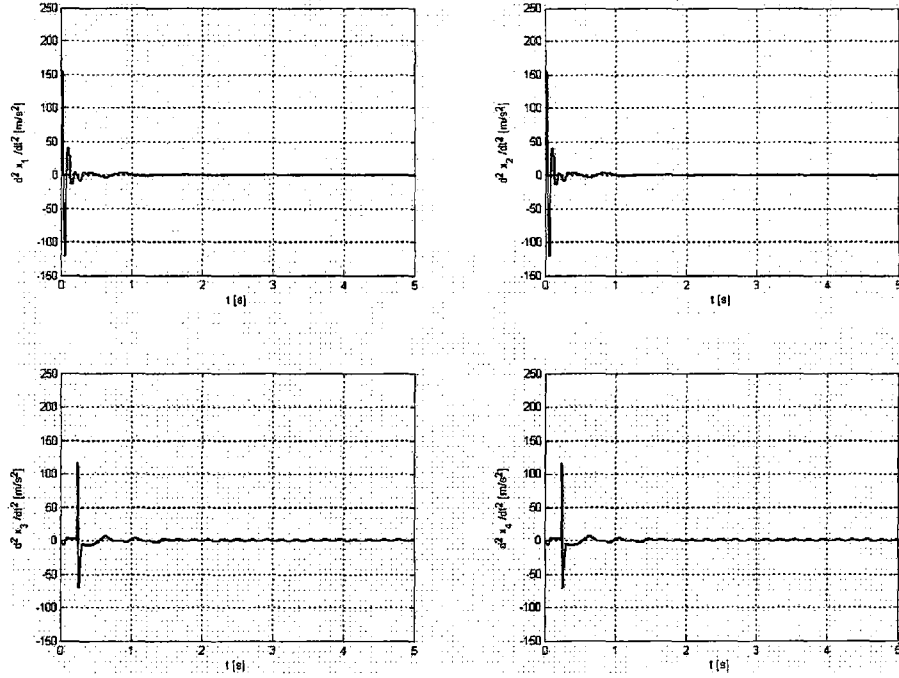
Şekil 3.64 Dokuz serbestlik dereceli yüklü, sönümlü platformlu jipin gövdesinin ivme frekans cevapları

3.2.3 Dokuz Serbestlik Dereceli Aşırı Yüklü Model

3.2.3.1 Dokuz Serbestlik Dereceli Aşırı Yüklü, Sönümsüz Platformlu Model

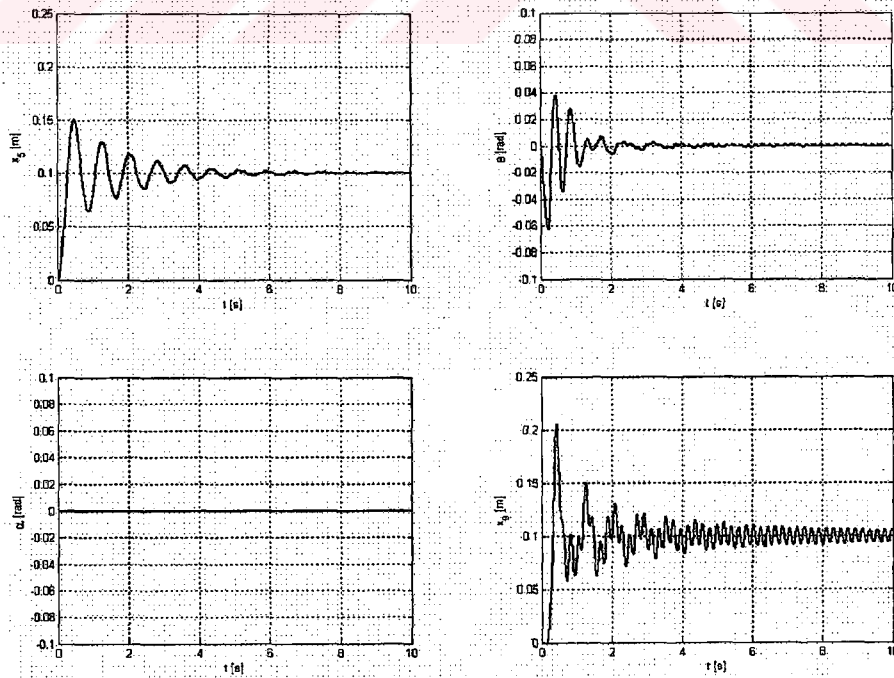


Şekil 3.65 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları

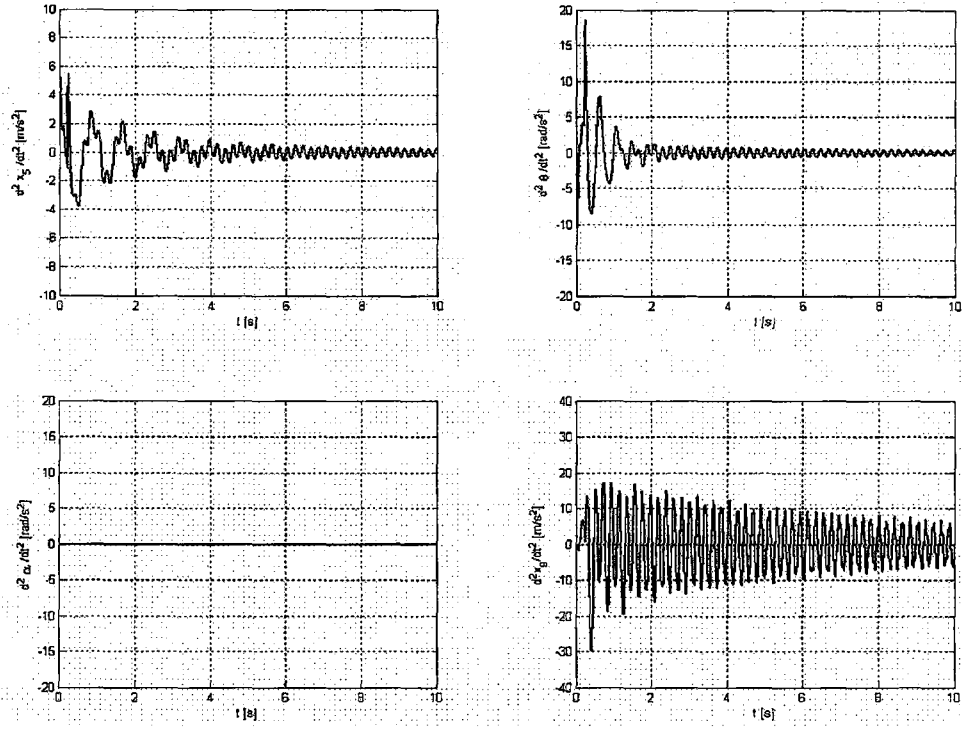


Şekil 3.66 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları

9SD aşırı yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme ve ivmesinin zaman cevapları sırasıyla Şekil 3.65 ve 3.66 da verilmiştir. Aynı durumda, gövdenin, kafa vurmanın ve yalpalamanın yer değiştirme ve ivmesinin zaman cevapları sırasıyla Şekil 3.67 ve 3.68 de verilmiştir.

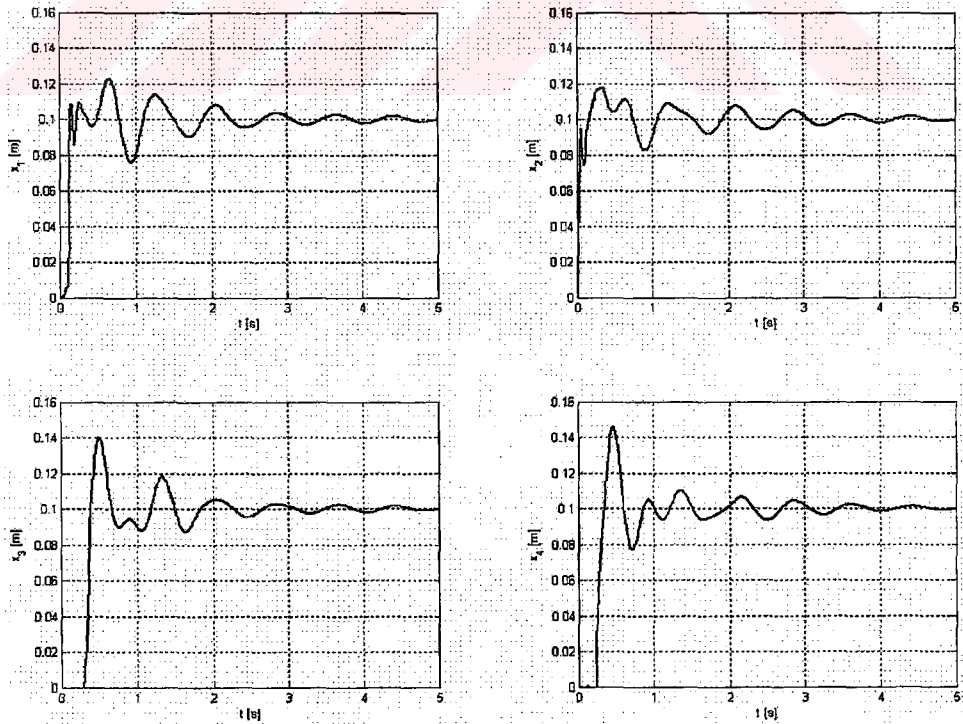


Şekil 3.67 Şekil 3.64 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme zaman cevapları

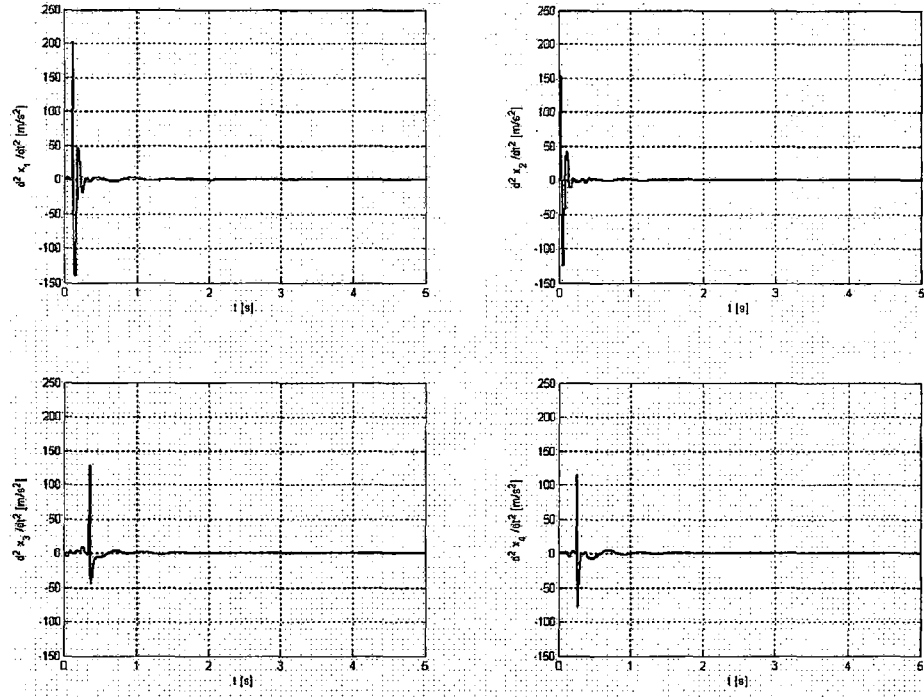


Şekil 3.68 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin ivme zaman cevapları

9SD aşırı yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme ve ivmesinin zaman cevapları sırasıyla Şekil 3.69 ve 3.70 de verilmiştir.

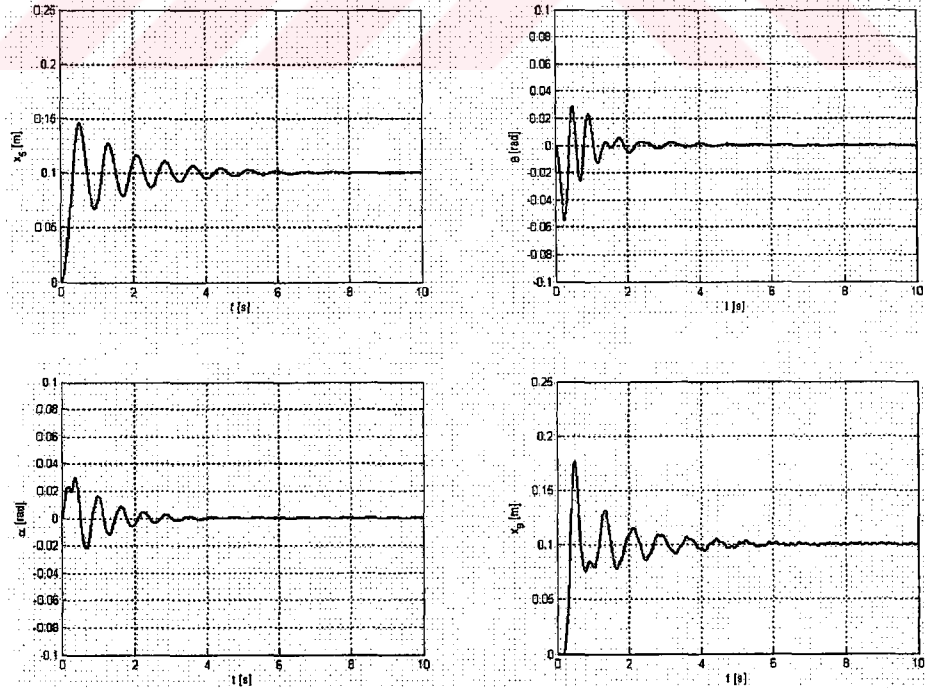


Şekil 3.69 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları

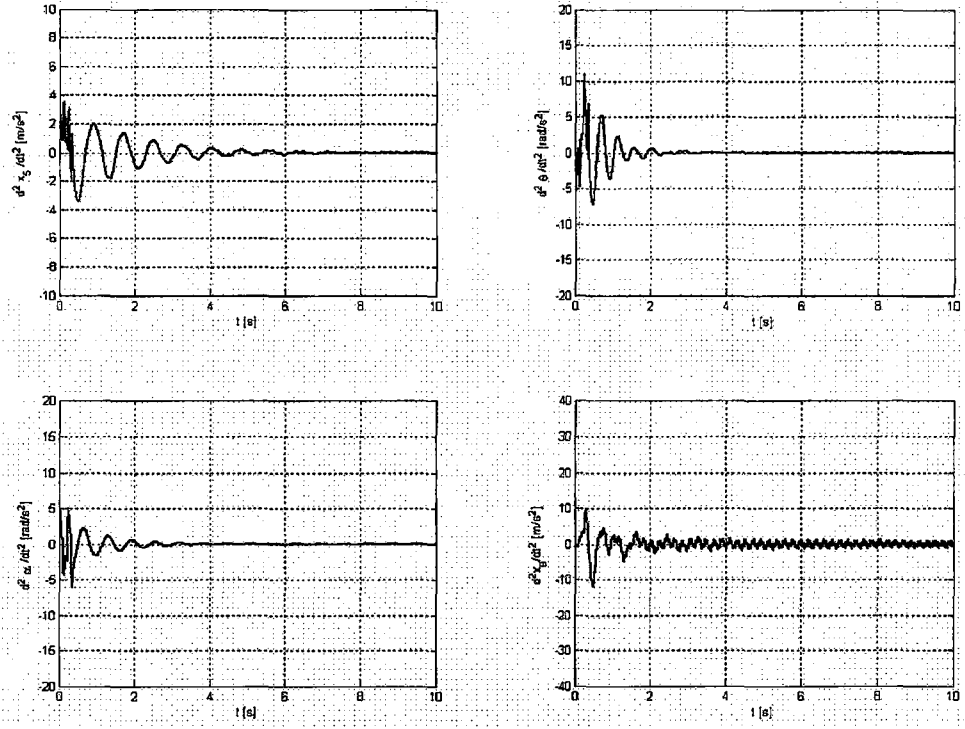


Şekil 3.70 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları

9SD aşırı yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin, kafa vurmanın ve yalpalamasının yerdeğiştirme ve ivme zaman cevapları sırasıyla Şekil 3.71 ve 3.72 de verilmiştir.

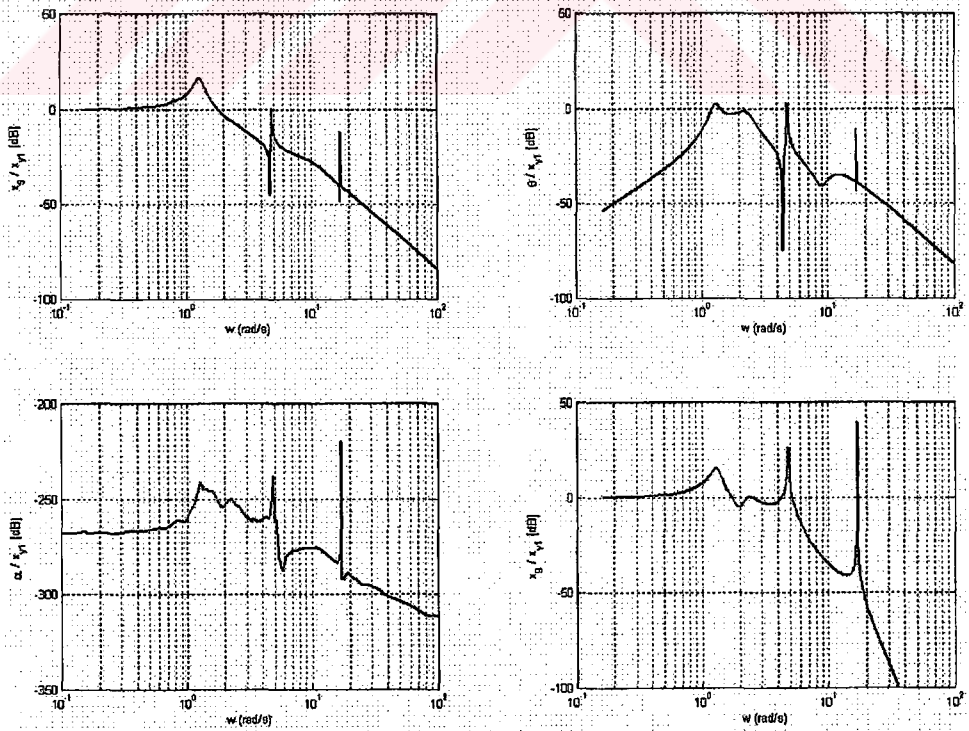


Şekil 3.71 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme zaman cevapları

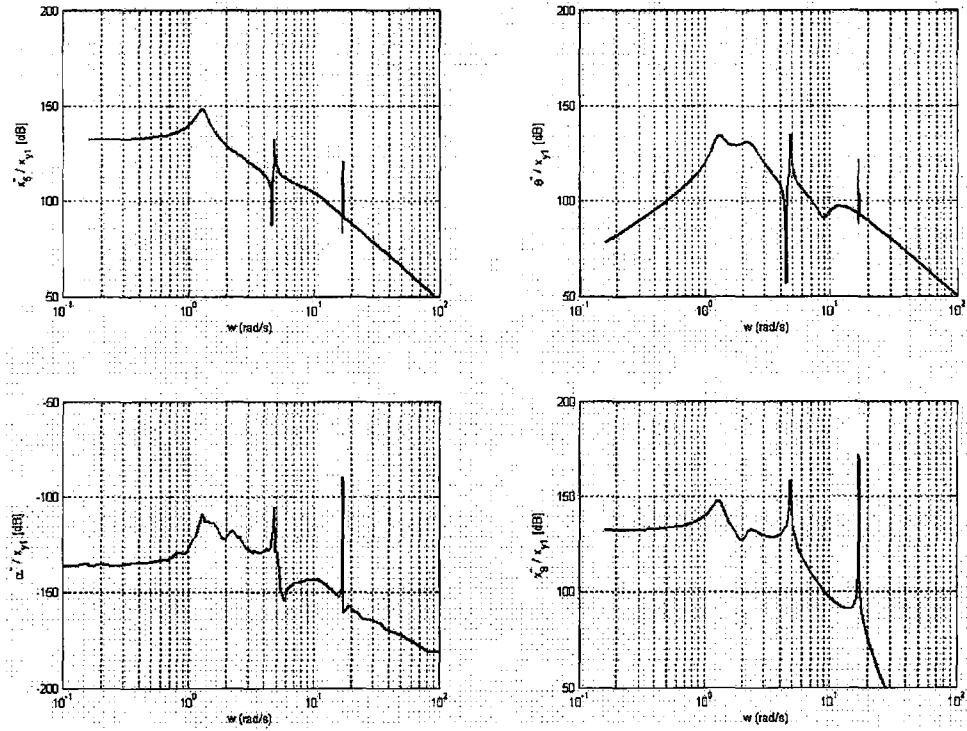


Şekil 3.72 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümsüz platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin ivme zaman cevapları

9SD aşırı yüklü, sönümsüz platformlu jipin gövdesinin, kafa vurmasının ve yalpalamasının yerdeğiştirme ve ivmesinin frekans cevapları sırasıyla Şekil 3.73 ve 3.74 de verilmiştir.

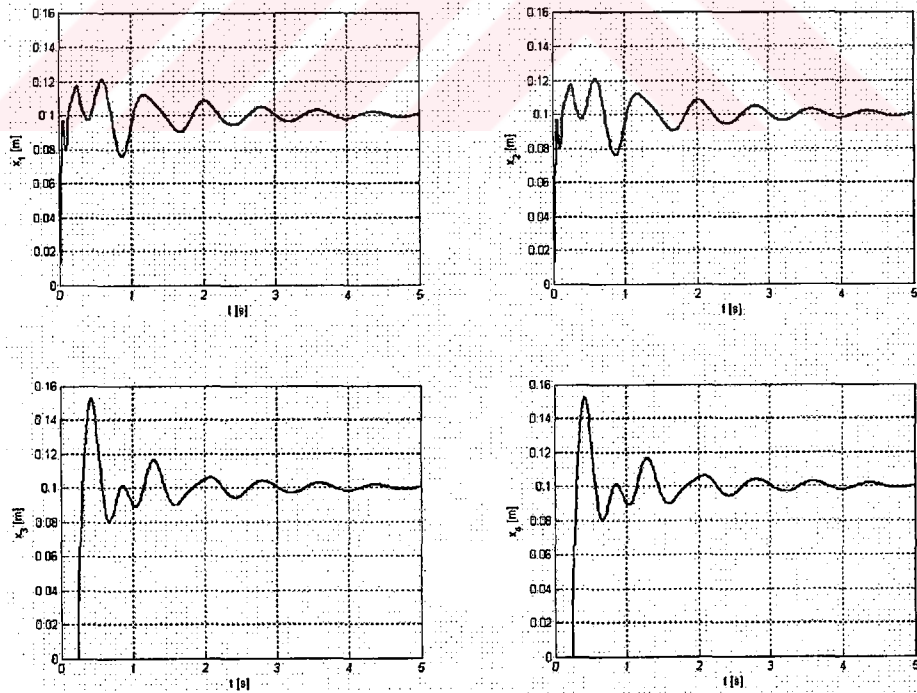


Şekil 3.73 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümsüz platformlu jipin gövdesinin yerdeğiştirme frekans cevapları

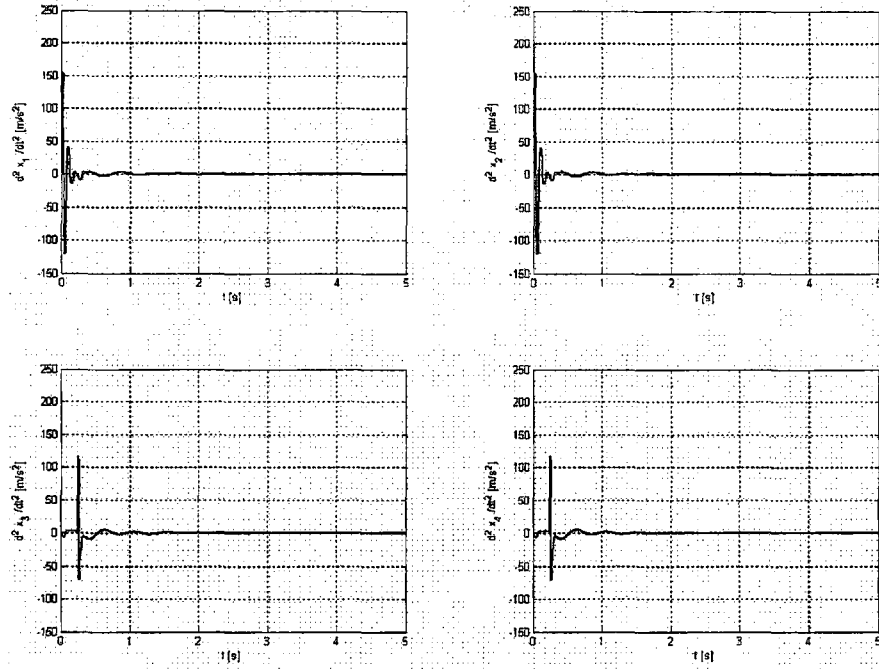


Şekil 3.74 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümsüz platformlu jipin gövdesinin ivme frekans cevapları

3.2.3.2 Dokuz Serbestlik Dereceli Aşırı Yüklü, Sönümlü Platformlu Model

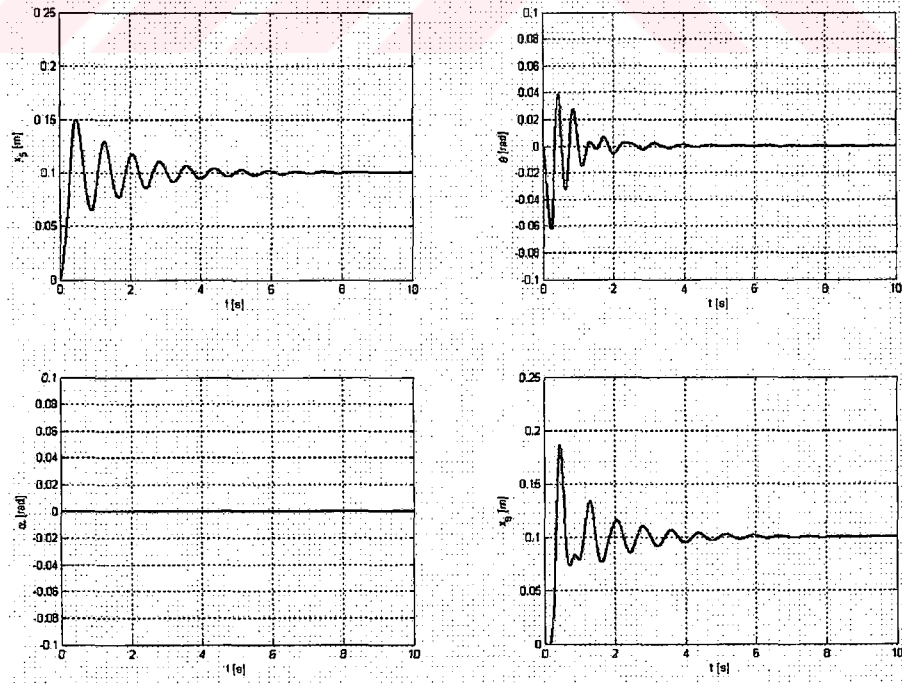


Şekil 3.75 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümlü platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları

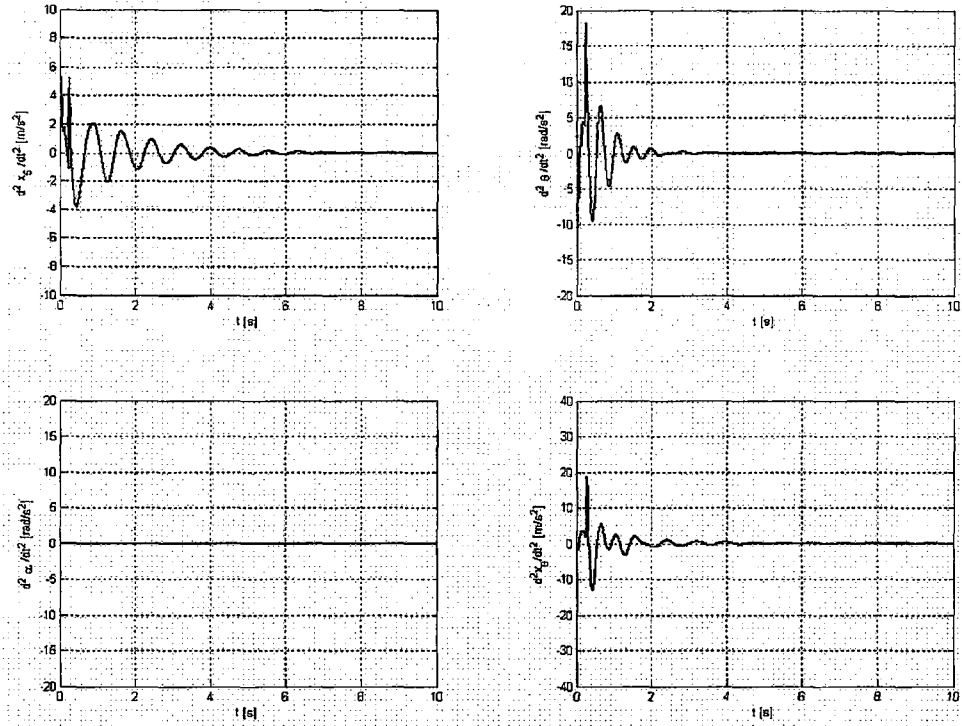


Şekil 3.76 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümlü platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları

9SD aşırı yüklü, sönümlü platformlu jipin engele düz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme ve ivmesinin zaman cevapları sırasıyla Şekil 3.75 ve 3.76 da verilmiştir. Aynı durumda, gövdenin, kafa vurmanın ve yalpalamanın yer değiştirme ve ivmesinin zaman cevapları sırasıyla Şekil 3.77 ve 3.78 de verilmiştir.

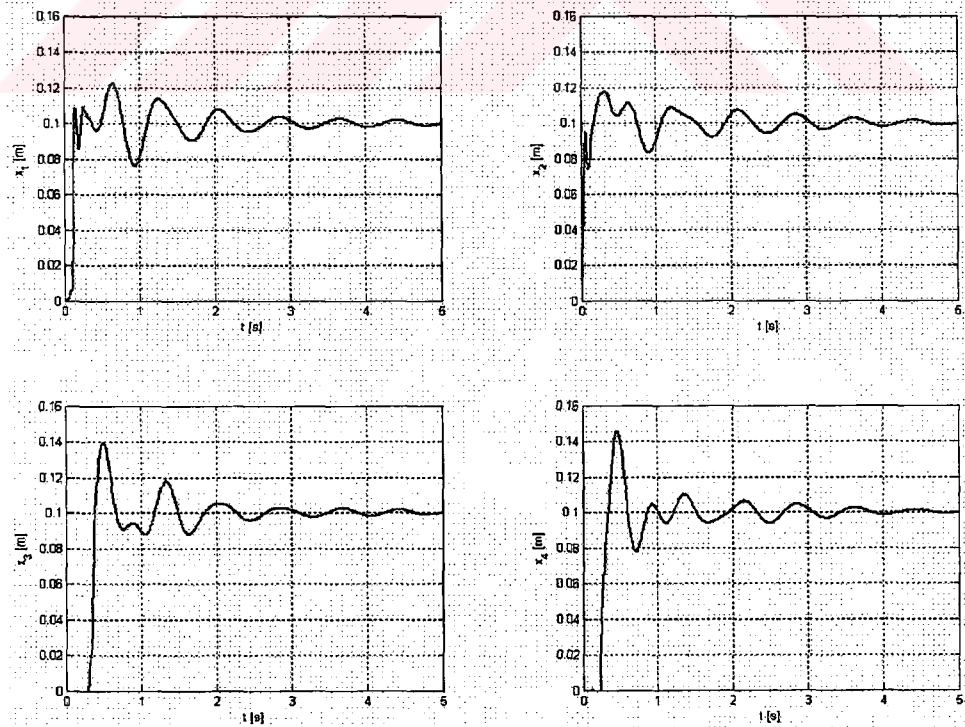


Şekil 3.77 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümlü platformlu jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme zaman cevapları

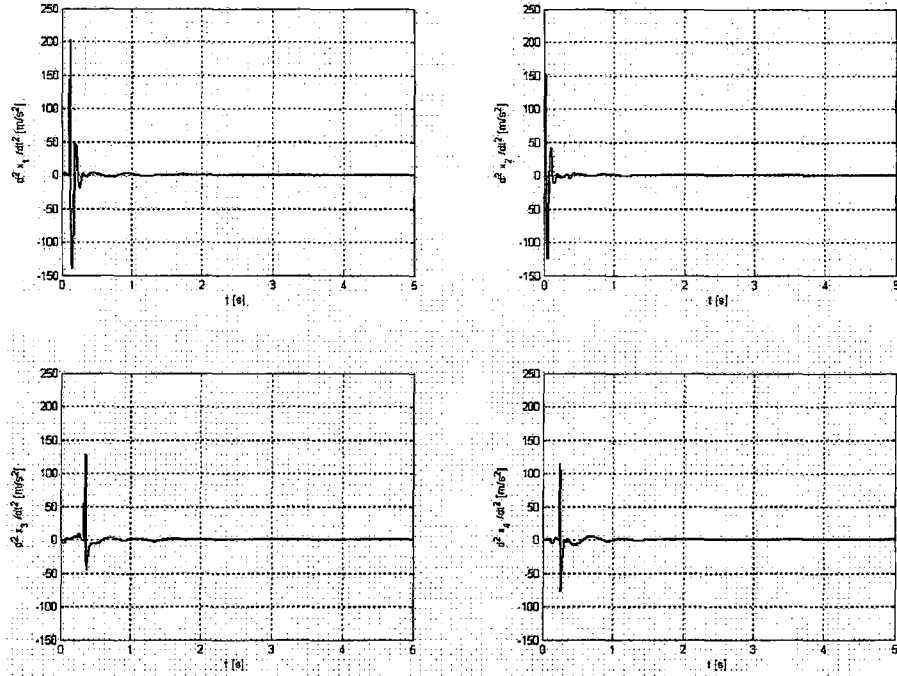


Şekil 3.78 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümlü platformlu jipin engele düz girmesi durumunda gövdenin ivme zaman cevapları

9SD aşırı yüklü, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme ve ivmesinin zaman cevapları sırasıyla Şekil 3.79 ve 3.80 de verilmiştir.

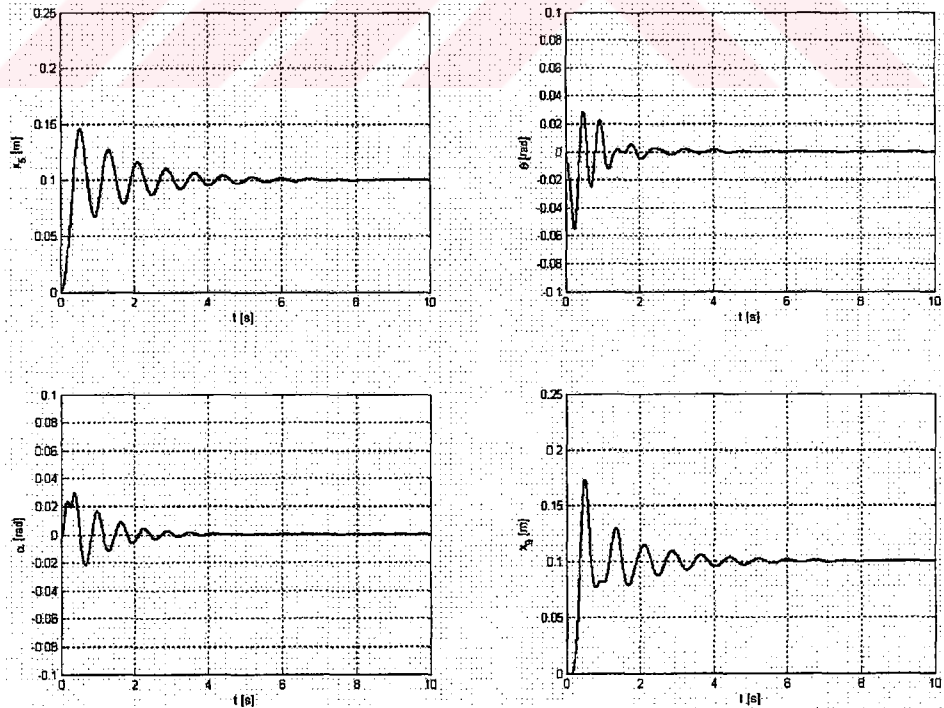


Şekil 3.79 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların yerdeğiştirme zaman cevapları

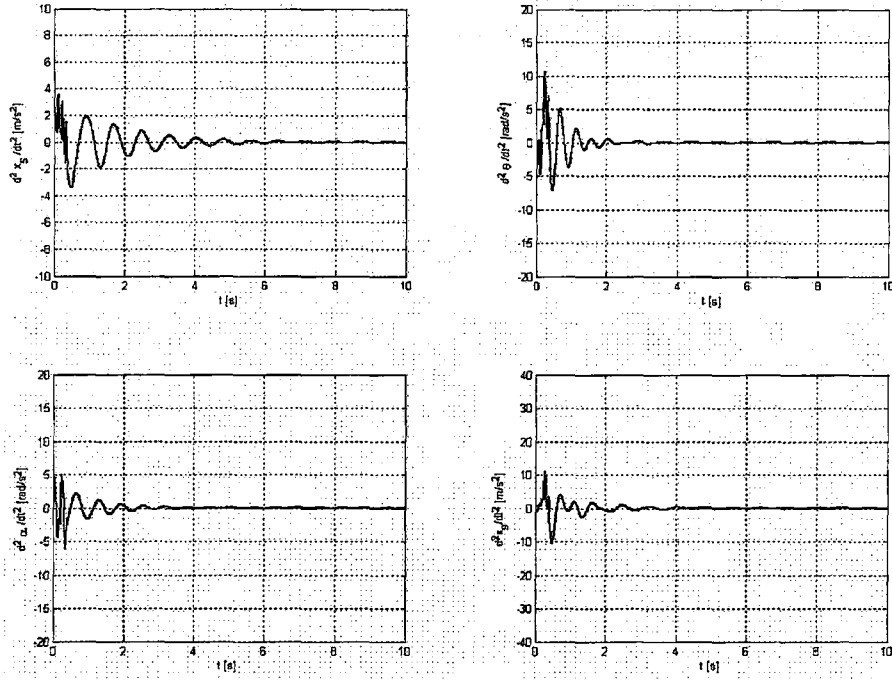


Şekil 3.80 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda aksların ivme zaman cevapları

9SD yüklü, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin, kafa vurmanın ve yalpalamanın yerdeğiştirme ve ivme zaman cevapları sırasıyla Şekil 3.81 ve 3.82 de verilmiştir.

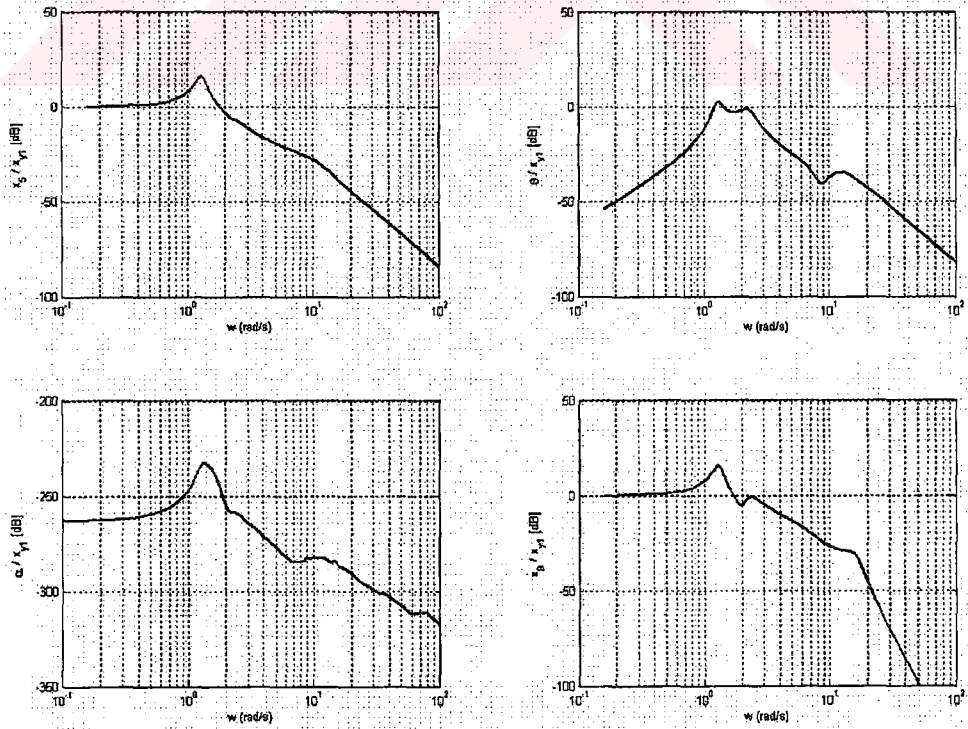


Şekil 3.81 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin yerdeğiştirme zaman cevapları

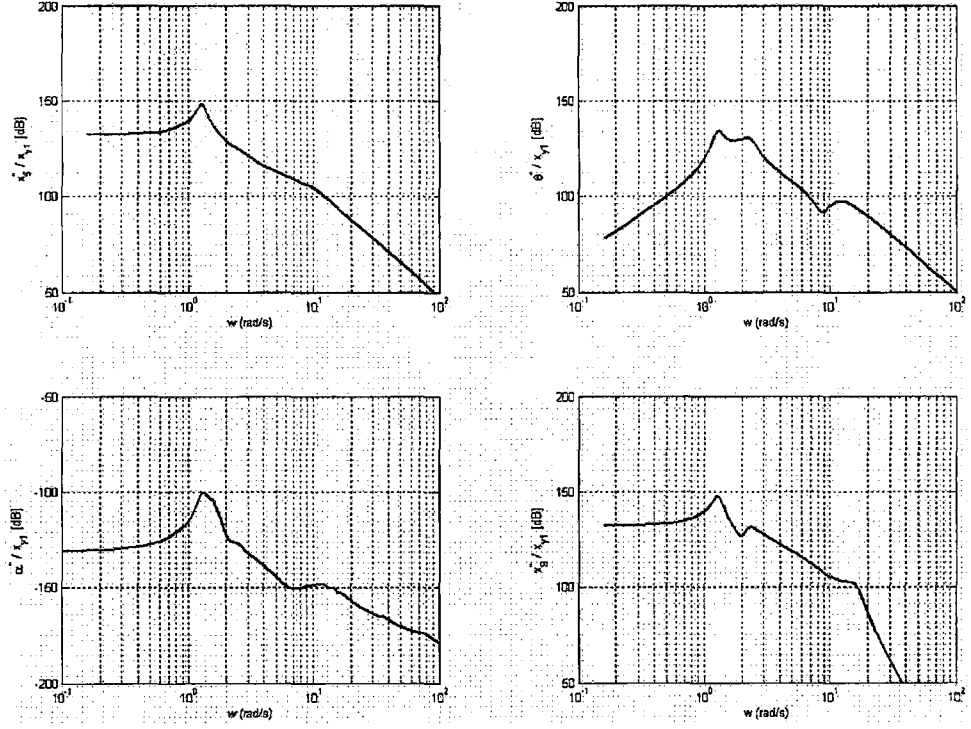


Şekil 3.82 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümlü platformlu jipin engele çapraz girmesi durumunda gövdenin ivme zaman cevapları

9SD aşırı yüklü, sönümlü platformlu jipin gövdesinin, kafa vurmasının ve yalpalamasının yerdeğiştirme ve ivme frekans cevapları sırasıyla Şekil 3.83 ve 3.84 de verilmiştir.



Şekil 3.83 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümlü platformlu jipin gövdesinin yerdeğiştirme frekans cevapları



Şekil 3.84 Dokuz serbestlik dereceli aşırı yüklü, sönümlü platformlu jipin gövdesinin ivme frekans cevapları

Sönümlü platformlu jipte belirgin bir iyileşme, hem zaman hem de frekans cevaplarında gözlemlendi. Özellikle, frekans cevaplarında sönümsüz platformlu jipin grafiklerinde ortaya çıkan rezonans tepelerinin sönümlü platformlu sistemin cevaplarında tamamen ortadan kalktığı görüldü. Yine yer değiştirme zaman cevaplarında sönümlü jipin sükûnete erme zamanlarında dikkat çekici bir azalma ortaya çıktı. Aynı şekilde ivme zaman cevaplarında da belirgin bir iyileşme seyri meydana geldi. Fakat yük durumunun zaman ve frekans cevaplarında dikkat çeken bir değişmeye yol açmadığı saptandı. Böylece mukavemet açısından bir sorun olmadığı sürece jipi aşırı yükle yüklemenin titreşimler ve sistem dinamiği açısından bir mahsuru olmadığı sonucuna varıldı.

4. SİLAH ATIŞ HALİNDEYKEN KUPALANIN EMNİYET DURUMU

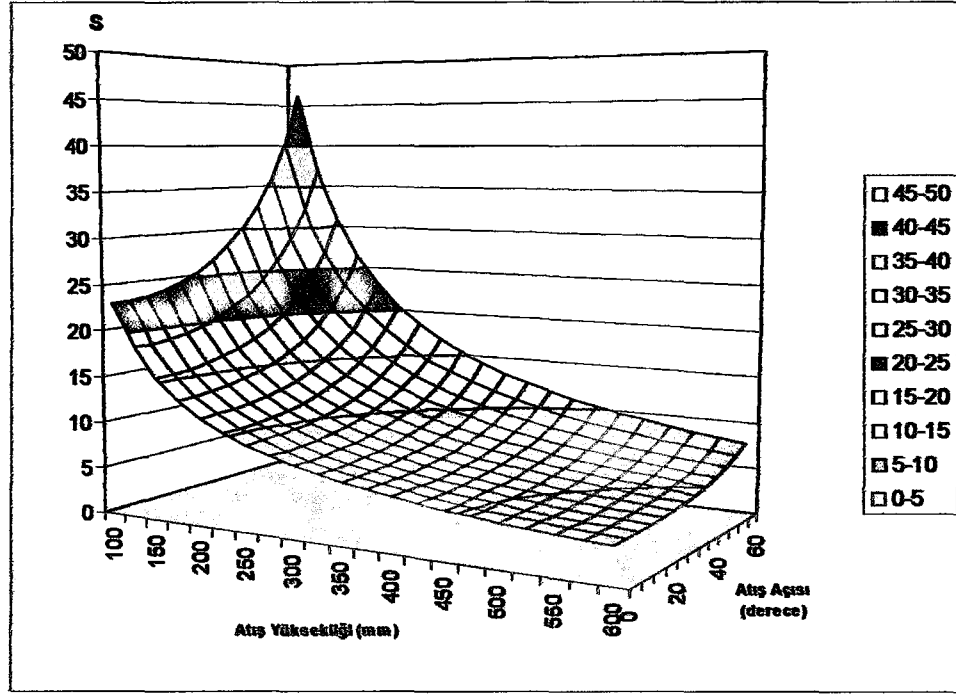
4x4 Tayfun MK-19 bombaatar silah aracında, silahı taşıyan kupalada silahın atış hallerinde meydana gelen gerilmeler incelenmiştir. Silahın namlu açısı 0° ila 60° arasında değişmekte iken atış yüksekliği mil kovani üst ucundan itibaren 100mm ila 600mm arasında değişmektedir. Namlu açısı 5 er derece, namlu yüksekliği 100 er mm değişecek şekilde herbir namlu açısında her namlu yüksekliği için gerilmeler analiz edilmiştir.

Gerilme analizinde sonlu elemanlar metodu (FEM) kullanan bir paket program olan MSC firmasına ait Visual Nastran® yazılımı kullanılmıştır. Kupalanın CAD modeli bu programa aktarılarak, sisteme ait kısıtlar, yükler ve sonlu eleman ağı program içerisinde tanımlanmıştır.

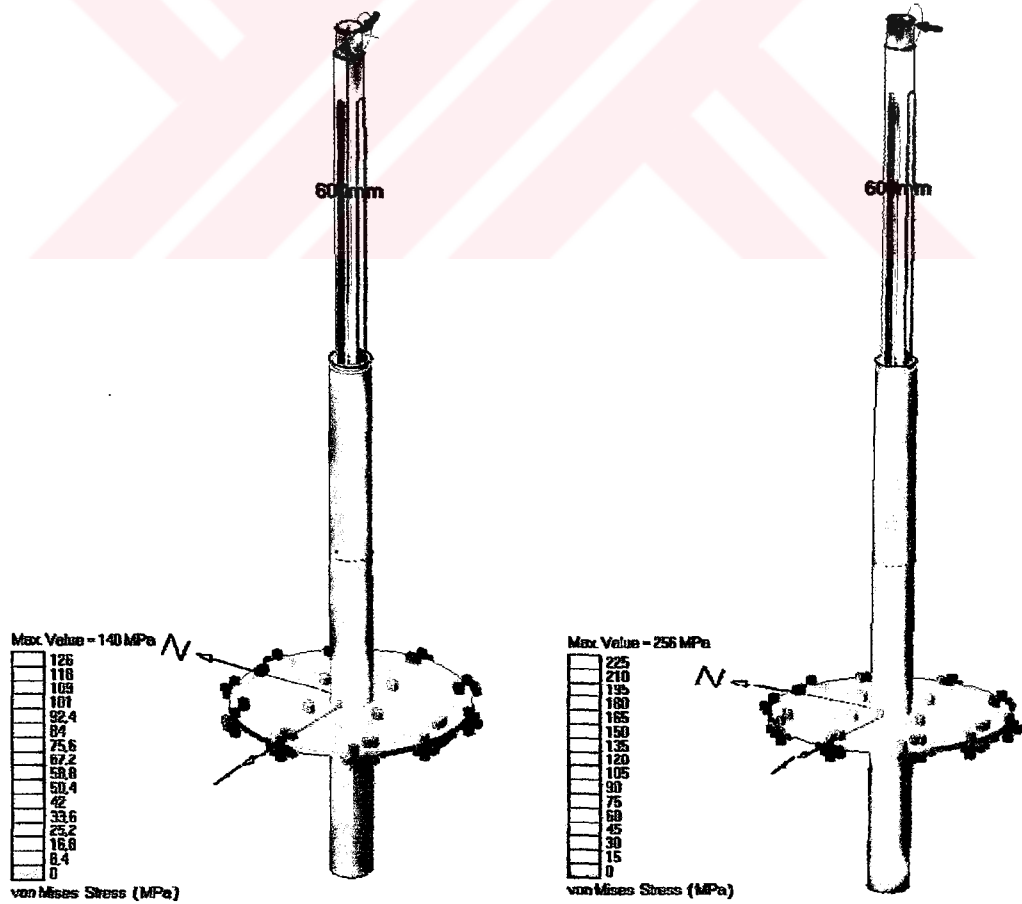
Elde edilen gerilme değerlerine göre kupalanın emniyet katsayıları tablo (Çizelge 4.1) ve grafik (Şekil 4.1) halinde sunulmuştur. Analiz sonucunda kupalanın her atış durumunda emniyetli olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.1 Kupalanın emniyet katsayısının atış durumlarına göre değişimi

Atış Açısı (°)	Atış Yüksekliği (mm)										
	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
0	23,07	15,38	11,54	9,23	7,69	6,59	5,77	5,13	4,61	4,19	3,85
5	23,16	15,44	11,58	9,26	7,72	6,62	5,79	5,15	4,63	4,21	3,86
10	23,43	15,62	11,71	9,37	7,81	6,69	5,86	5,21	4,69	4,26	3,90
15	23,88	15,92	11,94	9,55	7,96	6,82	5,97	5,31	4,78	4,34	3,98
20	24,55	16,37	12,28	9,82	8,18	7,01	6,14	5,46	4,91	4,46	4,09
25	25,46	16,97	12,73	10,18	8,49	7,27	6,36	5,66	5,09	4,63	4,24
30	26,64	17,76	13,32	10,66	8,88	7,61	6,66	5,92	5,33	4,84	4,44
35	28,16	18,78	14,08	11,27	9,39	8,05	7,04	6,26	5,63	5,12	4,69
40	30,12	20,08	15,06	12,05	10,04	8,60	7,53	6,69	6,02	5,48	5,02
45	32,63	21,75	16,31	13,05	10,88	9,32	8,16	7,25	6,53	5,93	5,44
50	35,89	23,93	17,95	14,36	11,96	10,25	8,97	7,98	7,18	6,53	5,98
55	40,22	26,82	20,11	16,09	13,41	11,49	10,06	8,94	8,04	7,31	6,70
60	46,14	30,76	23,07	18,46	15,38	13,18	11,54	10,25	9,23	8,39	7,69



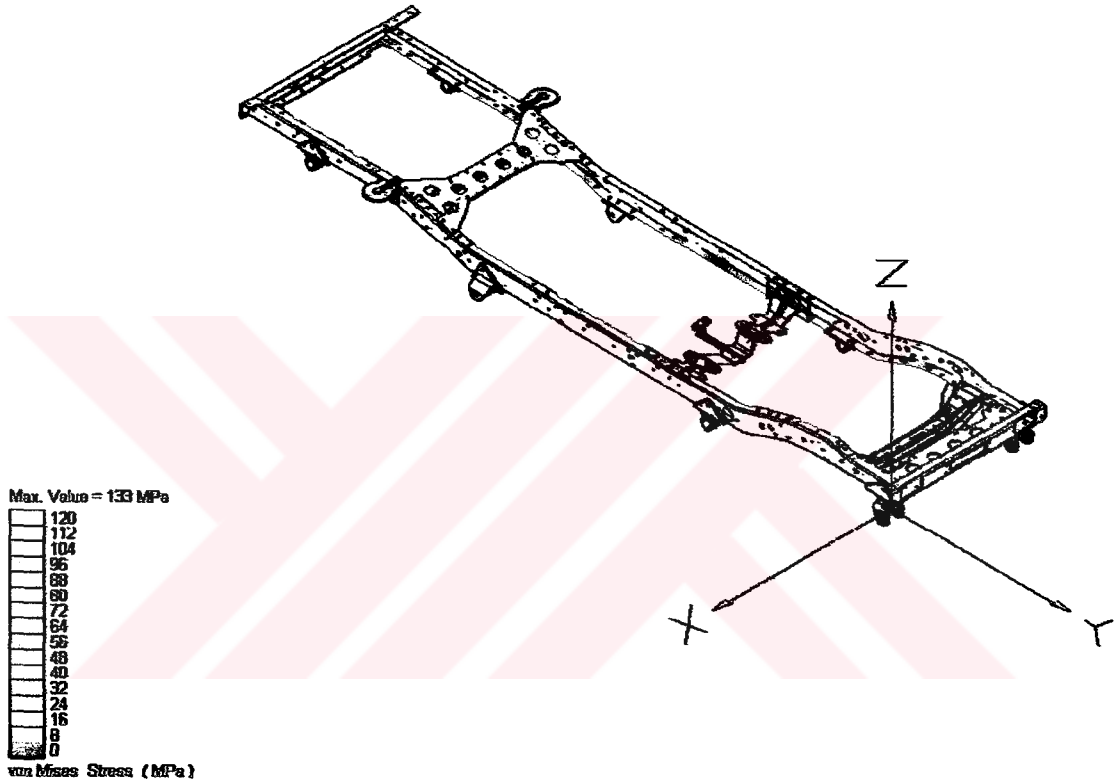
Şekil 4.1 Kupalanın emniyet katsayısının atış durumlarına göre grafiksel değişimi



Şekil 4.2 Kupala milinde 60° ve 0° (sırasıyla) namlı açılardaki gerilmeler

5. JİP ŞASİSİNİN ÇEŞİTLİ DURUMLARDAKİ GERİLME ANALİZLERİ

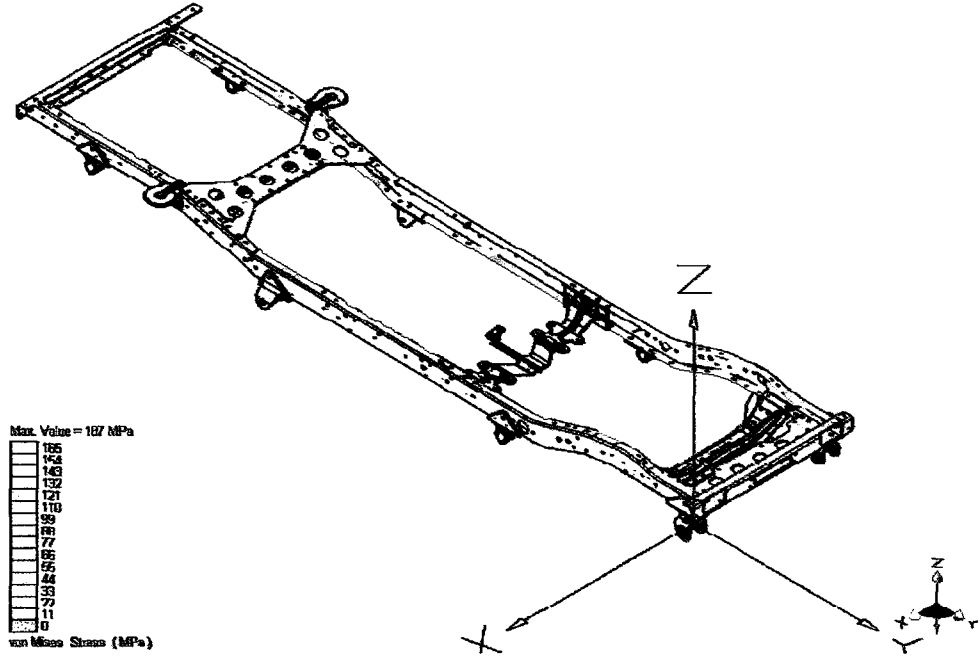
Jip şasisinin analizleri yine MSC firmasına ait Visual Nastran® yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir yük durumunda, jip durağan haldeyken şaside meydana gelen gerilmeler araştırılmıştır. Ardından ağırlığın tekil yük olarak etkimesi hali, yüklü durum için göz önüne alınmıştır. Son olarak jipin 20 km/h hızla seyrederken ön tekerleklerinden birinin 20 cm yüksekliğindeki bir tümseğe çıkması halinde şaside ne gibi gerilmelerin meydana gelebileceği üzerinde durulmuştur.



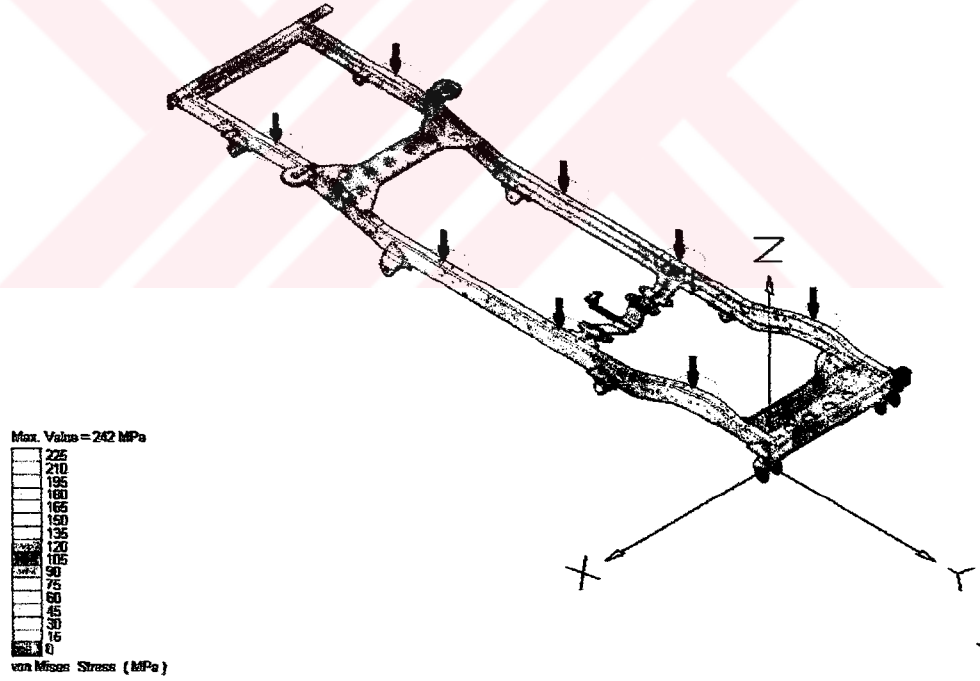
Şekil 5.1 Jipin yüksüz durumunda şaside meydana gelen gerilmeler

Jip yüksüz durumda (2600 kg) ve durağan halde iken şaside meydana gelen gerilmeler Şekil 5.1 de görülmektedir. Bu analiz işleminde ağırlık kuvveti yayılı yüklerle şasinin sağ ve sol kirişleri üzerine verilmiştir. Jip, süspansiyon bağlantı braketleri üzerinden yere rijid bağlanmış ve en zorlayıcı durumu yakalamak için süspansiyonların varlığı göz ardı edilmiştir. Sonuçta gerilmelerin emniyetli sınırlar dahilinde olduğu görülmüştür.

Aynı programda sadece ağırlık değiştirilerek yani; yayılı yüklerin büyüklükleri, aracın yüklü ağırlığını (3100 kg) verecek şekilde düzenlenerek yeniden analiz gerçekleştirilmiştir. Sonuçta gerilmelerin yine emniyetli sınırlar kaldığı olduğu anlaşılmıştır (Şekil 5.2).



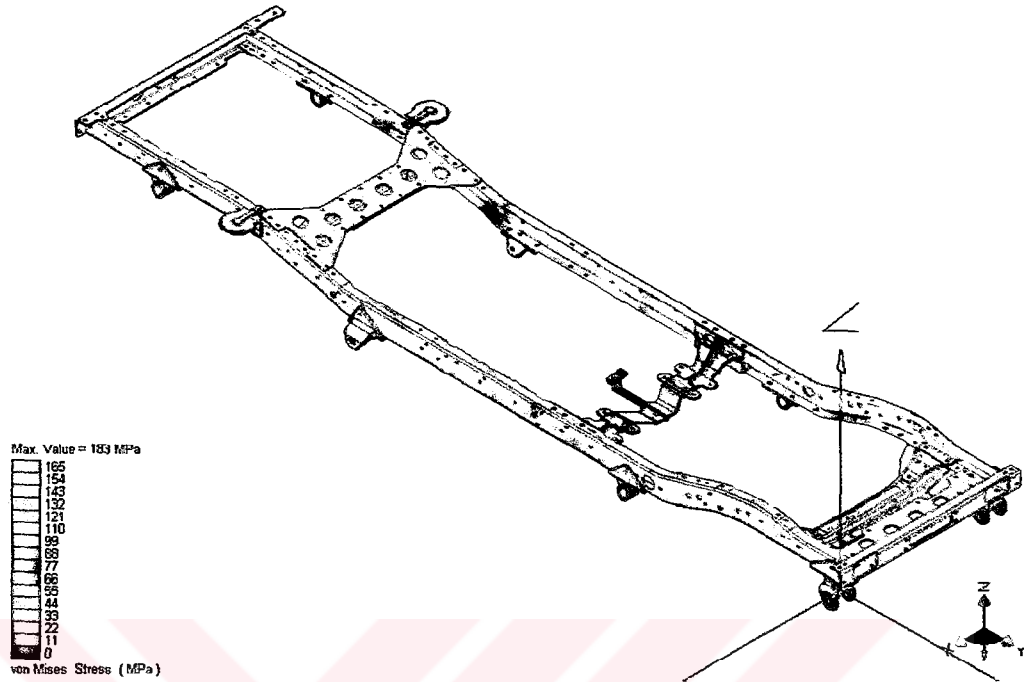
Şekil 5.2 Jipin yüklü durumunda şaside meydana gelen gerilmeler



Şekil 5.3 Ağırlığın tekil yük olarak etkimesi durumunda şaside meydana gelen gerilmeler

Ağırlığın tekil yük olarak şasiye etkimesi durumu Şekil 5.3 de gösterilmiştir. Bu analiz için jipin yüklü ağırlığı (3100 kg) kullanılmıştır. Ağırlık sekiz eşit parçaya bölünerek şasinin sağ ve sol kirişleri üzerine dörder tane ve eşit aralıklarla olmak üzere yerleştirilmiştir. Tekil yükler kullanıldığı için yüklerin etkiye noktalarında bir gerilme yığılması meydana gelmiş ve

maksimum gerilme değeri önceki analizlere nazaran daha yüksek çıkmıştır. Fakat yine de oluşan gerilmeler emniyetli sınırlar içerisinde kalmıştır (Şekil 5.3).



Şekil 5.4 Jip 20 km/h hızla yüksüz seyrederken ön sağ tekerleğinin 20 cm yüksekliğindeki tümseğe çıkması durumundaki gerilmeler

Durağan haldeki analizlerden sonra, seyir halindeki aracın yüksekçe bir engele çıkması durumu öngörülmüştür. Şaside burulma gerilmelerin oluşması için aracın sadece bir ön tekerleğinin tümsek üzerinden geçtiği varsayılmıştır. Seyir hızı 20 km/h ve tümsek yüksekliği 20 cm kabul edilmiş ve tekerleğe etkiyen kuvvet denklem 5.1 den hesaplanarak (~ 20 000N) ön sağ tekerleğe ait süspansiyon sabit braketine etkitilmiştir. Aracın yüksüz ağırlığı yayılı yük olarak şasi sağ ve sol kirişleri üzerine dağıtılmıştır. Sonuçta gerilmelerin emniyetli sınırlar içinde kaldığı görülmüştür.

$$F_t = m_2 \cdot v^2 \cdot \frac{y_{\max}}{R_t^2} \quad (5.1)$$

- F_t : Tekerleğe etkiyen tepki kuvveti
 m_2 : Ön sağ aks – tekerlek kütleleri
 R_t : Tekerlek yarıçapı
 v : Taşıtın seyir hızı
 $y_{\max}$: Tümsek yüksekliği

6. SONUÇLAR

7. Bakım Merkezi Komutanlığı, Tuzla Fabrikası'nda imal edilen 4x4 Tayfun MK-19 Bombaatar Silahlı Jipin seyir halindeki dinamik davranışını incelemek amacıyla yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Silah platformu ile donatılmadan evvelki halini incelemek amacıyla öncelikle, yedi serbestlik dereceli jip modelinin analizi yapıldı. Jip, yüksüz, yüklü ve aşırı yüklü; yani sırasıyla 2600 kg, 3100 kg ve 4000 kg olma durumlarında ele alındı. Her bir şartta engele, ön tekerleklerin aynı anda girişi ve çapraz giriş durumları öngörüldü. Zaman ve frekans cevapları bulgulara göre çizdirildi. Sistemin kararlı bir davranış sergilediği görüldü. Gövdenin zaman cevaplarında düşük seviyelerde maksimum genlikler ve kısa sükûnete erme gözlemlendi. Keza frekans cevaplarında da benzer sonuçlar elde edildi. Rezonans tepeleri ile karşılaşılma. Ayrıca jipin yük durumunun zaman ve frekans cevaplarını önemli ölçüde etkilemediği gözlemlendi. Tüm yük şartlarında jipin engele çapraz girmesinin gövde ve kafa vurma genliklerini ve ivme tepe noktalarını aşağıya çektiği ve sükûnete erme zamanlarını kısalttığı görüldü.

Dokuz serbestlik dereceli sistem, aynen 7SD sistemde olduğu gibi jipin değişik yük şartlarına göre incelendi. Her bir yük şartında, önce sönümsüz platformlu sistemin, hemen ardından da sönümlü platformlu sistemin simülasyonu yapıldı. Platforma ilave edilen sönümleyicinin değeri, sönüm oranı $\xi = 0,6$ olacak şekilde seçildi.

Sönümsüz platformlu taşıtta, sistemin cevaplarında uygun olmayan durumlara dikkat çekildi; şöyle ki, frekans cevaplarında şiddetli rezonans tepeleri gözlemlenirken, zaman cevaplarında özellikle kafa vurma ve silah genliklerinin arttığı, sükûnete erme süresinin de uzadığı ortaya konuldu. Yine bu modelde de yük durumunun sistemi dinamik yönden fazla etkilemediği görüldü.

Sönümlü platformlu jipte ise sönümsüz göre belirgin bir iyileşme, hem zaman hem de frekans cevaplarında gözlemlendi. Özellikle frekans cevaplarında sönümsüz platformlu jipte ortaya çıkan rezonans tepelerinin, sönümlü platformlu sistemin cevaplarında tamamen ortadan kalktığı görüldü. İvme zaman cevaplarında, sönümlü platformlu jipin sükûnete erme zamanlarında dikkat çekici bir azalma ortaya çıktı. Bu modelde de yük durumunun cevaplarda dikkat çeken bir değişmeye yol açmadığı saptandı. Böylece mukavemet açısından bir sorun olmadığı sürece, aracı aşırı yükle (>3100 kg ve <4000 kg) yüklemenin titreşimler ve sistem dinamiği açısından bir mahsuru olmadığı sonucuna varıldı. Sönümlü platformlu modelde de tüm yük şartlarında jipin engele çapraz girmesinin gövde ve kafa vurma genlikleri ile silah genliğini

düşürdüğü, ivme tepe noktalarını aşağıya çektiği ve sükûnete erme zamanlarını kısalttığı görüldü.

Sonuç olarak jipin sönümlü platformlu halinin dinamik yönden daha uygun olduğu kanaatine varılmıştır. Özellikle, sönümsüz durumda silah genliklerinin arttığı ve sönümleme zamanlarının çok uzadığına dikkat çekmek gerekir. Platform altına sönümleyici yerleştirilmesini öneren çözüm ise, sistemi daha kararlı bir hale getirmektedir.

Bombaatar silahının, ateş etmesi durumunda, kupalada meydana getirdiği gerilmelerin araştırılması, FEM kullanan bir yazılım aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Sonuçta, değişik namlu yüksekliği ve açılarında atışın, kupalada emniyet sınırları dışına çıkan gerilmeler meydana getirmedeği görülmüştür. Yine aynı programda analiz edilen yüksüz jipin şasisinde, araç durur vaziyette iken, emniyetli gerilmeler gözlenmiştir. Yüklü jip için tekrar edilen analiz sonucunda da gerilmelerin emniyet sınırları içerisinde kaldığı görülmüştür. Seyir halindeki jip ele alınırken, aracın 20 km/h hızla yüksüz yol alırken ön sağ tekerleğinin 20 cm yüksekliğindeki tümseğe çıkması durumunu göz önüne alınmıştır. Yapılan analiz sonucunda, şaside meydana gelen gerilmeler emniyet sınırları dahilinde kalmıştır.

KAYNAKLAR

- Arifoğlu, U. ve Kubat, C., (2003), Matlab ve Mühendislik Uygulamaları, Alfa Basım-Yayım, İstanbul.
- Chalasani, R.M., (1986), “Ride Performance Potential of Active Suspension System Part I: Simplified Analysis Based on a Quarter Car Model”, ASME Symposium on Simulation and Control of Ground Vehicles and Transportation Systems AMD Vol.80, Dsc-vol.2, pp.187-204
- Chalasani, R.M., (1986), Ride Performance Potential of Active Suspension System Part II: Full Car Model. ASME Symposium on Simulation and Control of Ground Vehicles and Transportation System, AMB-vol.80, Dsc-col.2, pp.205-234.
- Crolla, D.A., Abdel-Hady, M.B.A. , (1991), “Active Suspension Control; Performance Comparisons Using Control Laws Applied to a Full Vehicle Model” , Vehicle System Dynamics , Vol. 20 , pp. 107 – 120.
- Demic, M.A, (1990), “A contribution to the optimization of the characteristics of elastodamping element”, Vehicle System Dynamics Vol. 19, pp.3-18.
- Daldal, O. ve Palavan, S., (1966), Taşıt Titreşimleri, İskender Matbaası.
- Erzi, İ. (1990), Taşıt Titreşimleri Lisans Üstü Ders Notları, İTÜ.
- Francis, S., Ivan, E. M. ve Rolland T. H., (1978), Mechanical Vibration Theory And Application, Allyn And Bacon Inc.
- Güçlü, F., (2001), Sekiz Serbestlik Dereceli Bir Jipin Titreşimleri ve Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi YTÜ.
- Güçlü, R., (2003), “Active Control of Seat Vibrations of a Vehicle Model Using Various Supsension Alternatives”, Turkish J. Eng. Env. Sci. Vol 27, pp. 361–373
- Güney, A., (1989), “Taşıt Titreşimleri ve İrdelenmesi”, Seminer Notları, İTÜ.
- Hanselman, D. ve Littlefield, B. R., (2000) Mastering Matlab 6, Prentice Hall, New York.
- Heisler, H., (1989), Advanced Vehicle Technology, London Melbourne Auckland.
- Magrab, E. B., Azarm, S., Balachandran B., Duncan, J., Herold, K. ve Walsh, G., (2000), An Engineer’s Guide to Matlab, Prentice Hall, New York.
- Mitchke, M., (1972), Dynamik Der Kraft fahrzeuge, Springer – Verlag Berlin
- Pasin, F. (1984), Makine Dinamiği, İTÜ. Matbaası, Gümüşsuyu İstanbul.
- Rao, S. S., (1986), Mechanical Vibrations, Addison–Wesley.
- Reimbell, J.S., (1979), Fahrwerktechnik. (İngilizceye çeviren: C.E. Patulla)
- Sharp, R.S, Hassan S.A., (1986), “The Relative Performance Capabilities of Passive, Active

and Semi Active Car Suspension Systems”, Proc. Instn. Mech. Engrs. Vol 200. No. D3, IMechE pp.219-229

Sharp, R.S and Crolla, D.A., (1987), “Road Vehicle Suspension System Design-A Review”, Vehicle System Dynamics, 16, pp.167-192

Sharp, R.S., Hassan J.H., (1988), “Performance Prediction for a Pneumatic Active Car Suspension System”, Proc. Instn. Mech. Engrs. Vol. 202. No. D4, IMechE. pp. 243-250

Sharp, R.S. Wilsan D.A., (1990), “ On Control Laws for Vehicle Suspension Accounting for Input Correlations”, Vehicle System Dynamic, 19.pp.353-363.

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

Yücel, E., (2003), Mühendislik Sistemlerinin Modellenmesi ve Dinamiği, Literatür Yayıncılık, İstanbul.

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

Yüksel, İ., (2001), Otomatik Kontrol, Uludağ Üni. Vakfı, Bursa

EKLER

- Ek 1 Yedi Serbestlik Dereceli Jipin Lagrange Denklemleri
- Ek 2 Yedi Serbestlik Dereceli Jipin Diferansiyel Denklemleri
- Ek 3 Dokuz Serbestlik Dereceli Jipin Lagrange Denklemleri
- Ek 4 Dokuz Serbestlik Dereceli Jipin Diferansiyel Denklemleri
- Ek 5 Yedi Serbestlik Dereceli Jip Modelinin Matlab® Programı
- Ek 6 Dokuz Serbestlik Dereceli Jip Modelinin Matlab® Programı
- Ek 7 Yedi Serbestlik Dereceli Jip Modelinin Blok Diyagramı
- Ek 8 Dokuz Serbestlik Dereceli Jip Modelinin Blok Diyagramı



Ek 1 Yedi Serbestlik Dereceli Jipin Lagrange Denklemleri

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

$$q_j = x_1;$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_1} = m_1 \dot{x}_1, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_1} \right) = m_1 \ddot{x}_1, \quad \frac{\partial E_k}{\partial x_1} = 0, \quad Q_{x_1} = 0$$

$$\frac{\partial E_p}{\partial x_1} = -k_1 (x_5 - L_1 \theta - L_3 \alpha - x_1) + k_{t_1} (x_1 - x_{y_1}), \quad \frac{\partial E_c}{\partial \dot{x}_1} = -c_1 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_1) + c_{t_1} (\dot{x}_1 - \dot{x}_{y_1})$$

$$q_j = x_2;$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_2} = m_2 \dot{x}_2, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_2} \right) = m_2 \ddot{x}_2, \quad \frac{\partial E_k}{\partial x_2} = 0, \quad Q_{x_2} = 0$$

$$\frac{\partial E_p}{\partial x_2} = -k_2 (x_5 - L_1 \theta + L_4 \alpha - x_2) + k_{t_2} (x_2 - x_{y_2}), \quad \frac{\partial E_c}{\partial \dot{x}_2} = -c_2 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_2) + c_{t_2} (\dot{x}_2 - \dot{x}_{y_2})$$

$$q_j = x_3;$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_3} = m_3 \dot{x}_3, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_3} \right) = m_3 \ddot{x}_3, \quad \frac{\partial E_k}{\partial x_3} = 0, \quad Q_{x_3} = 0$$

$$\frac{\partial E_p}{\partial x_3} = -k_3 (x_5 + L_2 \theta - L_3 \alpha - x_3) + k_{t_3} (x_3 - x_{y_3}), \quad \frac{\partial E_c}{\partial \dot{x}_3} = -c_3 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_3) + c_{t_3} (\dot{x}_3 - \dot{x}_{y_3})$$

$$q_j = x_4;$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_4} = m_4 \dot{x}_4, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_4} \right) = m_4 \ddot{x}_4, \quad \frac{\partial E_k}{\partial x_4} = 0, \quad Q_{x_4} = 0$$

$$\frac{\partial E_p}{\partial x_1} = -k_4 (x_5 + L_2 \theta + L_4 \alpha - x_4) + k_{t_4} (x_4 - x_{y_4}), \quad \frac{\partial E_c}{\partial \dot{x}_1} = -c_4 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_4) + c_{t_4} (\dot{x}_4 - \dot{x}_{y_4})$$

$$q_j = x_5;$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_5} = m_5 \dot{x}_5, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_5} \right) = m_5 \ddot{x}_5, \quad \frac{\partial E_k}{\partial x_5} = 0, \quad Q_{x_5} = 0$$

$$\frac{\partial E_p}{\partial x_5} = k_1 (x_5 - L_1 \theta - L_3 \alpha - x_1) + k_2 (x_5 - L_1 \theta + L_4 \alpha - x_2) + k_3 (x_5 + L_2 \theta - L_3 \alpha - x_3) +$$

$$k_4 (x_5 + L_2 \theta + L_4 \alpha - x_4)$$

$$\frac{\partial E_c}{\partial \dot{x}_5} = c_1 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_1) + c_2 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_2) + c_3 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_3) +$$

$$c_4 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_4)$$

$$q_j = \theta = x_6;$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \theta} = J_\theta \dot{\theta}, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}} \right) = J_\theta \ddot{\theta}, \quad \frac{\partial E_k}{\partial \theta} = 0, \quad Q_\theta = 0$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_p}{\partial \theta} = & -k_1 L_1 (x_5 - L_1 \theta - L_3 \alpha - x_1) - k_2 L_1 (x_5 - L_1 \theta + L_4 \alpha - x_2) + k_3 L_2 (x_5 + L_2 \theta - L_3 \alpha - x_3) + \\ & k_4 L_2 (x_5 + L_2 \theta + L_4 \alpha - x_4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_c}{\partial \dot{\theta}} = & -c_1 L_1 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_1) - c_2 L_1 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_2) + c_3 L_2 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_3) + \\ & c_4 L_2 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_4) \end{aligned}$$

$$q_j = \alpha = x_7;$$

$$\frac{E_k}{\partial \alpha} = J_\alpha \dot{\alpha}, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{E_k}{\partial \dot{\alpha}} \right) = J_\alpha \ddot{\alpha}, \quad \frac{\partial E_k}{\partial \alpha} = 0, \quad Q_\alpha = 0$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_p}{\partial \alpha} = & -k_1 L_3 (x_5 - L_1 \theta - L_3 \alpha - x_1) + k_2 L_4 (x_5 - L_1 \theta + L_4 \alpha - x_2) - k_3 L_3 (x_5 + L_2 \theta - L_3 \alpha - x_3) + \\ & k_4 L_4 (x_5 + L_2 \theta + L_4 \alpha - x_4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_c}{\partial \dot{\alpha}} = & -c_1 L_3 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_1) + c_2 L_4 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_2) - c_3 L_3 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_3) + \\ & c_4 L_4 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_4) \end{aligned}$$

Ek 2 Yedi Serbestlik Dereceli Jipin Diferansiyel Denklemleri

$$(1) m_1 \ddot{x}_1 - c_1 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_1) + c_{t_1} (\dot{x}_1 - \dot{x}_{y_1}) - k_1 (x_5 - L_1 \theta - L_3 \alpha - x_1) + k_{t_1} (x_1 - x_{y_1}) = 0$$

$$(2) m_2 \ddot{x}_2 - c_2 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_2) + c_{t_2} (\dot{x}_2 - \dot{x}_{y_2}) - k_2 (x_5 - L_1 \theta + L_4 \alpha - x_2) + k_{t_2} (x_2 - x_{y_2}) = 0$$

$$(3) m_3 \ddot{x}_3 - c_3 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_3) + c_{t_3} (\dot{x}_3 - \dot{x}_{y_3}) - k_3 (x_5 + L_2 \theta - L_3 \alpha - x_3) + k_{t_3} (x_3 - x_{y_3}) = 0$$

$$(4) m_4 \ddot{x}_4 - c_4 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_4) + c_{t_4} (\dot{x}_4 - \dot{x}_{y_4}) - k_4 (x_5 + L_2 \theta + L_4 \alpha - x_4) + k_{t_4} (x_4 - x_{y_4}) = 0$$

$$(5) m_5 \ddot{x}_5 + c_1 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_1) + c_2 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_2) + c_3 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_3) + c_4 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_4) + k_1 (x_5 - L_1 \theta - L_3 \alpha - x_1) + k_2 (x_5 - L_1 \theta + L_4 \alpha - x_2) + k_3 (x_5 + L_2 \theta - L_3 \alpha - x_3) + k_4 (x_5 + L_2 \theta + L_4 \alpha - x_4) = 0$$

$$(6) J_{\theta} \ddot{\theta} - c_1 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_1) - c_2 L_1 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_2) + c_3 L_2 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_3) + c_4 L_2 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_4) - k_1 (x_5 - L_1 \theta - L_3 \alpha - x_1) - k_2 L_1 (x_5 - L_1 \theta + L_4 \alpha - x_2) + k_3 L_2 (x_5 + L_2 \theta - L_3 \alpha - x_3) + k_4 L_2 (x_5 + L_2 \theta + L_4 \alpha - x_4) = 0$$

$$(7) J_{\alpha} \ddot{\alpha} - c_1 L_3 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_1) + c_2 L_4 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_2) - c_3 L_3 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_3) + c_4 L_4 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_4) - k_1 L_3 (x_5 - L_1 \theta - L_3 \alpha - x_1) + k_2 L_4 (x_5 - L_1 \theta + L_4 \alpha - x_2) - k_3 L_3 (x_5 + L_2 \theta - L_3 \alpha - x_3) + k_4 L_4 (x_5 + L_2 \theta + L_4 \alpha - x_4) = 0$$

Ek 3 Dokuz Serbestlik Dereceli Jipin Lagrange Denklemleri

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

$$q_j = x_1;$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_1} = m_1 \dot{x}_1, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_1} \right) = m_1 \ddot{x}_1, \quad \frac{\partial E_k}{\partial x_1} = 0, \quad Q_{x_1} = 0$$

$$\frac{\partial E_p}{\partial x_1} = -k_1 (x_5 - L_1 \theta - L_3 \alpha - x_1) + k_{t_1} (x_1 - x_{y_1}), \quad \frac{\partial E_c}{\partial \dot{x}_1} = -c_1 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_1) + c_{t_1} (\dot{x}_1 - \dot{x}_{y_1})$$

$$q_j = x_2;$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_2} = m_2 \dot{x}_2, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_2} \right) = m_2 \ddot{x}_2, \quad \frac{\partial E_k}{\partial x_2} = 0, \quad Q_{x_2} = 0$$

$$\frac{\partial E_p}{\partial x_2} = -k_2 (x_5 - L_1 \theta + L_4 \alpha - x_2) + k_{t_2} (x_2 - x_{y_2}), \quad \frac{\partial E_c}{\partial \dot{x}_2} = -c_2 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_2) + c_{t_2} (\dot{x}_2 - \dot{x}_{y_2})$$

$$q_j = x_3;$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_3} = m_3 \dot{x}_3, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_3} \right) = m_3 \ddot{x}_3, \quad \frac{\partial E_k}{\partial x_3} = 0, \quad Q_{x_3} = 0$$

$$\frac{\partial E_p}{\partial x_3} = -k_3 (x_5 + L_2 \theta - L_3 \alpha - x_3) + k_{t_3} (x_3 - x_{y_3}), \quad \frac{\partial E_c}{\partial \dot{x}_3} = -c_3 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_3) + c_{t_3} (\dot{x}_3 - \dot{x}_{y_3})$$

$$q_j = x_4;$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_4} = m_4 \dot{x}_4, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_4} \right) = m_4 \ddot{x}_4, \quad \frac{\partial E_k}{\partial x_4} = 0, \quad Q_{x_4} = 0$$

$$\frac{\partial E_p}{\partial x_4} = -k_4 (x_5 + L_2 \theta + L_4 \alpha - x_4) + k_{t_4} (x_4 - x_{y_4}), \quad \frac{\partial E_c}{\partial \dot{x}_4} = -c_4 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_4) + c_{t_4} (\dot{x}_4 - \dot{x}_{y_4})$$

$$q_j = x_5;$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_5} = m_5 \dot{x}_5, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_5} \right) = m_5 \ddot{x}_5, \quad \frac{\partial E_k}{\partial x_5} = 0, \quad Q_{x_5} = 0$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_p}{\partial x_5} = & -k_8 (x_8 - x_5 - L_5 \theta) + k_1 (x_5 - L_1 \theta - L_3 \alpha - x_1) + k_2 (x_5 - L_1 \theta + L_4 \alpha - x_2) + \\ & k_3 (x_5 + L_2 \theta - L_3 \alpha - x_3) + k_4 (x_5 + L_2 \theta + L_4 \alpha - x_4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_c}{\partial \dot{x}_5} = & c_1 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_1) + c_2 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_2) + c_3 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_3) + \\ & c_4 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_4) \end{aligned}$$

$$q_j = \theta = x_6;$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}} = J_\theta \dot{\theta}, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}} \right) = J_\theta \ddot{\theta}, \quad \frac{\partial E_k}{\partial \theta} = 0, \quad Q_\theta = M_\theta$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_p}{\partial \theta} = & -k_1 L_1 (x_5 - L_1 \theta - L_3 \alpha - x_1) - k_2 L_1 (x_5 - L_1 \theta + L_4 \alpha - x_2) + k_3 L_2 (x_5 + L_2 \theta - L_3 \alpha - x_3) + \\ & k_4 L_2 (x_5 + L_2 \theta + L_4 \alpha - x_4) - k_8 L_5 (x_8 - x_5 - L_5 \theta) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_c}{\partial \dot{\theta}} = & -c_1 L_1 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_1) - c_2 L_1 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_2) + c_3 L_2 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_3) + \\ & c_4 L_2 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_4) \end{aligned}$$

$$q_j = \alpha = x_7;$$

$$\frac{E_k}{\partial \dot{\alpha}} = J_\alpha \dot{\alpha}, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{E_k}{\partial \dot{\alpha}} \right) = J_\alpha \ddot{\alpha}, \quad \frac{\partial E_k}{\partial \alpha} = 0, \quad Q_\alpha = M_\alpha$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_p}{\partial \alpha} = & -k_1 L_3 (x_5 - L_1 \theta - L_3 \alpha - x_1) + k_2 L_4 (x_5 - L_1 \theta + L_4 \alpha - x_2) - k_3 L_3 (x_5 + L_2 \theta - L_3 \alpha - x_3) + \\ & k_4 L_4 (x_5 + L_2 \theta + L_4 \alpha - x_4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_c}{\partial \dot{\alpha}} = & -c_1 L_3 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_1) + c_2 L_4 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_2) - c_3 L_3 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_3) + \\ & c_4 L_4 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_4) \end{aligned}$$

$$q_j = x_8;$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_8} = m_8 \dot{x}_8, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_8} \right) = m_8 \ddot{x}_8, \quad \frac{\partial E_k}{\partial x_8} = 0, \quad \frac{\partial E_p}{\partial x_8} = k_8 (x_8 - x_5 - L_5 \theta) - k_9 (x_9 - x_8)$$

$$\frac{\partial E_c}{\partial \dot{x}_8} = 0, \quad Q_{x_8} = 0$$

$$q_j = x_9;$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_9} = m_9 \dot{x}_9, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_9} \right) = m_9 \ddot{x}_9, \quad \frac{\partial E_k}{\partial x_9} = 0, \quad \frac{\partial E_p}{\partial x_9} = k_9 (x_9 - x_8), \quad \frac{\partial E_c}{\partial \dot{x}_9} = 0, \quad Q_{x_9} = F_d$$

Ek 4 Dokuz Serbestlik Dereceli Jipin Diferansiyel Denklemleri

$$(1) m_1 \ddot{x}_1 - c_1 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_1) + c_{t_1} (\dot{x}_1 - \dot{x}_{y_1}) - k_1 (x_5 - L_1 \theta - L_3 \alpha - x_1) + k_{t_1} (x_1 - x_{y_1}) = 0$$

$$(2) m_2 \ddot{x}_2 - c_2 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_2) + c_{t_2} (\dot{x}_2 - \dot{x}_{y_2}) - k_2 (x_5 - L_1 \theta + L_4 \alpha - x_2) + k_{t_2} (x_2 - x_{y_2}) = 0$$

$$(3) m_3 \ddot{x}_3 - c_3 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_3) + c_{t_3} (\dot{x}_3 - \dot{x}_{y_3}) - k_3 (x_5 + L_2 \theta - L_3 \alpha - x_3) + k_{t_3} (x_3 - x_{y_3}) = 0$$

$$(4) m_4 \ddot{x}_4 - c_4 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_4) + c_{t_4} (\dot{x}_4 - \dot{x}_{y_4}) - k_4 (x_5 + L_2 \theta + L_4 \alpha - x_4) + k_{t_4} (x_4 - x_{y_4}) = 0$$

$$(5) m_5 \ddot{x}_5 + c_1 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_1) + c_2 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_2) + c_3 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_3) + c_4 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_4) + k_1 (x_5 - L_1 \theta - L_3 \alpha - x_1) + k_2 (x_5 - L_1 \theta + L_4 \alpha - x_2) + k_3 (x_5 + L_2 \theta - L_3 \alpha - x_3) + k_4 (x_5 + L_2 \theta + L_4 \alpha - x_4) - k_8 (x_8 - x_5 - L_5 \theta) = 0$$

$$(6) J_{\theta} \ddot{\theta} - c_1 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_1) - c_2 L_1 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_2) + c_3 L_2 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_3) + c_4 L_2 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_4) - k_1 (x_5 - L_1 \theta - L_3 \alpha - x_1) - k_2 L_1 (x_5 - L_1 \theta + L_4 \alpha - x_2) + k_3 L_2 (x_5 + L_2 \theta - L_3 \alpha - x_3) + k_4 L_2 (x_5 + L_2 \theta + L_4 \alpha - x_4) - k_8 L_5 (x_8 - x_5 - L_5 \theta) = M_{\theta}$$

$$(7) J_{\alpha} \ddot{\alpha} - c_1 L_3 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_1) + c_2 L_4 (\dot{x}_5 - L_1 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_2) - c_3 L_3 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} - L_3 \dot{\alpha} - \dot{x}_3) + c_4 L_4 (\dot{x}_5 + L_2 \dot{\theta} + L_4 \dot{\alpha} - \dot{x}_4) - k_1 L_3 (x_5 - L_1 \theta - L_3 \alpha - x_1) + k_2 L_4 (x_5 - L_1 \theta + L_4 \alpha - x_2) - k_3 L_3 (x_5 + L_2 \theta - L_3 \alpha - x_3) + k_4 L_5 (x_5 + L_2 \theta + L_4 \alpha - x_4) = M_{\alpha}$$

$$(8) m_8 \ddot{x}_8 + k_8 (x_8 - x_5 - L_5 \theta) - k_9 (x_9 - x_8) = 0$$

$$(9) m_9 \ddot{x}_9 + k_9 (x_9 - x_8) = F_d$$

Ek 5 Yedi Serbestlik Dereceli Jip Modelinin Matlab® Programı

%Taşıta ait fiziksel özellikler

```
m1=57;
m2=57;
m3=52;
m4=52;
m5=2614;
jteta=2300;
jalfa=1500;
k1=85000;
k2=85000;
k3=161000;
k4=161000;
kt=180000;
c1=2000;
c2=2000;
c3=7000;
c4=7000;
ct=500;
L1=1.28;
L2=1.28;
L3=0.72;
L4=0.72;
```

%-----

%Sistem Matrislerinin Tanımlanması

```
i=[1 2 3 4 5 6 7];
j=[m1 m2 m3 m4 m5 jteta jalfa];
Mi=sparse(i,i,j,7,7);
M=full(Mi);
Cs=[c1+ct 0 0 0 -c1 c1*L1 c1*L3
    0 c2+ct 0 0 -c2 c2*L1 -c2*L4
    0 0 c3+ct 0 -c3 -c3*L2 c3*L3
    0 0 0 c4+ct -c4 -c4*L2 -c4*L4
    -c1 -c2 -c3 -c4 c1+c2+c3+c4 -c1*L1-c2*L1+c3*L2+c4*L2 -c1*L3+c2*L4-c3*L3+c4*L4
    c1*L1 c2*L1 -c3*L2 -c4*L2 -c1*L1-c2*L1+c3*L2+c4*L2
    c1*L1^2+c2*L1^2+c3*L2^2+c4*L2^2 c1*L1*L3-c2*L1*L4-c3*L2*L3+c4*L2*L4
    c1*L3 -c2*L4 c3*L3 -c4*L4 -c1*L3+c2*L4-c3*L3+c4*L4 c1*L1*L3-c2*L1*L4-
    c3*L2*L3+c4*L2*L4 c1*L3^2+c2*L4^2+c3*L3^2+c4*L4^2];
K=[k1+kt 0 0 0 -k1 k1*L1 k1*L3
    0 k2+kt 0 0 -k2 k2*L1 -k2*L4
    0 0 k3+kt 0 -k3 -k3*L2 k3*L3
    0 0 0 k4+kt -k4 -k4*L2 -k4*L4
    -k1 -k2 -k3 -k4 k1+k2+k3+k4 -k1*L1-k2*L1+k3*L2+k4*L2 -k1*L3+k2*L4-
    k3*L3+k4*L4
    k1*L1 k2*L1 -k3*L2 -k4*L2 -k1*L1-k2*L1+k3*L2+k4*L2
    k1*L1^2+k2*L1^2+k3*L2^2+k4*L2^2 k1*L1*L3-k2*L1*L4-k3*L2*L3+k4*L2*L4
    k1*L3 -k2*L4 k3*L3 -k4*L4 -k1*L3+k2*L4-k3*L3+k4*L4 k1*L1*L3-k2*L1*L4-
    k3*L2*L3+k4*L2*L4 k1*L3^2+k2*L4^2+k3*L3^2+k4*L4^2];
%-----
```

```
% Kritik frekansların bulunması
disp('Sistemin Kritik Frekansları:')
sqrt(eig(K,M))/2/pi
%-----
```

```
%Durum-Uzayının tanımlanması
P=zeros(size(K));
Q=eye(size(K));
N=-1*eye(size(K))/M;
R=N*K;
S=N*Cs;
A=[P Q;R S];
u=[8 9 10 11];
v=[1 2 3 4];
Bi=sparse(u,v,1,14,4);
B=full(Bi);
i=[1 2 3];
j=[5 6 7];
Ci=sparse(i,j,1,3,14);
C=full(Ci);
D=zeros(3,4);
disp('Silah Platformlu 4x4 Jeepin Sistem Dinamiği ve Durum Uzayı Tanımlandı.')
```

Ek 6 Dokuz Serbestlik Dereceli Jip Modelinin Matlab® Programı

%Taşıta ait fiziksel özellikler

```
m1=57;
m2=57;
m3=52;
m4=52;
m5=2614;
m8=120;
m9=80;
jteta=2300;
jalfa=1500;
k1=85000;
k2=85000;
k3=161000;
k4=161000;
kt=180000;
k8=176000;
k9=515000;
c1=2000;
c2=2000;
c3=7000;
c4=7000;
ct=500;
L1=1.28;
L2=1.28;
L3=0.72;
L4=0.72;
L5=0.64;
%-----
```

%Sistem Matrislerinin Tanımlanması

```
i=[1 2 3 4 5 6 7 8 9];
j=[m1 m2 m3 m4 m5 jteta jalfa m8 m9];
Mi=sparse(i,i,j,9,9);
M=full(Mi);
```

```
Cs=[c1+ct 0 0 0 -c1 c1*L1 c1*L3 0 0
    0 c2+ct 0 0 -c2 c2*L1 -c2*L4 0 0
    0 0 c3+ct 0 -c3 -c3*L2 c3*L3 0 0
    0 0 0 c4+ct -c4 -c4*L2 -c4*L4 0 0
    -c1 -c2 -c3 -c4 c1+c2+c3+c4 -c1*L1-c2*L1+c3*L2+c4*L2 -c1*L3+c2*L4-c3*L3+c4*L4
    0 0
    c1*L1 c2*L1 -c3*L2 -c4*L2 -c1*L1-c2*L1+c3*L2+c4*L2
    c1*L1^2+c2*L1^2+c3*L2^2+c4*L2^2 c1*L1*L3-c2*L1*L4-c3*L2*L3+c4*L2*L4 0 0
    c1*L3 -c2*L4 c3*L3 -c4*L4 -c1*L3+c2*L4-c3*L3+c4*L4 c1*L1*L3-c2*L1*L4-
    c3*L2*L3+c4*L2*L4 c1*L3^2+c2*L4^2+c3*L3^2+c4*L4^2 0 0
    0 0 0 0 0 0 0 0
    0 0 0 0 0 0 0 0];
```

```

K=[k1+kt 0 0 0 -k1 k1*L1 k1*L3 0 0
    0 k2+kt 0 0 -k2 k2*L1 -k2*L4 0 0
    0 0 k3+kt 0 -k3 -k3*L2 k3*L3 0 0
    0 0 0 k4+kt -k4 -k4*L2 -k4*L4 0 0
    -k1 -k2 -k3 -k4 k1+k2+k3+k4+k8 -k1*L1-k2*L1+k3*L2+k4*L2+k8*L5 -k1*L3+k2*L4-
    k3*L3+k4*L4 -k8 0
    k1*L1 k2*L1 -k3*L2 -k4*L2 -k1*L1-k2*L1+k3*L2+k4*L2+k8*L5
    k1*L1^2+k2*L1^2+k3*L2^2+k4*L2^2+k8*L5^2 k1*L1*L3-k2*L1*L4-
    k3*L2*L3+k4*L2*L4 -k8*L5 0
    k1*L3 -k2*L4 k3*L3 -k4*L4 -k1*L3+k2*L4-k3*L3+k4*L4 k1*L1*L3-k2*L1*L4-
    k3*L2*L3+k4*L2*L4 k1*L3^2+k2*L4^2+k3*L3^2+k4*L4^2 0 0
    0 0 0 0 -k8 -k8*L5 0 k8+k9 -k9
    0 0 0 0 0 0 -k9 k9];
%-----

```

```

% Kritik frekansların bulunması
disp('Sistemin Kritik Frekansları:')
sqrt(eig(K,M))/2/pi
%-----

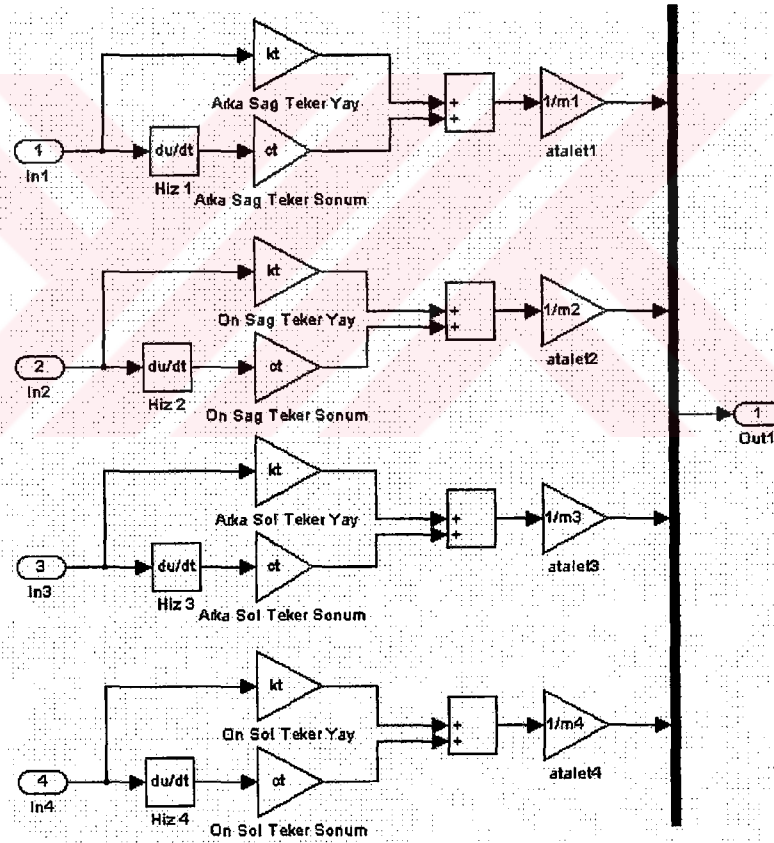
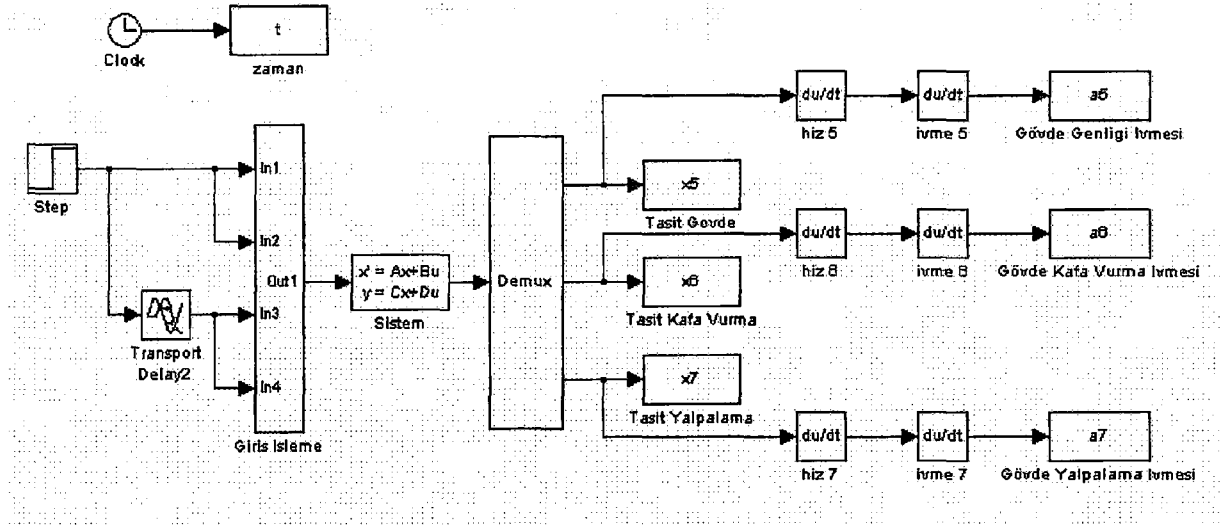
```

```

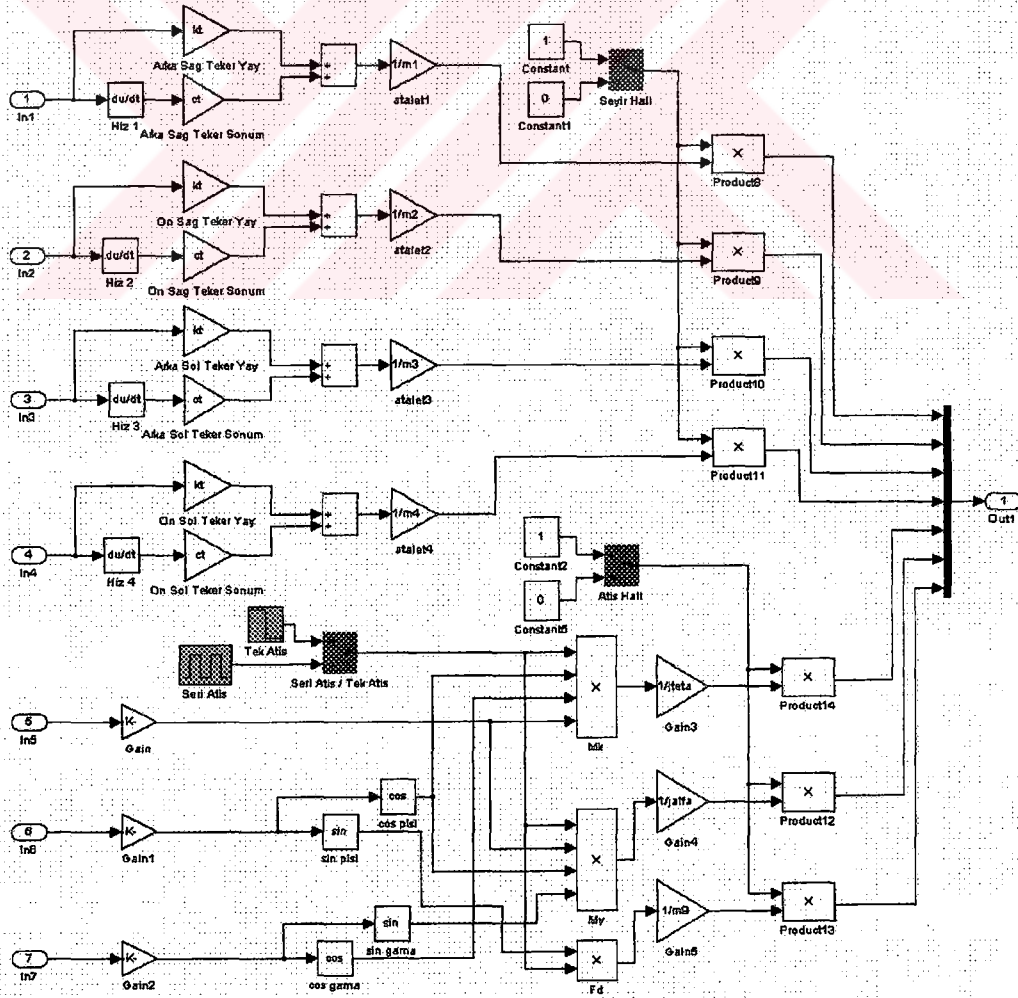
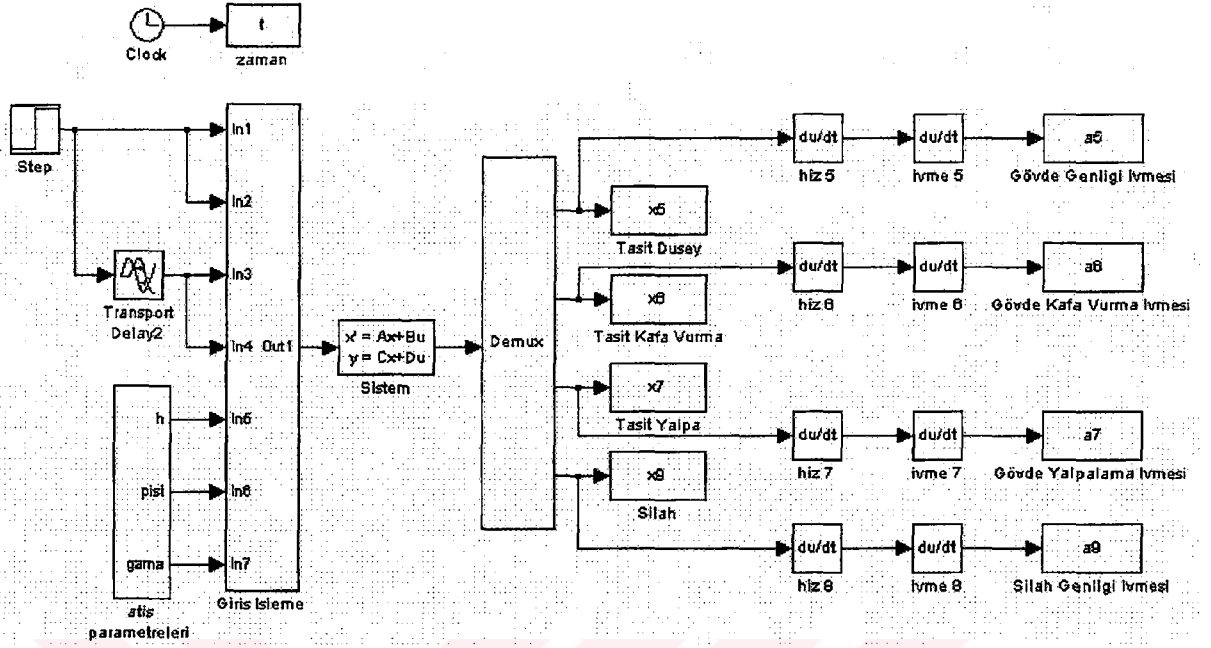
%Durum-Uzayının tanımlanması
P=zeros(size(K));
Q=eye(size(K));
N=-1*eye(size(K))/M;
R=N*K;
S=N*Cs;
A=[P Q;R S];
u=[10 11 12 13 15 16 18];
v=[1 2 3 4 5 6 7];
Bi=sparse(u,v,1,18,7);
B=full(Bi);
i=[1 2 3 4];
j=[5 6 7 9];
Ci=sparse(i,j,1,4,18);
C=full(Ci);
D=zeros(4,7);
disp('Silah Platformlu 4x4 Jeepin Sistem Dinamiği ve Durum Uzayı Tanımlandı.')

```

Ek 7 Yedi Serbestlik Dereceli Jip Modelinin Blok Diyagramları



Ek 8 Dokuz Serbestlik Dereceli Jip Modelinin Blok Diyagramları



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 10.10.1981

Doğum yeri Siirt

Lise 1996–1998 Özel Hikmet Doğay Lisesi

Lisans 1998–2002 Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fak.
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2002–2004 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı, Makine Teorisi ve
Kontrol Programı

Çalıştığı kurumlar

2002–2003

Ağar Egzoz Sistemleri (AES) A.Ş.

2004-Devam ediyor.

Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği
Bölümü, Makine Teorisi, Sistem Dinamiği ve
Kontrol Anabilim Dalı Öğrenci Asistanı

