

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELASTİK ZEMİNE OTURAN DİKDÖRTGEN
PLAKLARIN TİTREŞİMLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Volkan KILIÇ**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

MAYIS 2006

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELASTİK ZEMİNE OTURAN DİKDÖRTGEN
PLAKLARIN TİTREŞİMLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Volkan KILIÇ
(Enstitü No: 501951086)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08 Mayıs 2006

Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Haziran 2006

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Hasan ENGİN

Diğer Jüri Üyeleri: Prof.Dr. Kadir GÜLER

Doç.Dr. İrfan COŞKUN (Y.T.Ü.)

MAYIS 2006

ÖNSÖZ

Bu çalışma sırasında gerekli mesaiyi ayıran, bilgi ve tecrübesine müracaat ettiğim danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hasan ENGİN'e şükranlarımı sunarım. Bununla birlikte, Çorlu Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünden Sayın Araş. Gör. Aydın ÖZMUTLU ya desteklerinden dolayı şükranlarımı sunarım.

Ayrıca hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen, eğitimimdeki katkılarından dolayı, aileme de müteşekkirim.

Mayıs 2006

Volkan KILIÇ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
TABLO LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
2. TEMEL DENKLEMLER	12
2.1 İnce Plak Teorisi	12
2.2 Plak Diferansiyel Denklemi	14
2.3 Elastik Zemine Oturan Plaklarda Hareket Denklemi	20
2.3.1 Winkler Zemin Modeli	20
2.3.1 Vlasov Zemin Modeli	22
3. SONLU FARKLAR YÖNTEMİ İLE HAREKET DENKLEMİNİN ÇÖZÜMÜ	26
3.1 Sonlu Fark Denklemlerinin Elde Edilmesi	26
3.1.1 Winkler Zemin Modeline Ait Hareket Denklemi Boyutsuzlaştırılması	29
3.1.1.1 Moment İfadelerinin Sonlu Fark Formülasyonu	30
3.1.1.2 Kesme Kuvveti İfadelerinin Sonlu Fark Formülasyonu	32
3.1.1.3 Mesnet Tepkilerinin Sonlu Fark Formülasyonu	33
3.1.1.4 Sınır Koşullarının Boyutsuzlaştırılması	34
4. SAYISAL UYGULAMALAR	36
4.1 Sayısal Veriler	36
4.2 Sonuçlar	36
4.2.1 Statik Yük Hali	36
4.2.2 Dinamik Harmonik Yük Hali	37
5. TARTIŞMA	39
KAYNAKLAR	40
EK A	43
EK B	71
ÖZGEÇMİŞ	97

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo A.1 : Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz çökme değerleri.....	44
Tablo A.2 : Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{M}_x$ momenti.....	45
Tablo A.3 : Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{M}_y$ momenti.....	46
Tablo A.4 : Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ momenti.....	47
Tablo A.5 : Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvveti.....	47
Tablo A.6 : Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvveti.....	49
Tablo A.7 : Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz çökme değerleri.....	51
Tablo A.8 : Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{M}_x$ momenti.....	52
Tablo A.9 : Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{M}_y$ momenti.....	53
Tablo A.10 : Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ momenti.....	54
Tablo A.11 : Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvveti.....	55
Tablo A.12 : Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvveti.....	56
Tablo A.13 : Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz çökme değerleri.....	58
Tablo A.14 : Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{M}_x$ momenti.....	59
Tablo A.15 : Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{M}_y$ momenti.....	60
Tablo A.16 : Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ momenti.....	61

Tablo A.17	: Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvveti.....	62
Tablo A.18	: Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvveti.....	63
Tablo A.19	: Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz çökme değerleri.....	65
Tablo A.20	: Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{M}_x$ momenti.....	66
Tablo A.21	: Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{M}_y$ momenti.....	67
Tablo A.22	: Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ momenti.....	68
Tablo A.23	: Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvveti.....	69
Tablo A.24	: Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvveti.....	70
Tablo B.1	: Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvvetinin değişimi	71
Tablo B.2	: Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{M}_x$ momenti.....	72
Tablo B.3	: Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{M}_y$ momenti.....	73
Tablo B.4	: Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ momenti.....	74
Tablo B.5	: Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvveti.....	75
Tablo B.6	: Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvveti.....	76
Tablo B.7	: Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz çökme değerleri.....	79
Tablo B.8	: Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{M}_x$ momenti.....	79

Tablo B.9	Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{M}_y$ momenti.....	81
Tablo B.10	Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ momenti.....	82
Tablo B.11	Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvveti.....	83
Tablo B.12	Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvveti.....	84
Tablo B.13	Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz çökme değerleri.....	85
Tablo B.14	Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{M}_x$ momenti.....	86
Tablo B.15	Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{M}_y$ momenti.....	87
Tablo B.16	Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ momenti.....	88
Tablo B.17	Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvveti.....	89
Tablo B.18	Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvveti.....	90
Tablo B.19	Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz çökme değerleri.....	91
Tablo B.20	Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{M}_x$ momenti.....	92
Tablo B.21	Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{M}_y$ momenti.....	93
Tablo B.22	Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ momenti.....	94

	<u>Sayfa No</u>
Tablo B.23 Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvveti.....	95
Tablo B.24 Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvveti.....	96

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1 : Winkler zemin modeli.....	2
Şekil 1.2 : Filonenko-Borodich modeli.....	3
Şekil 1.3 : Pasternak modeli.....	5
Şekil 1.4 : Zeminde kayma elemanlarının gösterimi.....	6
Şekil 1.5 : Plak ve zemin bölgesinden oluşan sistem.....	6
Şekil 2.1 : Plak elemanı.....	13
Şekil 2.2 : İnce plak	14
Şekil 2.3 : Sonsuz küçük plak elemanında gerilmeler.....	15
Şekil 2.4 : Sonsuz küçük plak elemanında kesit tesirleri.....	16
Şekil 2.5 : Düzlem kesitin şekil değiştirmesi.....	17
Şekil 2.6 : Plak kenarındaki kenar ve köşe kuvvetleri.....	24
Şekil 2.7 : Vlasov zeminde çökmenin değişimi.....	25
Şekil 3.1 : Sonlu Fark Ağı.....	26
Şekil A.1 : Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz çökme yüzeyi.....	44
Şekil A.2 : Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x eksenı boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_x$ momentinin değişimi.....	45
Şekil A.3 : Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için y eksenı boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_y$ momentinin değişim.....	46
Şekil A.4 : Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x, y eksenı boyunca boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ burulma momentinin alansal değişimi....	47
Şekil A.5 : Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x eksenı boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvvetinin değişimi...	48
Şekil A.6 : Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x, y eksenı boyunca boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvvetinin alansal değişimi.....	49
Şekil A.7 : Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\bar{k} = 2.0$ değerleri için x eksenı boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{W}$ çökme değerinin değişimi	50
Şekil A.8 : Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz çökme yüzeyi	51
Şekil A.9 : Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x eksenı boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_x$ momentinin değişimi	52
Şekil A.10 : Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için y eksenı boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_y$ momentinin değişimi	53

Şekil A.11	: Ortasından x ekseninde şerit yüküyle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x , y eksenini boyunca boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ burulma momentinin alansal değişimi.....	54
Şekil A.12	: Ortasından x ekseninde şerit yüküyle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvvetinin değişimi	55
Şekil A.13	: Ortasından x ekseninde şerit yüküyle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x , y eksenini boyunca boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvvetinin alansal değişimi.....	56
Şekil A.14	: Ortasından x ekseninde şerit yüküyle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\bar{k} = 2.0$ değerleri için x eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{W}$ çökme değerinin değişimi	57
Şekil A.15	: Ortasından y ekseninde şerit yüküyle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz çökme yüzeyi.....	58
Şekil A.16	: Ortasından y ekseninde şerit yüküyle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_x$ momentinin değişimi	59
Şekil A.17	: Ortasından y ekseninde şerit yüküyle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için y eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_y$ momentinin değişimi	60
Şekil A.18	: Ortasından y ekseninde şerit yüküyle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x , y eksenini boyunca boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ burulma momentinin alansal değişimi.....	61
Şekil A.19	: Ortasından y ekseninde şerit yüküyle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvvetinin değişimi.....	62
Şekil A.20	: Ortasından y ekseninde şerit yüküyle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x , y eksenini boyunca boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvvetinin alansal değişimi	63
Şekil A.21	: Ortasından y ekseninde şerit yüküyle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\bar{k} = 2.0$ değerleri için x eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{W}$ çökme değerinin değişimi	64
Şekil A.22	: Ortasından tekil yüküyle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz çökme yüzeyi	65
Şekil A.23	: Ekzantrik tekil yüküyle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_x$ momentinin değişimi.....	66
Şekil A.24	: Ekzantrik tekil yüküyle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için y eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_y$ momentinin değişimi	67
Şekil A.25	: Ezantrik tekil yüküyle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x , y eksenini boyunca boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ burulma momentinin alansal değişimi ...	68
Şekil A.26	: Ekzantrik tekil yüküyle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvvetinin değişimi ...	69

	<u>Sayfa No</u>
Şekil A.27 : Ekzantrik tekil yüküyle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x, y eksenini boyunca boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvvetinin alansal değişimi.....	70
Şekil B.1 Ortasından tekil yüküyle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz çökme yüzeyi.....	71
Şekil B.2 Ortasından tekil yüküyle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için x eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_x$ momentinin değişimi.....	72
Şekil B.3 Ortasından tekil yüküyle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için y eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_y$ momentinin değişimi.....	73
Şekil B.4 Ortasından tekil yüküyle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için x, y eksenini boyunca boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ burulma momentinin alansal değişimi.....	74
Şekil B.5 Ortasından tekil yüküyle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için x eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvvetinin değişimi.....	75
Şekil B.6 Ortasından tekil yüküyle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için x, y eksenini boyunca boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvvetinin alansal değişimi.....	76
Şekil B.7 Ortasından tekil yüküyle yüklü plakta orta noktadaki çökme değerinin $\bar{k} = 1.5$ için Ω^2/ω_n^2 oranına göre değişimi.....	77
Şekil B.8 Ortasından tekil yüküyle yüklü plakta orta noktadaki çökme değerinin $\bar{k} = 2.0$ için Ω^2/ω_n^2 oranına göre değişimi.....	77
Şekil B.9 Ortasından tekil yüküyle yüklü plakta $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$, $\bar{k} = 1.5$ ve $\bar{k} = 2.0$ değerleri için x eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{W}$ çökme değerinin değişimi.....	78
Şekil B.10 Ortasından x ekseninde şerit yüküyle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz çökme yüzeyi.....	79
Şekil B.11 Ortasından x ekseninde şerit yüküyle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için x eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_x$ momentinin değişimi.....	80

Şekil B.12	Ortasından x ekseninde şerit yükü yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için y eksen boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_y$ momentinin değişimi.....	81
Şekil B.13	Ortasından x ekseninde şerit yükü yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için x, y eksen boyunca boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ burulma momentinin alansal değişimi.....	82
Şekil B.14	Ortasından x ekseninde şerit yükü yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için x eksen boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvvetinin değişimi.....	83
Şekil B.15	Ortasından x ekseninde şerit yükü yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için x, y eksen boyunca boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvvetinin alansal değişimi.....	84
Şekil B.16	Ortasından y ekseninde şerit yükü yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz çökme yüzeyi.....	85
Şekil B.17	Ortasından y ekseninde şerit yükü yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için x eksen boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_x$ momentinin değişimi.....	86
Şekil B.18	Ortasından y ekseninde şerit yükü yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için y eksen boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_y$ momentinin değişimi.....	87
Şekil B.19	Ortasından y ekseninde şerit yükü yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için x, y eksen boyunca boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ burulma momentinin alansal değişimi.....	88
Şekil B.20	Ortasından y ekseninde şerit yükü yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için x eksen boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvvetinin değişimi.....	89
Şekil B.21	Ortasından y ekseninde şerit yükü yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için x, y eksen boyunca boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvvetinin alansal değişimi.....	90
Şekil B.22	Ekzantrik tekil yükü yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz çökme yüzeyi.....	91

	<u>Sayfa No</u>
Şekil B.23	
Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için	
x eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_x$ momentinin	
değişimi.....	92
Şekil B.24	
Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için	
y eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_y$ momentinin	
değişimi.....	93
Şekil B.25	
Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için x ,	
y eksenini boyunca boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ burulma momentinin alansal	
değişimi.....	94
Şekil B.26	
Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için	
x eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvvetinin	
değişimi.....	95
Şekil B.27	
Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için	
x, y eksenini boyunca boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvvetinin alansal	
değişimi.....	96

SEMBOL LİSTESİ

h	: Plak kalınlığı
w	: Çökme
a	: Plağın x eksenini doğrultusundaki boyutu
b	: Plağın y doğrultusundaki boyutu
M_x, M_y	: Plağın x ve y eksenleri dik kesitlerin birim boyuna gelen eğilme momentleri
M_{xy}	: Plağın x eksenine dik kesitlerinin birim boyuna gelen burulma momenti
Q_x, Q_y	: Plağın x ve y eksenlerine dik kesitlerinin birim boyuna gelen z eksenine paralel kesme kuvvetleri
V_x, V_y	: Plağın x ve y eksenlerine dik kenarlarındaki mesnet tepkileri
R	: Köşe kuvveti
p	: Yayılı yük değeri
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	: x, y ve z eksenleri doğrultusundaki gerilme bileşenleri
$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$	: x, y ve z eksenleri doğrultusundaki şekildeğiştirme bileşenleri
E	: Elastisite modülü
ν	: Poisson oranı
G	: Kayma modülü
γ_{xy}	: Kayma şekil değiştirmesi
τ_{xy}	: Kayma gerilmesi
D	: Plak eğilme rijitliği
k	: Zemin yatak katsayısı
r_x, r_y	: Eğrilik yarıçapları
ρ	: Yoğunluk
g	: Yerçekimi ivmesi
∇^2	: Laplasyen
Ω	: Zorlama frekansı
ω_n	: Doğal frekans
W	: Yerdeğiştirme genliği
$\Delta x, \Delta y$	: x ve y doğrultusundaki sonlu farklar ağı genişliği
H	: Zemin tabakası yüksekliği
$2t$	: Kayma şekil değiştirmelerini temsil eden parametre
γ	: Düşey yerdeğiştirme değişim parametresi
ϕ	: Kayma yerdeğiştirme dağılım fonksiyonu
V^ϕ	: Plak kenar tepkileri fonksiyonu
R^ϕ	: Plak köşe kuvvetleri fonksiyonu

ELASTİK ZEMİNE OTURAN DİKDÖRTGEN PLAKLARIN TİTREŞİMLERİ

ÖZET

Bu çalışmada, homojen, izotrop ve lineer elastik Winkler ve Vlasov zemini üzerine oturan dikdörtgen bir plağın harmonik yük altındaki davranışı incelendi. Birinci bölümde, literatürde bulunan bu konu ile ilgili önceki çalışmalar ve problem kısaca tanıtılarak bu çalışmada kullanılan yöntemden bahsedilmiştir.

İkinci bölümde, ince plak teorisinden bahsedilmiş ve dikdörtgen plaklara ait temel denklemlerin çıkarılışı gösterilmiştir. Daha sonra Newton'un ikinci yasasından faydalanılarak hareket denklemleri yazılmış, homogen, izotrop ve lineer elastik Winkler ve Vlasov zeminine oturan plaklar için hareket denklemi elde edilmiştir.

Üçüncü bölümde, çözüm yöntemi anlatılmıştır. Bir sayısal çözüm yöntemi olan sonlu farklar yöntemi hakkında bilgi verilmiş ve sonlu fark denklemleri elde edilmiştir. Daha sonra Winkler zeminine oturan plaklar için elde edilen hareket denklemi, sonlu fark denklemleri kullanılarak, fonksiyonun ayrık noktalarındaki değerleriyle yaklaşık olarak ifade edilmiştir. Plak üzerindeki hayali sonlu fark ağının her bir düğüm noktası üzerinde yazılan denklem sonucu ortaya çıkan bilinmeyenler, ayrıklaştırılmış sınır koşullarını sağlayacak şekilde elde edilmiştir.

Dördüncü bölümde, elektronik tablolar kullanılarak sayısal çözümler yapılmıştır. Problemin bilinmeyenleri olan çökmeler elektronik tabloda döngüsel başvurunun yineleme yöntemi ile çözülmesi ile elde edilmiştir. Çeşitli, statik ve dinamik yükleme durumları için çökme, moment ve kesme kuvveti değerleri tablolar yardımı ile gösterilmiştir.

Beşinci bölümde, çözüm tekniğinin ve sonuçların kısa bir yorumu yapılmıştır.

VIBRATIONS OF RECTANGULAR PLATES ON ELASTIC FOUNDATION

SUMMARY

In these study vibrations of a rectangular plate on homogenous, isotropic and linear elastic Winkler and Vlasov foundations has been analyzed. In the first section, the problem is shortly defined from the former relevant studies in the literature and reference has been made to the method employed in this study.

In the second section, thin plate theory is defined and the derivation of the fundamental equations for the rectangular plates is given. Then, using Newton's second law, the equations of motion were written and the equations of motion for the plates on homogenous, isotropic and linear elastic Winkler and Vlasov foundations are obtained.

In the third section, solution method is presented. Finite differences method is briefly summarized and method, which is a numerical solution method. Then, the equation of motion achieved for the plates on Winkler foundation was expressed approximately with the values of the function at the distinct points. The unknown parameters appear in the equations written for each node, were obtained to satisfy the boundary conditions

In the fourth section, the calculations have been carried out by electronic tables. The displacements, which are the unknown parameters of the problem, were found by solving the loop application through iteration. Displacement, moment and shear force values were shown on tables and graphs for various static and dynamic loadings.

In the fifth section, there is a short comment on the solution technique, results and conclusions.

1 GİRİŞ

Elastik zemine oturan yapılar ile ilgili çalışmalar, bu konunun uygulama alanının genişliği dolayısıyla oldukça fazladır. Elastik zemine oturan plak ve kabuklar pek çok sektörde özellikle; füze ve roket rampaları olarak askeri alanlarda ve uçak-uzay sanayisinde, teknolojide çeşitli uygulamalarda, inşaat ve makine mühendisliği alanında, endüstride çeşitli fabrikaların ve makinaların zemine sabitlenmesinde, dış hekimliği ve biyomekanikte, kıyı-liman yapılarında, sıvı ve gazların iletim hatlarında, temel ve zemin mühendisliğinde, nükleer enerji santrallerinde, uçak hangarlarında (özellikle ağır kargo uçakları ve süpersonik uçakların inebileceği) hava alanı inşaatında ve demiryolu uygulamalarında karşılaşılır.

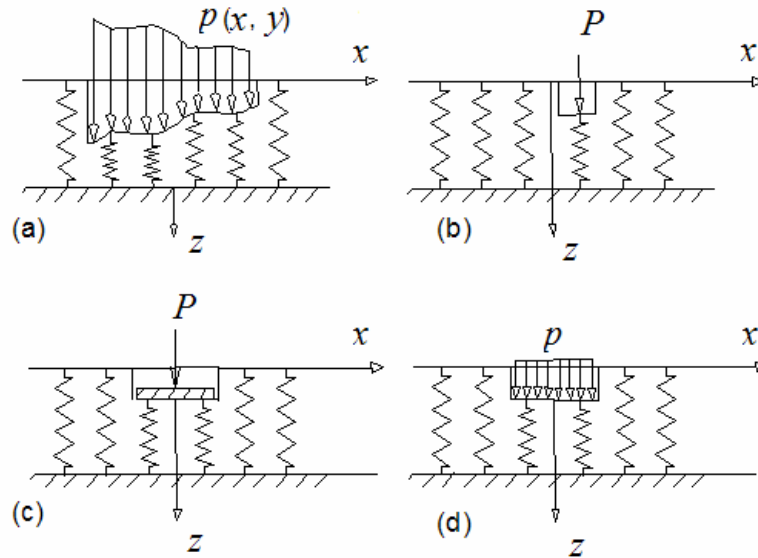
Elastik zemine oturan yapılar incelenirken, yapının davranışına, zeminin etkisinin önemi dikkate alınmalıdır. Yapının bünye bağıntılarının yanı sıra, zeminin bünye bağıntılarını ve aralarındaki etkileşimi bilmek gerekir. Elastik zemine oturan plak problemlerinin matematiksel bağıntılarla belirlenmesi esnasında, zeminin oldukça karmaşık olması, elastik ve plastik deformasyon yapabilme özelliği matematiksel çözümlerin geçerliliğini daima kısıtlar. Bu yüzden bu tür problemlerde, zeminin elastikliği çeşitli kabuller yapılarak göz önüne alınır. Zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerini değişik araştırmacılar değişik şekillerde modellemişlerdir.

Zeminin elastik davranışı ile ilgili ilk önemli çalışma Winkler [40] tarafından yapılmıştır. Daha sonra geliştirilen modeller ise, Winkler'in çökme süresizliğini gidermek amacıyla iki farklı kategoride ele alınabilir. Problemi iki parametreye bağlı olarak ifade eden birinci tip modelin ikinci parametresi, Winkler yer değiştirmesinin sürekliliğini sağlamak amacıyla sisteme ilave edilen mekanik etkenin özelliğini içermektedir. Bu sınıftaki çalışmalar, bu mekanik etkenin farklılıkları ile birbirinden ayrılır. Bu modellerin ikinci sınıfı ise, varyasyonel prensip kurallarına dayanılarak problemi bağımsız olarak incelemektedir. Burada şunu belirtmek gerekir ki bu modeller zemini oluşturan partiküller için değil, zeminin bütünü göz önüne alınarak çıkarılmıştır.

1.1 TEK PARAMETRELİ ZEMİN MODELLERİ

1.1.1 WINKLER MODELİ

Winkler çalışmasında, zeminin birbirine sonsuz yakın, elastik ve lineer yaylardan oluştuğunu kabul etmiştir. Bu hipotez oldukça basit olup, kiriş ve plak problemlerinde geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Buna göre $w(x, y)$ düşey doğrultuda çökme olarak alınırsa, zemin direnci $p(x, y) = kw(x, y)$ olarak alınır. Burada k , elastik yay katsayısı olup uygulamada, yatak katsayısı veya zemin parametresi olarak adlandırılır. Bu parametre, çökme bir birim olduğunda, birim genişlikteki birim alana gelen tepki kuvvetini ifade eder. Winkler hipotezine göre, zeminin homojen olmamasından dolayı, yatak katsayısı noktadan noktaya değişebilir. Bu nedenle yatak katsayısı bir yatay düzlemin çeşitli noktalarında, birbirinden farklı değerler alabileceği gibi, derinliğin artması ile de değişebilir. Diğer bir husus da, zemine etkiyen kuvvetlerin yalnız etkideği noktada şekil değiştirme oluşturmastır. Bu durumda zemini oluşturduğu kabul edilen, sonsuz yakın yayların yalnız doğrudan yüklendiklerinde çöküp tepki gösterdikleri, ancak her yayın komşu yayların yüklenme ve çökmesinden etkilenmediği öngörülmektedir. Zemin tamamen süreksiz bir ortam olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 1.1 Winkler zemin modeli

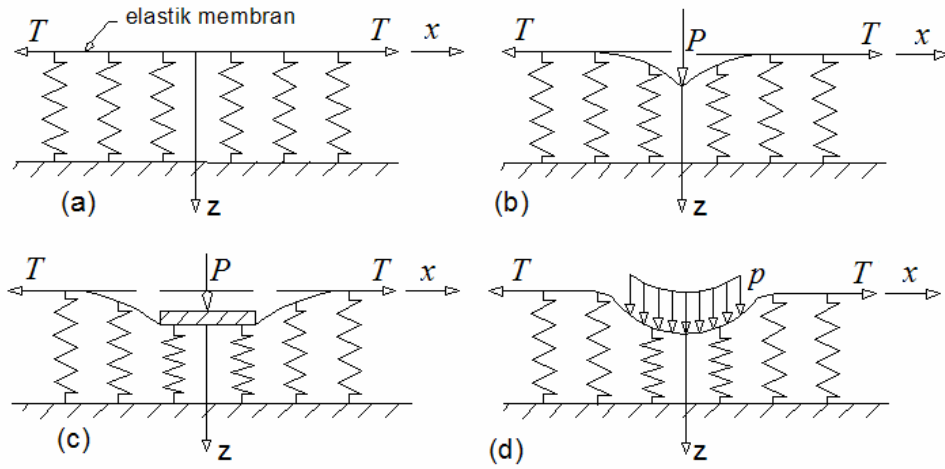
1.2 İKİ PARAMETRELİ ZEMİN MODELLERİ

Winkler modelinde eksik kalan zemin süreksizliğinin giderilmesi amacını güden ve bu amaçla öneride bulunan bilim adamları Filonenko-Borodich, Hetenyi, Pasternak ve Kerr'dir. Diğer yaklaşımlar ise elastik ortamın modellenmesinden başlar ve gerek gerilme gerekse çökme değerlerinin yayılışı için basitleştirilmiş kabuller adı altında şartlar ortaya koyan Reissner, Vlasov ve Leontiev'in çalışmalarıdır.

1.2.1 FILONENKO-BORODICH MODELİ

Bu modelle ortamın sürekliliği, yüzeydeki ince elastik membran ile sağlanmaktadır. Membran-yay sisteminin dengesinden zemin çökme değerini veren ifadenin üç boyutlu problemlerde;

$$p(x, y) = kw(x, y) - T\nabla^2 w(x, y) \quad (1.1)$$



Şekil 1.2 Filonenko-Borodich zemin modeli

İki boyutlu problemlerde ise;

$$p(x) = kw(x) - \frac{Td^2w(x)}{dx^2} \quad (1.2)$$

olduğu görölür. Burada $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ kartezyen koordinatlarda Laplasyeni göstermektedir. k ve T ise bu modele ait parametrelerdir.

1.2.2 HETENYI MODELİ

Bu model zemin üzerinde üç boyutlu problemlerde elastik plaka, iki boyutlu problemlerde ise elastik kiriş ilave ederek çökme dağılımını sağlamaktadır. İlgili diferansiyel denklem;

$$p(x, y) = kw(x, y) - D\nabla^2 w(x, y) \quad (1.3)$$

olarak gösterilebilir. Burada $D = \left(\frac{E_p h^3}{12(1-\nu_p^2)} \right)$ plak eğilme rijitliğini göstermektedir.

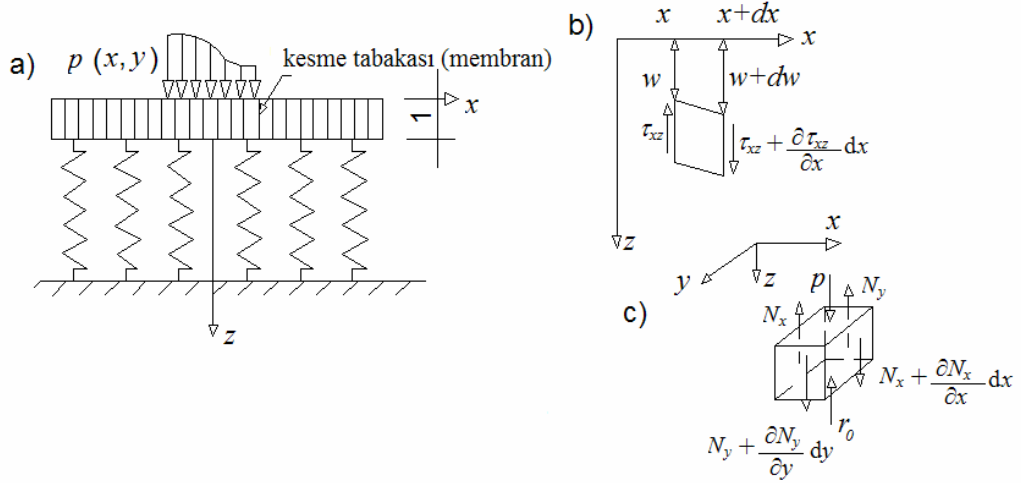
İki boyutlu sistemlerde (1.3) ifadesi;

$$p(x) = kw(x) - D \frac{d^4 w(x, y)}{dx^4} \quad (1.4)$$

şeklini alır.

1.2.3 PASTERNAK MODELİ

Pasternak, bu modelinde yay elemanları arasında kayma gerilmesinin varlığını, yayların üzerine sıkışmayan, sadece yatay olarak kayma şekil değiştirmesi yapan düşey eleman koyarak sağlamıştır (Şekil 1.3). Kayma elemanındaki yer değiştirme ve kuvvet dengesi şeklinde gösterilmektedir. Kayma elemanının x , y ekseninde izotrop olduğu kabul edilmesi halinde $G_x = G_y = G_p$ alınabilir. Buna bağlı olarak



Şekil 1.3 Pasternak modeli

$$\tau_{xy} = G_p \gamma_{xz} = G_p \frac{dw}{dx}; \quad \tau_{yz} = G_p \gamma_{yz} = G_p \frac{dw}{dy} \quad (1.5)$$

şeklinde kayma gerilmeleri elde edilir. Kayma elemanının birim boyu için toplam kuvveti,

$$N_x = \int_0^1 \tau_{xy} dz = G_p \frac{dw}{dx}; \quad N_y = \int_0^1 \tau_{yz} dz = G_p \frac{dw}{dy} \quad (1.6)$$

olmak üzere, z ekseninde kuvvet dengesi aşağıda gösterildiği gibi yazılıp;

$$\frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial N_y}{\partial y} + p - r_0 = 0 \quad (1.7)$$

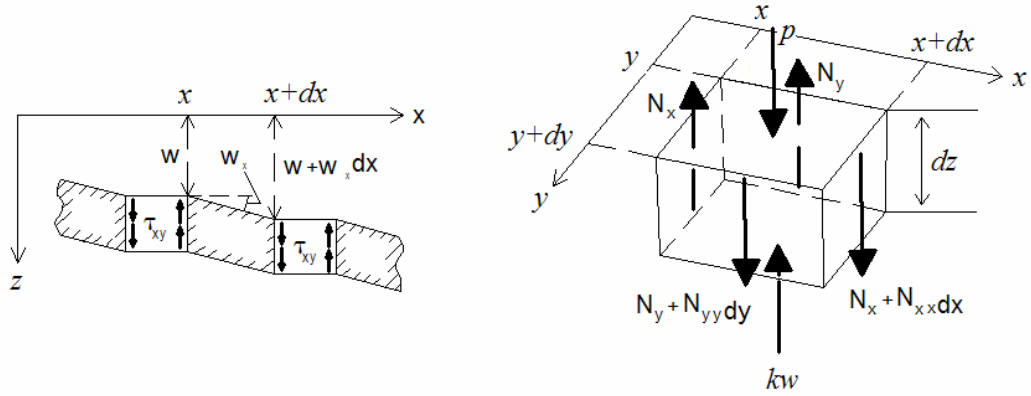
ifadesi elde edilir, burada $r_0 = k w$, olup (1.5) ile (1.6) bağıntıları (1.7) denkleminde yerine yazılırsa, probleme ait diferansiyel denklem aşağıdaki şekilde elde edilebilir.

$$p(x, y) = k w(x, y) - G_p \nabla^2 w(x, y) \quad (1.8)$$

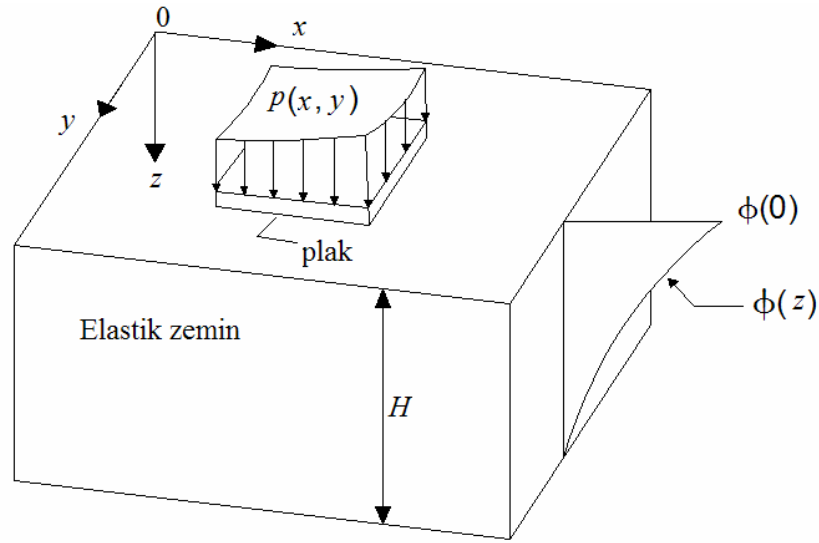
Pasternak ve Fionenko-Borodich modelleri arasında T , G_p parametre farkı vardır ve her iki model birbirine yakın zemin yüzeyi çökme değerleri vermektedir.

1.2.4 VLASOV MODELİ

Bir başka iki parametrelili zemin modeli de Vlasov (1949) ve Vlasov-Leont'ev (1966) tarafından önerilmiştir. Vlasov modelinde tanımlanan üçüncü bir parametre olan γ ile zeminde sıkıştırılabilen tabaka kalınlığı boyunca gerilme dağılımı modellenmeye çalışılmaktadır.



Şekil 1.4 Zeminde kayma elemanlarının gösterimi



Şekil 1.5 Plak ve zemin bölgesinden oluşan sistem

Yukarıda anlatılanların ışığında görülmektedir ki; yüzeysel taşıyıcıların çözümünde iki parametrelili zemine ait elastik yataklanma ve kayma parametresi bir veri olarak kabul edilebildiği gibi (Pasternak 1954), daha gerçekçi çözümlere ulaşabilmek için bu değerlerin zemin karakteristikleri cinsinden aranması yoluna da gidilebilir (Vlasov 1949).

1.2.5 REISSNER MODELİ

Reissner modeli, lineer elastik ortamdaki yerdeğiştirme ve gerilmeler üzerinde getirilen sınırlandırmalar ile ifade edilebilir. Gerilme bakımından sınırlandırma $x - y$ düzleminde bulunan gerilme bileşenlerinin katman derinliği boyunca ihmal edilebilir düzeyde olması şeklindedir ($\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \sigma_{xy} = 0$). Sırasıyla x, y, z doğrultusundaki u, v, w yerdeğiştirme fonksiyonlarının $z = H$ için $u = v = w = 0$, $z = 0$ için ise $u = v = 0$ şartlarını sağladığı kabul edilmektedir. Bu durumlar altında w zemin yüzeyinin çökme değerini, p dış yükü göstermek üzere yönetici denklem,

$$c_1 w - c_2 \nabla^2 = p - \frac{c_2}{4c_1} \nabla^2 p \quad (1.9)$$

şeklinde ifade edilebilir. (1.9) daki $c_1 = E_s / H$, $c_2 = HG_s / 3$ sabitleri, zemin davranışını belirtmektedir. Gerilmenin sabit olduğu veya lineer değiştiği özel durumunda $c_1 = k$, $c_2 = G_p$ olarak yazıldığında bu ifade Filonenko-Borodich veya Pasternak modelindeki denklemlerle aynı olduğu görülebilir. ($\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \tau_{xy} = 0$) alınması nedeniyle τ_{xz}, τ_{yz} kayma gerilmeleri z koordinatından bağımsız olmaktadır.

Günümüze kadar elastik zemine oturan plak ve kabukların hesabı analitik ve çeşitli sayısal yöntemler kullanılarak yapılmıştır. Sayısal yöntemler daha çok, sonlu farklar, sonlu elemanlar, sınır elemanlar, Ritz, Galerkin yöntemi, sayısal yada çok ölçekli pertürbasyon yöntemlerin kullanıldığı pertürbasyon teknikleri, kollakasyon çözümleri gibi yöntemleri içermektedir.

1.3 KONU İLE İLGİLİ DİĞER ÇALIŞMALAR

Winkler tarafından geliştirilen birçok etkene ve özellikle zeminin elastik karakteristikleri ile yüklü alanın boyutlarına bağlı olan yatak katsayısının ne alınacağı konusunda birçok araştırma yapılmıştır.

Zimmerman [41] yatak katsayısını bütün uzunlukları boyunca balast üzerine oturan demiryolu traversleri hesabında kullanarak, kendi özel uygulamalarında belirli türdeki, zeminler için bulduğu ve kullandığı k değerlerini vermiştir.

Dumir ve Bhaskar [20] Winkler ve Pasternak tipi elastik zemine oturan dikdörtgen plakların lineer olmayan statik hesabını yapmışlardır. Çalışmada ortogonal nokta kollokasyon metodu kullanmışlardır.

Winkler zemin tipi üzerinde 1946'da Hetenyi [24] çalışmıştır. Hetenyi daha çok kesin çözümlerle ilgilenmiştir. Kesin çözümler büyük bir zaman kaybına sebep olduğu için, birçok araştırmacı bu zaman kaybından kurtulmak amacıyla daha genel olan sayısal metotları geliştirerek problemleri çözmeye çalışmışlardır.

Miranda ve Nahir [29] sonlu uzunluktaki elastik zemin üzerine oturan kirişlerin diferansiyel denkleminin, özel fonksiyonlarla çözümünü yapmış ve bununla ilgili sayısal örnekler vermişlerdir.

Cheung [10] tarafından yapılan çalışmada elastik zemine oturan dikdörtgen plakların sonlu elemanlar ile çözümü sunulmuştur. Lineer statik analizin yapıldığı çalışmada gerilmeler hesaplanmıştır.

Qin [33] yaptığı çalışmada, kare bir plağın çeşitli noktalarındaki çökmelerini ve eğilme momentlerini Winkler ve Pasternak zemin türü için incelemiştir. Çalışmada hibrit bir sonlu eleman modeli önerilmiştir.

Katsikadelis ve Armenakas [26] araştırmalarında sınır entegral denklem metodunu, elastik zemine oturan herhangi bir şekildeki basit mesnetli plakların analizinde uygulamışlardır.

Celep, Malekia ve Hussein [8] çekmeye çalışmayan Winkler zeminine oturan sonlu kirişin zorlanmış titreşimleri Galerkin yöntemini kullanarak incelemişlerdir ve çeşitli yükleme durumları ve parametreler için ayrılma noktasının değişimi ile çeşitli çökmelerin zamanla değişimini incelemişlerdir.

Celep [7] Winkler zemini üzerinde dikdörtgensel elastik plakların davranışını analiz etmiştir. Galerkin metodu kullanılarak, problem bir cebirsel denklem sisteminin çözümüne indirgenmiştir.

Bayer ve Dökmeci [5] kalınlığı parabolik olarak değişen, düzlemsel kuvvetler etkisindeki eliptik levhaların bir özel hali olarak dairesel levhaların serbest titreşimlerini incelemişlerdir. Galerkin ve Rayleigh-Ritz yöntemlerinin kullanıldığı

Çözümde öncelikle sabit kalınlık halinde serbest titreşim ve elastik burkulma problemi incelenmiştir.

De Rosa [18] ise Winkler zeminine oturan kirişlerin çeşitli mesnetlenme koşulları altında, eksenel yük altında titreşimini ve stabilitesini incelemiştir. Bütün bu çalışmalarda zeminin iki yönlü olarak çekme ve basınca çalıştığı kabul edilmiştir.

Engin [21] elastik-plastik zemine oturan ağırlıksız kiriş ve ince dairesel plakların tekil yük altında davranışını incelemiştir. Zeminin yalnız basınç gerilmesi aktardığı ve belirli bir çökmede plastikleştiği kabul edilmiştir. Çözümün sonunda, elastik-plastik ve yapının zeminden ayrıldığı sınırdaki tekil yükün şiddeti ve plağın yarıçapı değişimi ile gözlenmiştir.

Cheung ve Zienkiewicz [10] tarafından yapılan çalışmada sonlu elemanlar metodu ile elastik zemine oturan plakların lineer statik hesabı yapılmış ve eğilme momenti ile çökmeler bulunmuştur. Winkler tipi zemin için çözüm yapılmış ve bu yöntem, izotrop, elastik, yarı düzlem için gerçekleştirilerek, zemin etkisini içeren genel rijitlik matrisi kurulmuştur.

Dillard [19] tarafından yapılan çalışmada Winkler elastik zeminine oturan dikdörtgen ve kare plakların eğilme hesabı analitik olarak gerçekleştirilmiştir. Sistemin yönetici denklemi 6. mertebeden diferansiyel denklem olup, çözümü seriler yardımıyla yapılmıştır. Çalışmada tekil yük ve tekil moment etkileri dikkate alınmıştır.

Datta [17] tarafından yapılan çalışmada elastik zemine oturan daire ve dikdörtgen şeklinde geometrilere sahip plakların lineer olmayan titreşimi analitik olarak incelenmiştir. Galerkin metodu ile lineer olmayan titreşim frekansları elde edilmiştir. Basit ve ankastre mesnet koşulları için çözüm yapılmıştır.

Nath ve Jain [30] tarafından yapılan çalışmada Winkler-Pasternak elastik zemine oturan basık küresel kabuğun lineer olmayan dinamik analizi sürekli adım yük fonksiyonu için elde edilmiştir. Kabuk yönetici denklemi Donnell kabuk teorisi ile çıkarılmıştır. Elde edilen kısmi türevli nonlineer hareket denklemi Taylor serisine açılarak lineerleştirilmiştir.

Ergün ve Kumbasar [22] ince plaklar için geliştirilmiş sonlu fark yöntemini, klasik sonlu fark ifadelerinin çıkartılışından tamamen bağımsız bir yöntemle ortaya

koymuştur. Bu yöntemde sonsuz bir plak ele alınarak belirli bir bölgesi için çökme yüzeyi tanımlanmakta ve sonsuz plak çökme yüzeyini oluşturan yükler, plak diferansiyel yönteminden yararlanılarak bulunmaktadır.

Vlasov modelinde, tahmine dayanılarak değer verilen çökmenin enine doğrultudaki dağılımlarını gösteren γ parametresinin, elastik zemine oturan kiriş için ardışık yaklaşım yöntemi ile nasıl elde edileceği Vallabhan ve Das [37] tarafından yapılan çalışmada incelenmiştir. Potansiyel enerjinin minimum yapılması kuralına bağlı olarak, Vlasov modeline ait diferansiyel denklemlerin diğer bir yol olarak nasıl elde edildiğini gösterilmiştir.

Zemin özelliğinin derinlikle lineer olmayan şekilde değiştiği, tabakalı Vlasov tipi zemin modelinin sonlu eleman yöntemi ile incelenmesini Vallabhan ve Daloğlu [38] yaptıkları çalışmada ele almışlardır. Çalışmada, düzlemsel sonlu elemanın rijitlik matrisinin, plağa, zeminin çökmesine ve kayma deformasyonuna bağlı olarak üç kısımdan oluştuğu gösterilmiştir.

Vallabhan ve Daloğlu [14] yaptıkları çalışmada, Vlasov diferansiyel denklemini, boyutsuz sabitler cinsinden ifade ederek, sabit bir Poisson değeri altında, sabit yayılı yük ve plağın ortasına, kenarına etkiyen tekil yük durumları için plağın karakteristik boyunun zemin derinliğine oranına bağlı olarak, Winkler sabitini veren ifadeleri elde etmiştir.

Daloğlu [15] elastik zemine oturan plakların analizinde kullanılmak üzere boyutsuz parametreler tanımlamış ve tekil yük etkisindeki plak problemini Winkler modeli ile çözmek için gerekli eşdeğer zemin modülünü elde etmek üzere bir yöntem geliştirmiştir. Tekil yükün merkezde, köşede ve kenar ortasında etkimesi halleri incelemiştir.

Bu çalışmada, homojen, izotrop ve lineer elastik Winkler ve Vlasov zemini üzerine oturan dikdörtgen bir plağın harmonik yük altındaki davranışı, incelenmiştir. Elastik zemine oturan plak için Kirchhoff plağı göz önüne alınmış ve dikdörtgen plaklara ait ince plak teorisinin geçerli olduğu temel denklemlerin çıkarılışı gösterilmiştir. Daha sonra Newton'un ikinci yasasından faydalanarak hareket denklemleri yazılmış, homojen, izotrop ve lineer elastik Winkler ve Vlasov zeminine oturan plaklar için hareket denklemi elde edilmiştir. Daha sonra Winkler zeminine oturan plaklar için elde edilen hareket denklemi, sonlu fark denklemleri kullanılarak, fonksiyonun ayrık noktalarındaki değerleriyle yaklaşık olarak ifade edilmiştir. Plak üzerindeki hayali sonlu fark ağının her bir düğüm noktası üzerinde yazılan denklem sonucu ortaya

ıkan bilinmeyenler, ayrılaştırılmış sınır koşullarını sağlayacak şekilde elde edilmiştir. Problemin bilinmeyeni olan çökmeler elektronik tabloda döngüsel başvurunun yineleme yöntemi ile çözülmesi ile elde edilmiştir. Çeşitli, statik ve dinamik yükleme durumları için çökme, moment ve kesme kuvveti değerleri tablolar yardımı ile gösterilmiştir.

2 TEMEL DENKLEMLER

2.1 İNCE PLAK TEORİSİ

Kalınlığı, taşıyıcı boyutlarının yanında çok küçük ve orta düzlemine dik olarak yüklenmiş düzlemsel taşıyıcı sistemlere plak denir. Klasik plak teorisi, elastisite teorisinin önemli, özel uygulama alanıdır. Elastisite teorisi, elastik cisimlerde kuvvet, yerdeğiştirme, şekil değiştirme ve gerilmeler arasındaki ilişkileri inceler.

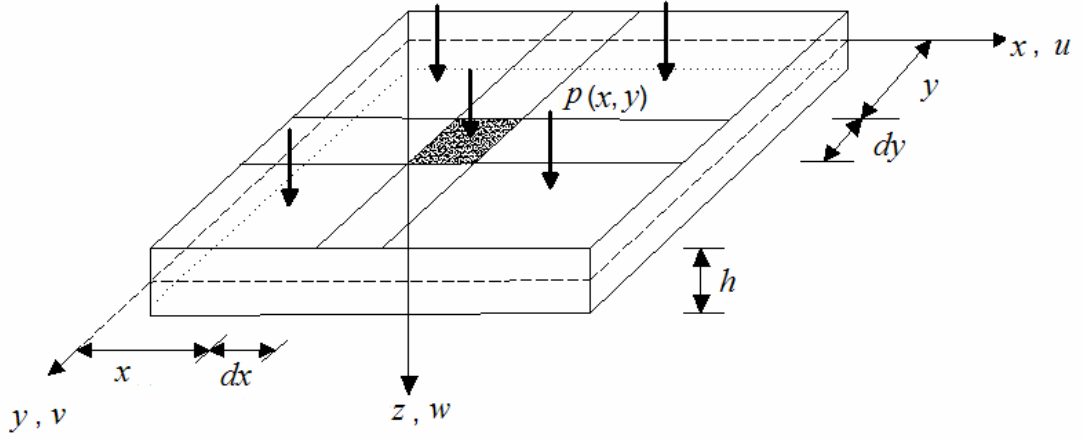
Plaklar yüzeysel taşıyıcı sistemlerinin düzlemsel şeklidir. Yani kalınlığı, diğer boyutları yanında çok küçük olan, statik ve dinamik yükler düzlemine dik olarak etkiyen düzlemsel taşıyıcı sistemlerdir. Farklı konumlarda çeşitli plak teorileri vardır.

- i. **Reissner plağı:** Kalınlıktan doğan kayma şekil değiştirmeleri hesaba katılır (Kalın plak).
- ii. **Karman plağı:** İnce plak teorisidir. Çökmeleri kalınlığına göre çok fazladır.
- iii. **Kirchoff plağı:** İnce plak teorisidir. Çökmeler kalınlık boyutu mertebesini aşmaz.

Bu çalışmada elastik zemine oturan Kirchoff plağı incelenecektir. Kirchoff-Love hipotezinin kabulü ile kayma etkilerinin ihmal edildiği küçük sehimli ince plaklar, plak probleminin özel bir durumu olarak ele alınabilir. Geometri yönünden kabuller;

Plak geometrisi olarak Şekil 2.1 deki plak elemanları alınarak;

- a) Plak boyutları kalınlığı diğer boyutları yanında çok küçüktür.
- b) Plak kalınlığının orta noktalarının geometrik yeri bir düzlemdir.
- c) Yükler orta düzleme diktir.
- d) Plağın sehim i daima h kalınlığından çok küçüktür.



Şekil 2.1 Plak elemanı

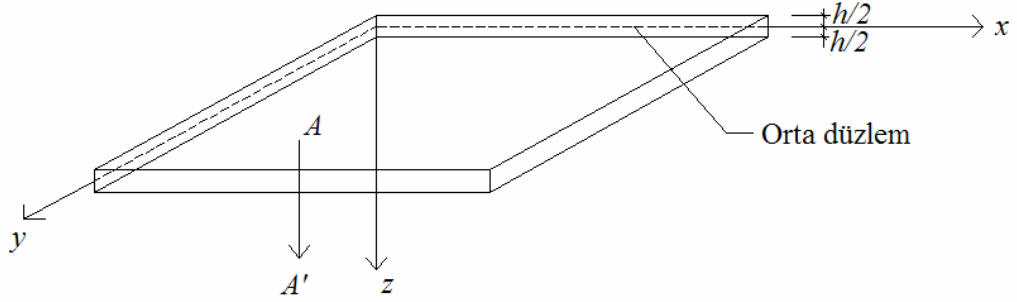
Malzeme yönünden kabuller;

- a) Malzeme homojen, izotrop ve Hooke kanununa uyan lineer elastik bir malzemedir. Hesapları basitleştirme yönünden;
- b) Şekil değiştirmeden önce orta düzlemin herhangi bir noktasının normali, şekil değiştirmeden sonra meydana gelen elastik yüzeyin normali olarak kalır. Şekil değiştirmeden önce, düzlem normali üzerinde bulunan nokta, şekil değiştirmeden sonra da elastik yüzeyin o noktadaki normali üzerinde bulunur. Bu çubuk sistemlerdeki Bernouilli-Navier hipotezine karşı gelen Kirchhoff-Love hipotezidir.
- c) Plak orta düzlemine dik doğrultudaki σ_z normal gerilmeleri yok sayılabilecek kadar küçüktür.
- d) Bu varsayıma bağlı olarak $\varepsilon_z \approx 0$ alınabilir.
- e) Kesitin orta düzleminde şekil değiştirme yoktur.

Çok geniş uygulama alanı olan bu tip plaklar özellikle betonarme döşemelerin tümünü kapsar.

2.2 PLAK DİFERANSİYEL DENKLEMİ

Şekil 2.2 de görüldüğü gibi h kalınlığı sabit, ince plağı göz önüne alalım. h kalınlığının ortasından geçen düzleme orta düzlem adı verilmektedir. Şekilde orta düzlem $z = 0$ düzlemidir. Dış yük $p(x, y)$ orta düzlemine dik olarak etki etmektedir. Orta düzlemin eğildikten sonra meydana getirdiği yüzeye elastik yüzey adı verilir.



Şekil 2.2 İnce plak

Orta düzlemin üzerinde bulunan bir A noktasının yer değiştirmesi $\overline{AA'}$ olsun. $\overline{AA'}$ vektörünün x ve y doğrultusundaki bileşenleri olan u ve v ihmal edilecek ve z doğrultusundaki bileşeni w göz önüne alınacaktır. $w(x, y)$ ye plağın çökmesi adı verilmektedir.

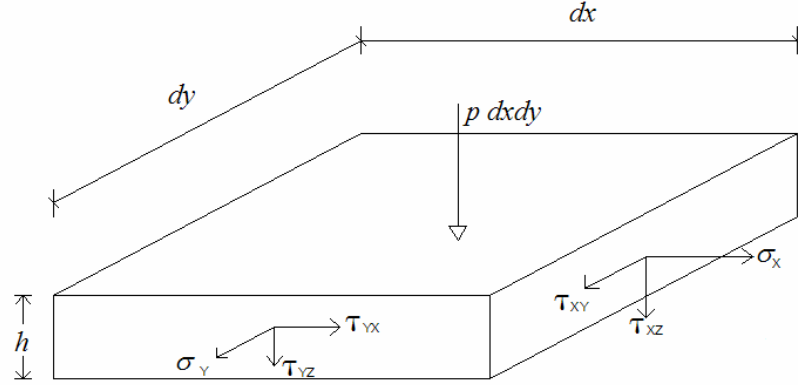
Elastik yüzeyde $y = \text{sabit}$ ve $x = \text{sabit}$ düzlemleri ile kesişmesinden elde edilen eğrilere eğimlerin küçük olduğu düşünülerek

$$\frac{1}{r_x} = -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}, \quad \frac{1}{r_y} = \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \quad (2.1)$$

Denklemlerde görülen r_x, r_y eğrilik yarıçaplarını göstermekte olup eksi işaretleri ileride yapılacak pozitif moment kabulü ile uyum sağlamaktadır. x, y eksenlerine göre yüzeyin burulmasını belirleyen r_{xy} aşağıdaki ifade ile verilmektedir.

$$\frac{1}{r_{xy}} = \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \quad (2.2)$$

Plak üzerinde Şekil 2.3 de görüldüğü gibi bir eleman alalım. Bu elemanın yüzeylerine etki eden gerilmeler şekilde görülmektedir. Gerilmelerin toplamını veren iç kuvvetler M_x , M_y , M_{xy} , M_{yx} , Q_x ve Q_y aşağıda verilen şekilde tarif edilmektedir.



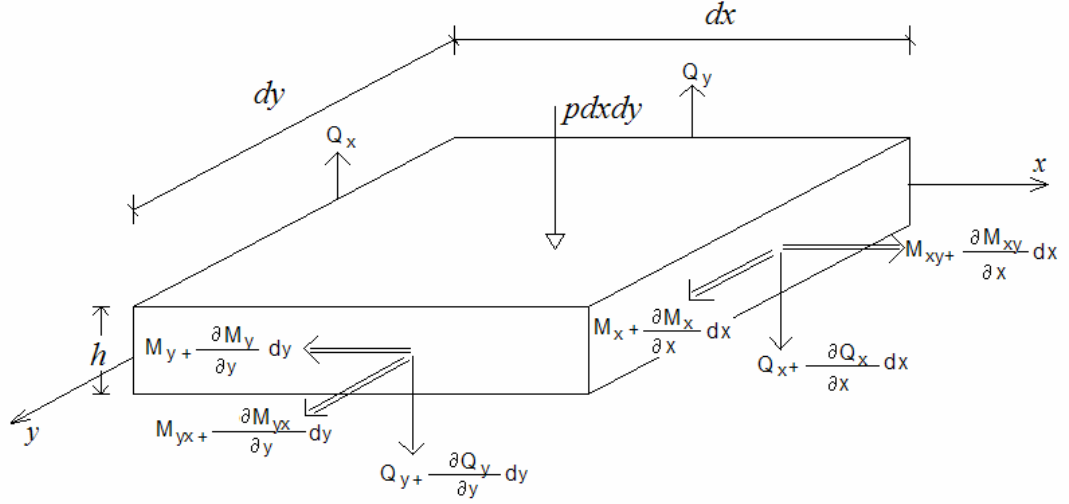
Şekil 2.3 Sonsuz küçük plak elemanında gerilmeler

$$M_x dy = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_x z dz dy, \quad M_y dx = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_y z dz dx \quad (2.3)$$

$$M_{xy} dy = - \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{xy} z dz dy, \quad M_{yx} dx = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{yx} z dz dx \quad (2.4)$$

$$Q_x dy = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{xz} dz dy, \quad Q_y dx = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{yz} dz dx \quad (2.5)$$

Yukarıda verilen (2.3), (2.4), (2.5) denklemlerinde görüldüğü gibi momentler ve kesme kuvvetleri birim uzunluğa gelen etkiler olarak tarif edilmektedir. Ayrıca $M_{xy} = -M_{yx}$ dir. Momentlerin pozitif yönleri (2.1) denklemi ile verilen eğrilik yarıçapı ifadesindeki eksi işareti ile uyum sağlamaktadır. Şekil 2.3 deki eleman üzerine gerilmeler yerine kesit tesirlerinin etki ettirilmesi Şekil 2.4 de görülmektedir.



Şekil 2.4 Sonsuz küçük plak elemanında kesit tesirleri

Elemanın z doğrultusundaki denge denklemi yazıldığında

$$\left(Q_x + \frac{\partial Q_x}{\partial x} dx \right) dy + \left(Q_y + \frac{\partial Q_y}{\partial y} dy \right) dx - Q_x dy - Q_y dx + p dxdy = 0 \quad (2.6)$$

elde edilir (2.6) denkleminin sadeleştirilmesi sonucunda;

$$\frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} + p = 0 \quad (2.7)$$

bulunur. Şekil 2.4 de görülen elemana etki eden kuvvetlerin x ve y eksenlerine göre moment alınması ve ikinci mertebe terimlerinin ihmal edilmesiyle

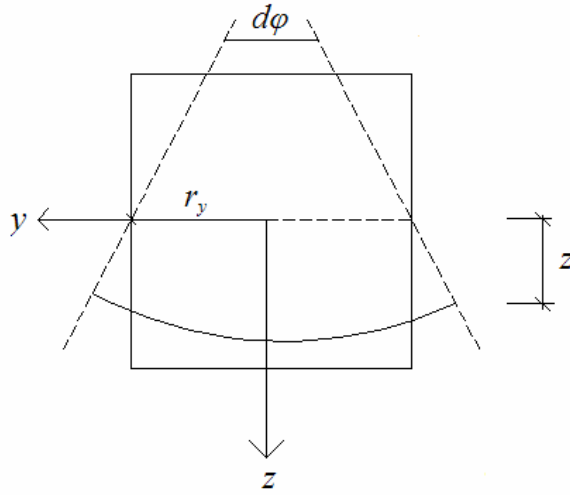
$$\frac{\partial M_{xy}}{\partial x} - \frac{\partial M_y}{\partial y} + Q_y = 0 \quad (2.8)$$

$$\frac{\partial M_{yx}}{\partial y} - \frac{\partial M_x}{\partial x} + Q_x = 0 \quad (2.9)$$

denklemleri elde edilir.

(2.7), (2.8), (2.9), denklemleri de $M_{xy} = -M_{yx}$ olduğu düşünülerek Q_x ve Q_y nin elimine edilmesiyle aşağıda verilen denklem elde edilir.

$$\frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial^2 M_{xy}}{\partial x \partial y} = -p \quad (2.10)$$



Şekil 2.5 Düzlem kesitin şekildeğiştirmesi

Şekil 2.5 de göz önüne alınan elemanın deformasyonu Bernoulli-Navier hipotezi (düzlem kesitlerin eğilmeden sonra düzlem kalması ve eğilme yüzeyine dik olması) kabulü ile y doğrultusundaki birim uzama ε_y Şekil 2.5 den görüldüğü gibi

$$\varepsilon_y = \frac{(r_y + z)d\varphi - r_y d\varphi}{r_y d\varphi} = \frac{z}{r_y} \quad (2.11)$$

şeklinde yazılır. Aynı şekilde ε_x

$$\varepsilon_x = \frac{z}{r_x} \quad (2.12)$$

olarak elde edilir, r_x ve r_y yerine (2.1) denklemlerindeki değerleri konulduğunda aşağıdaki ifadeler elde edilir.

$$\varepsilon_x = -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} z, \quad \varepsilon_y = -\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} z \quad (2.13)$$

Plak içinde herhangi bir z noktası kesitlerin dönmesinden dolayı x ve y doğrultusundaki yer değiştirmesi (dönmeleri küçük olduğu düşünülerek)

$$u = -\frac{\partial w}{\partial x} z, \quad v = -\frac{\partial w}{\partial y} z \quad (2.14)$$

elde edilir. Orta düzleme z uzaklığındaki bir elemanda açı değişimi yukarıda (2.14) de verilen ifadeler kullanılarak aşağıdaki şekilde bulunur.

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} = -2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} z \quad (2.15)$$

Plak elemanına ait Hooke yasaları:

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_x + \nu \varepsilon_y), \quad \sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_y + \nu \varepsilon_x), \quad \tau_{xy} = 2G \gamma_{xy} \quad (2.16)$$

olarak yazılıp, $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ ve γ_{xy} değerleri (2.13) ve (2.15) denklemlerinden alınıp (2.16) denkleminde yerine konulduğunda

$$\sigma_x = \frac{-zE}{1-\nu^2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (2.17)$$

$$\sigma_y = \frac{-zE}{1-\nu^2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \quad (2.18)$$

$$\tau_{xy} = -2zG \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \quad (2.19)$$

gerilme ifadeleri elde edilir. Yukarıda verilen ifadeler (2.3) ve (2.4) denklemleri ile tarif edilen moment denklemlerinde yerlerine konulup gerekli entegraller alındığında M_x , M_y ve M_{xy} ifadeleri w ye bağılı olarak

$$M_x = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (2.20)$$

$$M_y = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \quad (2.21)$$

$$M_{xy} = -M_{yx} = D(1 - \nu) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \quad (2.22)$$

şeklinde elde edilir. Burada eğilme rijitliği olarak tarif edilen $D = \frac{Eh^3}{12(1 - \nu^2)}$ dir.

Q_x , Q_y kesme kuvvetleri (2.20), (2.21) ve (2.22) denklemlerinin (2.8) ve (2.9) da kullanılmasıyla aşağıda verilen şekilde elde edilir.

$$Q_x = \frac{\partial M_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial M_x}{\partial x} = -D \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (2.23)$$

$$Q_y = \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial M_y}{\partial y} = -D \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (2.24)$$

Kesit tesirleri 2.20, 2.24 denklemleri ile w çökme fonksiyonuna bağlanmıştır. w çökme fonksiyonunun elde edileceği denklem M_x , M_y ve M_{xy} nin 2.20, 2.21 ile verilen değerlerinin 2.10 denkleminde yerine konulmasıyla, plâğa ait yönetici denklem

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{p}{D} \quad (2.25)$$

olarak elde edilir.

2.3 ELASTİK ZEMİNE OTURAN PLAKLARDA HAREKET DENKLEMİ

2.3.1 WINKLER ZEMİN MODELİ

Elastik zemine oturan plaklarda Winkler hipotezi kabul edilir ise zeminin plağa tepkisi $-kw$ olur. Burada, k zemini karakterize eden bir parametre olup zemin modülü veya yatak katsayısı olarak isimlendirilmektedir.

Elastik zemine oturan plağa ait hareket denklemini, plaklar için elde ettiğimiz denklemlere Newton hareket yasasını uygulayarak da elde edebiliriz. Buna göre

$$F = m \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \quad (2.26)$$

yazılabilir. Kütle ile ivmenin işareti değiştirilmiş çarpımına $(-m\ddot{w})$ atalet kuvveti denir. Newton'un hareket kanununu üzerinde d'Alembert dinamik denge ilkesini uygulayacak olursak, buna göre sisteme etki eden kuvvetlerle atalet kuvveti her anda denge halindedir. Bu ilke ile dinamik bir problem, statik bir problem gibi incelenebilir.

d'Alembert ilkesine göre yüzey kuvvetini, atalet kuvvetine eşitlemek suretiyle hareket denklemini yazılmış olur. m kütlesi için γ özgül ağırlık, ρ yoğunluk ve g yerçekimi ivmesi olmak üzere

$$m = \frac{\gamma}{g} V = \rho(h dx dy) \quad (2.27)$$

yazılabilir. Yüzey kuvveti ile atalet kuvvetinin dengesini yazacak olursak

$$p dx dy = -\rho h dx dy \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \quad (2.28)$$

$$p = -\rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \quad (2.29)$$

ifadesini elde ederiz. (2.29) ifadesine, bir zorlama terimini dış yük olarak ve zeminin tepkisini ekleyerek (2.25) denkleminde yerine yazıp düzenleyecek olursak

$$D\nabla^2\nabla^2w + kw = p(x, y, t) - \rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \quad (2.30)$$

denkleminde ulaşırız. ∇^2 Kartezyen koordinatlarda Laplasyen olup, ifadesi

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \quad (2.31)$$

şeklindedir. Plagımızın harmonik $p(x, y, t) = P(x, y)e^{-i\Omega t}$ zorlama yükü ile zorlandığını düşünelim. Burada Ω zorlama frekansını, t de zamanı göstermektedir. Lineer teoriyi kullanacak olursak çökme fonksiyonu da

$$w(x, y, t) = W(x, y)e^{-i\Omega t} \quad (2.32)$$

şeklinde yazılabilir. Böylece çökme ve zorlama fonksiyonunu zamandan ayırtmış olduk. (2.32) ifadesi (2.30) denkleminde yerine yazılırsa

$$D \left(\frac{\partial^4 W}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 W}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 W}{\partial y^4} \right) e^{-i\Omega t} + kW e^{-i\Omega t} = P(x, y) e^{-i\Omega t} + \rho h \Omega^2 W e^{-i\Omega t} \quad (2.33)$$

$$\nabla^2 \nabla^2 W + \frac{k - \rho h \Omega^2}{D} W = \frac{P(x, y)}{D} \quad (2.34)$$

denkleminde ulaşılır. Böylece elastik zemine oturan dikdörtgen plak için hareket denkleminde elde edilir.

Elastik zemine oturan plagımız için sınır koşullarımızı yazmaya gelince; plagımız dört kenarından serbest oturduğu için serbest kenarda moment, kesme kuvveti ve burulma momentleri sıfır olmalıdır. Plak kenarında, gerçek kesme kuvvetlerine ilaveten burulma momentinin yerine statik eşdeğeri kesme kuvvetleri koyulduğunda elde edilen toplam kuvvete kenar kuvvetleri denir. Böylece sağlatılması gereken koşullar moment ve kenar kuvvetlerinin sıfır olmasıdır. Buna göre,

$$M_x \Big|_{\substack{x=0 \\ x=a}} = 0, \quad V_x \Big|_{\substack{x=0 \\ x=a}} = \left(Q_x + \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} \right) \Big|_{\substack{x=0 \\ x=a}} = 0 \quad (2.35)$$

ve

$$M_y \Big|_{\substack{y=0 \\ y=b}} = 0, \quad V_y \Big|_{\substack{y=0 \\ y=b}} = \left(Q_y + \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} \right) \Big|_{\substack{y=0 \\ y=b}} = 0 \quad (2.36)$$

olarak yazılabilir ayrıca w 'ye bağlı ifadeleri de

$$\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \Big|_{\substack{x=0 \\ x=a}} = 0, \quad \left(\frac{\partial^3 w}{\partial x^3} + (2-\nu) \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} \right) \Big|_{\substack{x=0 \\ x=a}} = 0 \quad (2.37)$$

ve

$$\left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \Big|_{\substack{y=0 \\ y=b}} = 0, \quad \left(\frac{\partial^3 w}{\partial y^3} + (2-\nu) \frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial y} \right) \Big|_{\substack{y=0 \\ y=b}} = 0 \quad (2.38)$$

şeklinde yazabiliriz.

2.3.2 VLASOV ZEMİN MODELİ

Yayılı yükler etkisinde tek tabakalı bir zeminde, iki parametrelili modele ait yük-yerdeğiştirme ilişkisine ait hareket denklemi

$$\nabla^2 \nabla^2 w - 2t \nabla^2 w + kw = p(x, y, t) \quad (2.39)$$

şeklinde yazılabilir. Burada p plak üzerindeki yayılı yükü, k zemin yatak katsayısını, $2t$ ise Winkler zemin modelinde ihmal edilen, yaylar arasındaki kesme şekildeğiştirmelerini temsil eden zemin parametresini göstermektedir. Bu iki zemin parametresini hesaplayabilmek için Vlasov ve Leont'ev elastik zemin derinliğince çökme değişimini temsil eden bir parametre, γ tanımlamışlardır. Bu yaklaşımın

avantajı zemin modülü k ile yaylar arasındaki etkileşimi temsil eden $2t$ 'nin, zemin, plağın geometrisi ve malzeme özelliklerine bağlı hesaplanmasıdır.

Elastik zemine oturan bir plakta, zeminin herhangi bir noktasındaki çökme Vlasov ve Leont'ev tarafından aşağıdaki gibi tariflenmiştir.

$$w(x, y, z) = w(x, y)\phi(z) \quad (2.40)$$

burada $\phi(z)$ zemin yüzeyinden kaya tabakaya doğru kayma yerdeğiştirme dağılımının fonksiyonu olarak ifade edilebilir ve

$$\phi(z) = \frac{\sinh \gamma \left(1 - \frac{z}{H}\right)}{\sinh \gamma} \quad (2.41)$$

$$\left(\frac{\gamma}{H}\right)^2 = \frac{(1-2\nu_s)}{2(1-\nu_s)} \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\left(\frac{\partial w(x, y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial w(x, y)}{\partial y}\right)^2 \right] dx dy}{\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} w^2(x, y) dx dy} \quad (2.42)$$

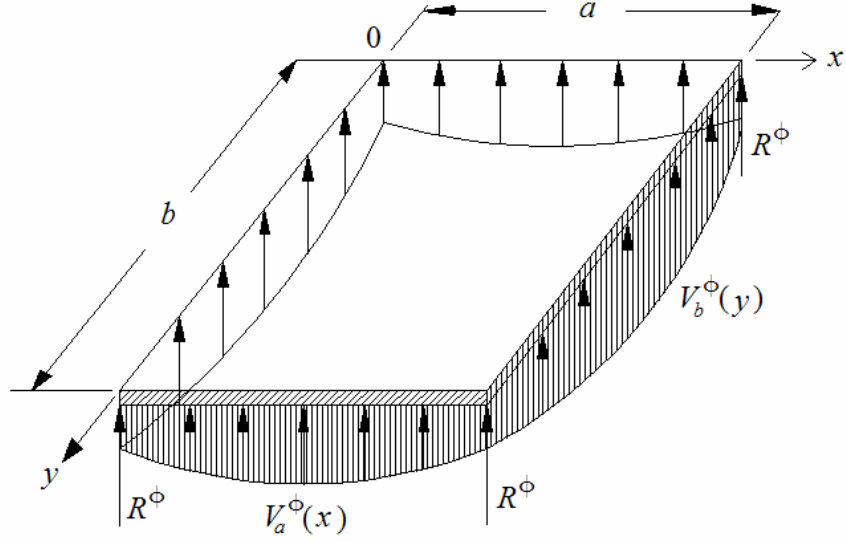
şeklinde yazılabilir. Bu ifadelerde H zemin derinliğini ve ν_s zemin poisson oranını göstermektedir. γ ise yukarıda tariflendiği gibi plak ve elastik zeminin çökmesine bağlıdır. (2.39) hareket denklemindeki k ve $2t$ ise

$$k = \int_0^H \frac{(1-\nu_s)E_s}{(1+\nu_s)(1-2\nu_s)} \left(\frac{d\phi}{dz}\right)^2 dz \quad (2.43)$$

$$2t = \int_0^H \frac{(1-\nu_s)E_s}{2(1+\nu_s)} \phi^2 dz \quad (2.44)$$

olarak verilebilir, burada E_s zemin elastisite modülünü göstermektedir. (2.39) hareket denklemini incelemeye devam edecek olursak ilk terim plak üzerindeki dış yüklere bağlıdır, diğer terimler ise elastik zeminin tepkisine bağlıdır.

Bu kuvvetlere karşı ek olarak Şekil 2.6 da görüldüğü gibi, plak kenarları boyunca yayılı tepki kuvvetleri V^ϕ doğmaktadır. Bu tepkiler plak kenarlarından başka elastik zeminin üç boyutlu şekildeğiştirme yapmasına imkân vermektedir. Plakın poligon ya da dikdörtgen şeklinde olması durumunda plak köşelerinde de R^ϕ köşe kuvvetleri doğmaktadır.



Şekil 2.6 Plak kenarındaki kenar ve köşe kuvvetleri

Şimdi bu V^ϕ ve R^ϕ tepkilerini belirlemek için, plak kenarları ötesindeki elastik zemin yüzeyinin çökmesinin Şekil 2.7 de görüldüğü gibi pozitif x eksenine boyunca

$$w_f(x, y) = w_b(y)e^{-\alpha(x-a)} \quad (2.45)$$

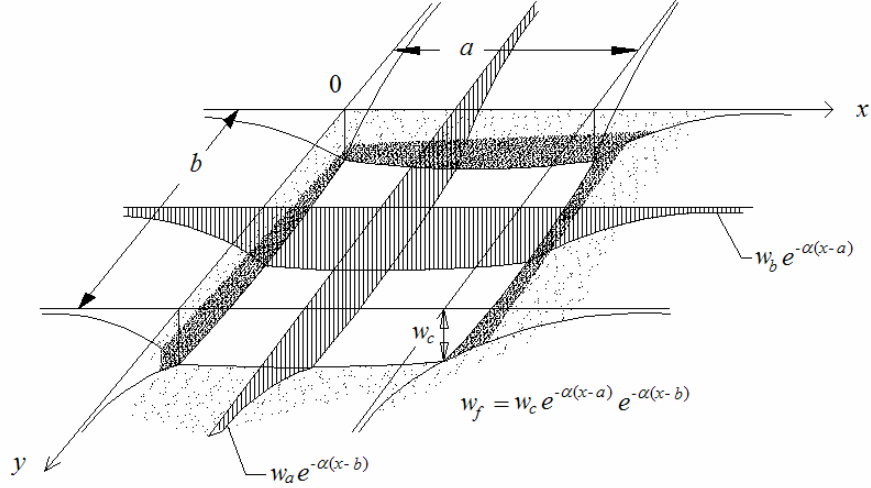
ve pozitif y eksenine boyunca

$$w_f(x, y) = w_a(x)e^{-\alpha(y-b)} \quad (2.46)$$

şeklinde değiştiğini kabul edelim. Burada $\alpha = \sqrt{\frac{k}{2t}}$, $w_b(y)$ ve $w_a(x)$ ise sırası ile plak kenarı boyunca ve enince çökmeleridir. Ayrıca $x > a$ ve $y > b$ bölgesinde zeminin çökmesi için

$$w_f(x, y) = w_c e^{-\alpha(x-a)} e^{-\alpha(y-b)} \quad (2.47)$$

yazılabilir. Burada w_c plak köşesindeki çökme değeridir.



Şekil 2.7 Vlasov zeminde çökmenin değişimi

Sağlatmamız gereken sınır koşullarına gelince plak kenarları boyunca

$$V_x \Big|_{x=0}^{x=a} = V_x^\phi \quad V_y \Big|_{y=0}^{y=b} = V_y^\phi \quad (2.48)$$

$$M_x \Big|_{x=0}^{x=a} = 0 \quad M_y \Big|_{y=0}^{y=b} = 0 \quad (2.49)$$

yazılabilir. Sınır koşullarında sağlanması gereken V_x^ϕ ve V_y^ϕ fonksiyonları da

$$V_x^\phi = 2t \frac{\partial w_f}{\partial x} \Big|_{x=a} \quad (2.50)$$

$$V_y^\phi = 2t \frac{\partial w_f}{\partial y} \Big|_{y=b} \quad (2.51)$$

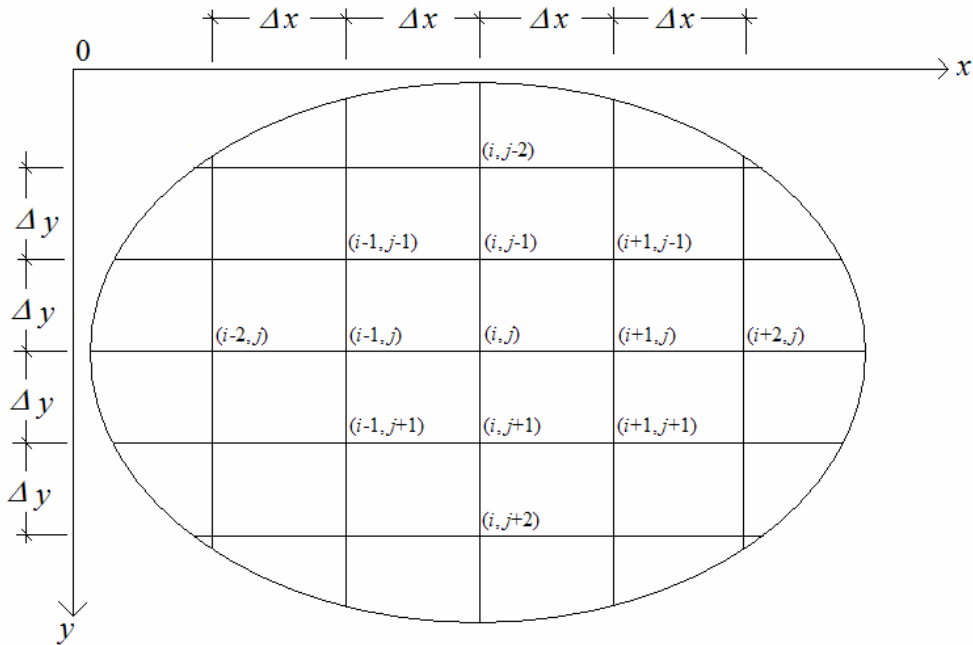
şeklinde yazılabilir.

3 SONLU FARKLAR YÖNTEMİ İLE HAREKET DENKLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

Elastisite teorisinde karşılaşılan problemlerin birçoğunun kapalı çözümü yoktur. Bu durumda yaklaşık bir çözümle yetinmek zorunda kalınır. Bu yaklaşık çözüm yöntemlerinden biri olan sonlu farklar yönteminin esası, diferansiyeller yerine sonlu farklar olarak, problemin diferansiyel denklemini, fonksiyonun ayrık noktalarındaki değerleriyle yaklaşık olarak ifade etmektir.

3.1 SONLU FARK DENKLEMLERİNİN ELDE EDİLMESİ

Bu bölümde plak denklemi, moment, kesme kuvveti ve sınır koşullarında kullanılacak gerekli türev ifadeleri W çökme fonksiyonuna bağlı olarak sonlu farklar cinsinden Şekil 3.1 den faydalanarak ifade edilecektir.



Şekil 3.1 Sonlu Fark Ağı

İki bağımsız değişkenli $W(x, y)$ fonksiyonunun x_i ve y_j noktasındaki değerini

$$W_{i,j} = W(x_i, y_j) \quad (3.1)$$

ile gösterelim. $W(x, y)$ fonksiyonu, Şekil 3.1 de görüldüğü gibi serbest değişkenleri Δx ve Δy gibi eşit aralıklarla sıralanan bir ağ üzerinde verilsin. Şekilde ağ üzerindeki noktaların indisleri görülmektedir. x_i, y_j noktası civarında $W_{i+1,j}$ ve $W_{i-1,j}$ değerlerini iki değişkenli fonksiyonlara ait Taylor formülü yardımıyla seriye açacak olursak

$$W_{i+1,j} = W_{i,j} + \Delta x \frac{\partial W}{\partial x} + \frac{(\Delta x)^2}{2!} \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{(\Delta x)^3}{3!} \frac{\partial^3 W}{\partial x^3} + \frac{(\Delta x)^4}{4!} \frac{\partial^4 W}{\partial x^4} + R_4 \quad (3.2)$$

$$W_{i-1,j} = W_{i,j} - \Delta x \frac{\partial W}{\partial x} + \frac{(\Delta x)^2}{2!} \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} - \frac{(\Delta x)^3}{3!} \frac{\partial^3 W}{\partial x^3} + \frac{(\Delta x)^4}{4!} \frac{\partial^4 W}{\partial x^4} + R_4 \quad (3.3)$$

şeklinde elde edilir. Burada R_4 kalan ifadesidir. $W(x, y)$ fonksiyonunun (x_i, y_j) noktasında x 'e göre kısmi türevi $\partial W / \partial x$, yukarıda verilen birinci ile ikinci bağıntının birbirinden çıkarılmasından merkezi farklar cinsinden aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\frac{\partial W}{\partial x} \Big|_{i,j} \cong \frac{W_{i+1,j} - W_{i-1,j}}{2\Delta x} \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial W}{\partial y} \Big|_{i,j} \cong \frac{W_{i,j+1} - W_{i,j-1}}{2\Delta y} \quad (3.5)$$

ikinci türev ise (3.2) ve (3.3) bağıntılarının birbiri ile toplanmasından aşağıda verilen şekilde bulunur.

$$\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \Big|_{i,j} \cong \frac{W_{i+1,j} - 2W_{i,j} + W_{i-1,j}}{(\Delta x)^2} \quad (3.6)$$

$$\left. \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right|_{i,j} \cong \frac{W_{i,j+1} - 2W_{i,j} + W_{i,j-1}}{(\Delta y)^2} \quad (3.7)$$

Karışık türev ise (3.5) deki ifade kullanılarak aşağıdaki şekilde bulunur.

$$\frac{\partial^2 W}{\partial y \partial x} \cong \frac{\partial W}{\partial y} + \left(\frac{\partial W}{\partial x} \right) = \frac{1}{2\Delta y} \left[\left(\frac{\partial W}{\partial x} \right)_{i,j+1} - \left(\frac{\partial W}{\partial x} \right)_{i,j-1} \right] \quad (3.8)$$

$$\frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y} = \frac{\partial^2 W}{\partial y \partial x} \cong \frac{W_{i+1,j+1} + W_{i-1,j-1} - W_{i-1,j+1} - W_{i+1,j-1}}{4(\Delta x)(\Delta y)} \quad (3.7)$$

W fonksiyonunun x 'e ve y 'ye göre üçüncü, dördüncü ve karışık mertebeden türevlerin hesaplanması ve sonuçları aşağıda verilmiştir.

Üçüncü türev:

$$\frac{\partial^3 W}{\partial x^3} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right) \cong \frac{1}{2\Delta x} \left[\left. \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right|_{i+1,j} - \left. \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right|_{i-1,j} \right] \quad (3.10)$$

$$\frac{\partial^3 W}{\partial x^3} \cong \frac{W_{i+2,j} - 2W_{i+1,j} + 2W_{i-1,j} - W_{i-2,j}}{2(\Delta x)^3} \quad (3.11)$$

$$\frac{\partial^3 W}{\partial y^3} \cong \frac{W_{i,j+2} - 2W_{i,j+1} + 2W_{i,j-1} - W_{i,j-2}}{2(\Delta y)^3} \quad (3.12)$$

Karışık türev:

$$\frac{\partial^3 W}{\partial x \partial y^2} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right) \cong \frac{1}{2\Delta x} \left[\left. \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right|_{i+1,j} - \left. \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right|_{i-1,j} \right] \quad (3.13)$$

$$\frac{\partial^3 W}{\partial x \partial y^2} \cong \frac{W_{i+1,j+1} + W_{i+1,j-1} - W_{i-1,j-1} - W_{i-1,j+1} + 2(W_{i-1,j} - W_{i+1,j})}{2(\Delta x)(\Delta y)^2} \quad (3.14)$$

Karışık türev

$$\frac{\partial^3 W}{\partial y \partial x^2} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right) \cong \frac{1}{2\Delta y} \left[\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \Big|_{i,j+1} - \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \Big|_{i,j-1} \right] \quad (3.15)$$

$$\frac{\partial^3 W}{\partial y \partial x^2} \cong \frac{W_{i+1,j+1} + W_{i-1,j+1} - W_{i-1,j-1} - W_{i+1,j-1} + 2(W_{i,j-1} - W_{i,j+1})}{2(\Delta y)(\Delta x)^2} \quad (3.16)$$

Dördüncü türev

$$\frac{\partial^4 W}{\partial x^4} = \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right) \cong \frac{1}{(\Delta x)^2} \left[\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \Big|_{i+1,j} - 2 \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \Big|_{i,j} + \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \Big|_{i-1,j} \right] \quad (3.17)$$

$$\frac{\partial^4 W}{\partial x^4} \cong \frac{W_{i+2,j} - 4W_{i+1,j} + 6W_{i,j} - 4W_{i-1,j} + W_{i-2,j}}{(\Delta x)^4} \quad (3.18)$$

$$\frac{\partial^4 W}{\partial y^4} \cong \frac{W_{i,j+2} - 4W_{i,j+1} + 6W_{i,j} - 4W_{i,j-1} + W_{i,j-2}}{(\Delta y)^4} \quad (3.19)$$

Karışık türev

$$\frac{\partial^4 W}{\partial y^2 \partial x^2} = \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right) \cong \frac{1}{(\Delta y)^2} \left[\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \Big|_{i,j+1} - 2 \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \Big|_{i,j} + \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \Big|_{i,j-1} \right] \quad (3.20)$$

$$\frac{\partial^4 W}{\partial x^2 \partial y^2} \cong \frac{4W_{i,j} - 2(W_{i,j+1} + W_{i+1,j} + W_{i-1,j} + W_{i,j-1}) + W_{i+1,j+1} + W_{i-1,j+1} + W_{i+1,j-1} + W_{i-1,j-1}}{(\Delta x)^2 (\Delta y)^2} \quad (3.21)$$

3.1.1 WINKLER ZEMİN MODELİNE AİT HAREKET DENKLEMİNİN BOYUTSUZLAŞTIRILMASI

Boyutsuz büyüklüklerle çalışmak hesaplarımızda kolaylık sağlayacağından aşağıdaki boyutsuz büyüklükleri tarifleyerek boyutsuz hareket denklemimizi elde edelim.

$$X = \frac{x}{a}, \quad Y = \frac{y}{a}, \quad \bar{W} = \frac{W}{P_0 \frac{a^4}{D}}, \quad \bar{P}(X, Y) = \frac{P(x, y)}{P_0} \quad (3.22)$$

$$\bar{k} = \frac{ka^4}{D}, \quad \omega_n^2 = \frac{D}{\rho ha^4}$$

Tariflediğimiz bu büyüklükleri (2.34) hareket denklemimizde yerine yazacak olursak

$$\frac{P_0 a^4}{D} \left[\frac{1}{a^4} \frac{\partial^4 \bar{W}}{\partial X^4} + \frac{2}{a^4} \frac{\partial^4 \bar{W}}{\partial X^2 \partial Y^2} + \frac{1}{a^4} \frac{\partial^4 \bar{W}}{\partial Y^4} + \frac{k}{D} \bar{W} - \frac{\rho h}{D} \Omega^2 \bar{W} \right] = \frac{P_0 \bar{P}}{D} \quad (3.23)$$

$$\frac{\partial^4 \bar{W}}{\partial X^4} + 2 \frac{\partial^4 \bar{W}}{\partial X^2 \partial Y^2} + \frac{\partial^4 \bar{W}}{\partial Y^4} + \left(\bar{k} - \frac{\Omega^2}{\omega_n^2} \right) \bar{W} = \bar{P}(X, Y), \quad 0 \leq X \leq 1, \quad 0 \leq Y \leq b/a \quad (3.24)$$

boyutsuz hareket denkleminde ulaşırız. Şimdi hesaplarımızda kolaylık olsun diye $\Delta x = \Delta y$ kabulünü yaparak ve daha önceki bölümde elde ettiğimiz sonlu farklar cinsinden türev ifadelerini kullanarak hareket denklemimizi sonlu farklar cinsinden aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$\begin{aligned} & \frac{1}{(\Delta X)^4} \left[20\bar{W}_{i,j} - 8(\bar{W}_{i-1,j} + \bar{W}_{i,j+1} + \bar{W}_{i+1,j} + \bar{W}_{i,j-1}) + 2(\bar{W}_{i-1,j+1} + \bar{W}_{i+1,j+1} + \bar{W}_{i+1,j-1} + \bar{W}_{i-1,j-1}) \right. \\ & \left. + (\bar{W}_{i,j+2} + \bar{W}_{i+2,j} + \bar{W}_{i,j-2} + \bar{W}_{i-2,j}) \right] + \left(\bar{k} - \frac{\Omega^2}{\omega_n^2} \right) \bar{W}_{i,j} = \bar{P}_{i,j} \end{aligned} \quad (3.25)$$

3.1.1.1 MOMENT İFADELERİNİN SONLU FARK FORMÜLASYONU

2. bölümde elde ettiğimiz moment ifadelerinin sonlu fark formüllerini, hareket denkleminde elde ettiğimiz şekilde kolayca yazabiliriz. (2.20–2.22) bağıntıları ile verilen moment ifadelerini, (3.22) ile verilen boyutsuz büyüklükleri kullanacak olursak

$$M_x = -P_0 a^2 \left(\frac{\partial^2 \bar{W}}{\partial X^2} + \nu \frac{\partial^2 \bar{W}}{\partial Y^2} \right) \quad (3.26)$$

$$M_y = -P_0 a^2 \left(\frac{\partial^2 \bar{W}}{\partial Y^2} + \nu \frac{\partial^2 \bar{W}}{\partial X^2} \right) \quad (3.27)$$

$$M_{xy} = -P_0 a^2 (1 - \nu) \frac{\partial^2 \bar{W}}{\partial X \partial Y} \quad (3.28)$$

şeklinde yazabiliriz, boyutsuz momentler de

$$\bar{M}_x = \frac{M_x}{P_0 a^2}, \quad \bar{M}_y = \frac{M_y}{P_0 a^2}, \quad \bar{M}_{xy} = \frac{M_{xy}}{P_0 a^2} \quad (3.29)$$

olarak tariflenirse

$$\bar{M}_x = - \left(\frac{\partial^2 \bar{W}}{\partial X^2} + \nu \frac{\partial^2 \bar{W}}{\partial Y^2} \right) \quad (3.30)$$

$$\bar{M}_y = - \left(\frac{\partial^2 \bar{W}}{\partial Y^2} + \nu \frac{\partial^2 \bar{W}}{\partial X^2} \right) \quad (3.31)$$

$$\bar{M}_{xy} = -(1 - \nu) \frac{\partial^2 \bar{W}}{\partial X \partial Y} \quad (3.32)$$

şeklinde elde edilir. Daha önce elde ettiğimiz (3.6), (3.2) ve (3.9) türev ifadeleri kullanılarak M_x , M_y ve M_{xy} momentleri sonlu farklar cinsinden aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\bar{M}_x = - \frac{(-2 - 2\nu)\bar{W}_{i,j} + \nu(\bar{W}_{i,j-1} + \bar{W}_{i,j+1}) + \bar{W}_{i-1,j} + \bar{W}_{i+1,j}}{(\Delta X)^2} \quad (3.33)$$

$$\bar{M}_y = - \frac{(-2 - 2\nu)\bar{W}_{i,j} + \nu(\bar{W}_{i-1,j} + \bar{W}_{i+1,j}) + \bar{W}_{i,j-1} + \bar{W}_{i,j+1}}{(\Delta X)^2} \quad (3.34)$$

$$\bar{M}_{xy} = \frac{(1-\nu)(\bar{W}_{i-1,j-1} + \bar{W}_{i+1,j+1} - \bar{W}_{i-1,j+1} - \bar{W}_{i+1,j-1})}{4(\Delta X)^2} \quad (3.35)$$

3.1.1.2 KESME KUVVETİ İFADELERİNİN SONLU FARK FORMÜLASYONU

Kesme kuvveti ifadelerini de boyutsuz büyüklükler cinsinden (2.23) ve (2.24) Q_x ve Q_y kesme kuvveti denklemlerini de kullanarak ve aşağıdaki boyutsuz kesme kuvveti tarifine göre

$$\bar{Q}_x = \frac{Q_x}{P_0 a}, \quad \bar{Q}_y = \frac{Q_y}{P_0 a} \quad (3.36)$$

benzer şekilde

$$\bar{Q}_x = -\left(\frac{\partial^3 \bar{W}}{\partial X^3} + \frac{\partial^3 \bar{W}}{\partial X \partial Y^2} \right) \quad (3.37)$$

$$\bar{Q}_y = -\left(\frac{\partial^3 \bar{W}}{\partial X \partial Y^2} + \frac{\partial^3 \bar{W}}{\partial Y^3} \right) \quad (3.38)$$

elde edilir. $\bar{Q}_x$ ve $\bar{Q}_y$ ifadelerinde (3.11), (3.12), (3.14) ve (3.16) türev ifadelerini kullanarak, sonlu farklar cinsinden kesme kuvveti denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\bar{Q}_x = [\bar{W}_{i-2,j} - \bar{W}_{i+2,j} - (\bar{W}_{i+1,j+1} + \bar{W}_{i+1,j-1} - \bar{W}_{i-1,j-1} - \bar{W}_{i-1,j+1}) - 4(\bar{W}_{i-1,j} - \bar{W}_{i+1,j})] / 2(\Delta X)^3 \quad (3.39)$$

$$\bar{Q}_y = [\bar{W}_{i,j-2} - \bar{W}_{i,j+2} - (\bar{W}_{i+1,j+1} + \bar{W}_{i-1,j+1} - \bar{W}_{i-1,j-1} - \bar{W}_{i+1,j-1}) - 4(\bar{W}_{i,j-1} - \bar{W}_{i,j+1})] / 2(\Delta X)^3 \quad (3.40)$$

3.1.1.3 MESNET TEPKİLERİNİN SONLU FARK FORMÜLASYONU

V_x ve V_y mesnet tepkilerinin W 'ye bağlı ifadesi (3.22) denklemi ile verilen boyutsuz büyüklüklerin kullanılması ile

$$V_x = -P_0 a \left[\frac{\partial^3 \bar{W}}{\partial X^3} + (2-\nu) \frac{\partial^3 \bar{W}}{\partial X \partial Y^2} \right] \quad (3.41)$$

$$V_y = -P_0 a \left[\frac{\partial^3 \bar{W}}{\partial Y^3} + (2-\nu) \frac{\partial^3 \bar{W}}{\partial X^2 \partial Y} \right] \quad (3.42)$$

şeklinde elde edilir. Burada

$$\bar{V}_x = \frac{V_x}{P_0 a}, \quad \bar{V}_y = \frac{V_y}{P_0 a} \quad (3.43)$$

tarifini yapacak olursak, boyutsuz kesme kuvvetleri

$$\bar{V}_x = - \left[\frac{\partial^3 \bar{W}}{\partial X^3} + (2-\nu) \frac{\partial^3 \bar{W}}{\partial X \partial Y^2} \right] \quad (3.44)$$

$$\bar{V}_y = - \left[\frac{\partial^3 \bar{W}}{\partial Y^3} + (2-\nu) \frac{\partial^3 \bar{W}}{\partial X^2 \partial Y} \right] \quad (3.45)$$

şeklinde elde edilir. Elde ettiğimiz bu ifadelerde, (3.11), (3.12), (3.14) ve (3.16) türev bağıntılarını kullanarak, sonlu farklar cinsinden mesnet tepkileri yazılabilir. Buna göre;

$$\begin{aligned} \bar{V}_x = & [\bar{W}_{i-2,j} - \bar{W}_{i+2,j} - (2-\nu)(\bar{W}_{i+1,j-1} + \bar{W}_{i+1,j+1} - \bar{W}_{i-1,j-1} - \bar{W}_{i-1,j+1}) \\ & - 2(3-\nu)(\bar{W}_{i-1,j} - \bar{W}_{i+1,j})] / 2(\Delta X)^3 \end{aligned} \quad (3.46)$$

$$\bar{V}_y = [\bar{W}_{i,j-2} - \bar{W}_{i,j+2} - (2-\nu)(\bar{W}_{i+1,j+1} + \bar{W}_{i-1,j+1} - \bar{W}_{i-1,j-1} - \bar{W}_{i+1,j-1}) - 2(3-\nu)(\bar{W}_{i,j-1} - \bar{W}_{i,j+1})] / 2(\Delta X)^3 \quad (3.47)$$

elde edilmiş olur.

3.1.1.4 SINIR KOŞULLARININ BOYUTSUZLAŞTIRILMASI

(2.23) denklemi ile verilen sınır koşulları (3.22) boyutsuz büyüklükleri kullanılarak

$$\bar{M}_x = \left(\frac{\partial^2 \bar{W}}{\partial X^2} + \nu \frac{\partial^2 \bar{W}}{\partial Y^2} \right) \bigg|_{X=0}^{X=1} = 0 \quad (3.48)$$

$$\bar{M}_y = \left(\frac{\partial^2 \bar{W}}{\partial Y^2} + \nu \frac{\partial^2 \bar{W}}{\partial X^2} \right) \bigg|_{Y=0}^{Y=b/a} = 0 \quad (3.49)$$

ve

$$\bar{V}_x = \left(\frac{\partial^3 \bar{W}}{\partial X^3} + (2-\nu) \frac{\partial^3 \bar{W}}{\partial X \partial Y^2} \right) \bigg|_{X=0}^{X=1} = 0 \quad (3.50)$$

$$\bar{V}_y = \left(\frac{\partial^3 \bar{W}}{\partial Y^3} + (2-\nu) \frac{\partial^3 \bar{W}}{\partial X^2 \partial Y} \right) \bigg|_{Y=0}^{Y=b/a} = 0 \quad (3.51)$$

şeklinde yazılabilir. Sonlu farklar cinsinden sınır koşullarının ifadesi ise

$$\bar{M}_x \big|_{X=0}^{X=1} = \bar{W}_{i-1,j} + \bar{W}_{i+1,j} - 2(1+\nu)\bar{W}_{i,j} + \nu(\bar{W}_{i,j-1} + \bar{W}_{i,j+1}) = 0 \quad (3.52)$$

$$\bar{V}_x \big|_{X=0}^{X=1} = -\bar{W}_{i-2,j} + \bar{W}_{i+2,j} + (2-\nu)(\bar{W}_{i+1,j-1} + \bar{W}_{i+1,j+1} - \bar{W}_{i-1,j-1} - \bar{W}_{i-1,j+1}) + 2(3-\nu)(\bar{W}_{i-1,j} - \bar{W}_{i+1,j}) = 0 \quad (3.53)$$

$$\bar{M}_y \big|_{Y=0}^{Y=b/a} = \bar{W}_{i,j-1} + \bar{W}_{i,j+1} - 2(1+\nu)\bar{W}_{i,j} + \nu(\bar{W}_{i-1,j} + \bar{W}_{i+1,j}) = 0 \quad (3.54)$$

$$\begin{aligned} \bar{V}_y \Big|_{Y=0}^{Y=b/a} = & -\bar{W}_{i,j-2} + \bar{W}_{i,j+2} + (2-\nu)(\bar{W}_{i+1,j+1} + \bar{W}_{i-1,j+1} - \bar{W}_{i-1,j-1} - \bar{W}_{i+1,j-1}) \\ & + 2(3-\nu)(\bar{W}_{i,j-1} - \bar{W}_{i,j+1}) = 0 \end{aligned} \quad (3.55)$$

şeklinde elde edilir. Bu sınır koşullarına ek olarak ayrıca birbirine dik iki kenarı serbest mesnetlenmiş plaklarda M_{xy} burulma momentininde sıfır olması gerekir. Buna göre;

$$\bar{M}_{xy} \Big|_{Y=0}^{X=0} = \bar{M}_{xy} \Big|_{Y=0}^{X=1} = \bar{M}_{xy} \Big|_{Y=b/a}^{X=0} = \bar{M}_{xy} \Big|_{Y=b/a}^{X=1} = 0 \quad (3.56)$$

şeklinde yazılabilir. $\bar{M}_{xy}$ burulma momentinin sonlu farklar cinsinden ifadesi ise

$$\bar{M}_{xy} = \bar{W}_{i-1,j-1} + \bar{W}_{i+1,j+1} - \bar{W}_{i-1,j+1} - \bar{W}_{i+1,j-1} = 0 \quad (3.56)$$

şeklinde yazılabilir.

4 SAYISAL UYGULAMALAR

4.1 SAYISAL VERİLER

Bu bölümde, homojen, izotrop ve lineer elastik Winkler zemini üzerine oturan 10×6 sonlu fark eleman ağına sahip dikdörtgen bir plağın statik ve harmonik dinamik yük yüklemesine ait sayısal hesapları yapılmıştır. Problemin bilinmeyenleri olan çökmeler elektronik tabloda döngüsel başvurunun yineleme yöntemi ile çözülmesi ile elde edilmiştir. Çeşitli, statik ve dinamik yükleme durumları için çökme, moment ve kesme kuvveti değerleri tablolar yardımı ile gösterilmiştir. Sayısal uygulama için, Poisson oranı $\nu = 0.25$, boyutsuz yükün şiddeti $p_0 = 1$ alınmıştır. Zahiri noktalarla beraber sonlu fark ağındaki düğüm noktası sayısı $(11 + 4) \times (7 + 4) = 165$, $165 - (3 \times 4) = 153$ bilinmeyen katsayı vardır. Plak sınırda yazacağımız denklem sayısı x kenarı boyunca $11 \times 2 \times 2 = 44$ ve y kenarı boyunca $7 \times 2 \times 2 = 28$ olmak üzere toplam 72 denklem ayrıca bölge üzerinde $(10 + 1) \times (6 + 1) = 77$ adet denklem ve serbest köşede burulma momentinin sıfır olması koşulundan toplam 153 denklem yazılır. Böylece bilinmeyen sayısı kadar denklem elde edilmiş oldu.

4.2 SONUÇLAR

Elektronik tablo yardımı ile yukarıdaki veriler kullanılarak bilinmeyen sabitler, Ω zorlama frekansı ve $\bar{k}$ boyutsuz yatak katsayısının değişimine bağlı olarak hesaplanmıştır. Hesap sonunda, çökme ve kesit tesirlerinin zorlama frekansı ve boyutsuz yatak katsayısına göre değişimleri incelenmiştir.

4.2.1 STATİK YÜK HALİ

Sayısal uygulama için, p_0 yükünün plağın orta noktasına tekil yük ve x ve y doğrultusunda orta şerit boyunca düzgün yayılı yük ayrıca ekzantrik tekil yük olarak

yüklenmesi göz önüne alınarak, bu bölgedeki yükleme durumundaki $\bar{k} = 1.5$ ve $\bar{k} = 2.0$ değerleri için sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo A.1-A.6 ve Şekil A.1-A.6 arasında ortasından statik tekil yükle yüklü plağa ait sonuçlar verilmiştir. Çökme beklendiği gibi tekil yükün altında en büyük değerini almaktadır. M_x momenti y kenarı boyunca, M_y momenti x kenarı boyunca ve M_{xy} momenti köşelerde beklendiği gibi sıfırdır.

Şekil A.7, A.14 ve A.21 de ortasından tekil, x ve y kenarı boyunca şerit statik yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\bar{k} = 2.0$ değerleri için x eksenı boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{W}$ çökme değerının değışimi verilmiştir. Beklendiği gibi boyutsuz yatak katsayısının artması ile çökmeler azalmaktadır.

Tablo A.7-A.12 ve Şekil A.8-A.13 arasında ortasından x eksenı boyunca statik şerit yükle yüklü plağa ait sonuçlar verilmiştir.

Tablo A.13-A.18 ve Şekil A.15-A.20 arasında ortasından y eksenı boyunca statik şerit yükle yüklü plağa ait sonuçlar verilmiştir.

Tablo A.19-A.24 ve Şekil A.22-A.27 arasında ekzantrik statik tekil yükle yüklü plağa ait sonuçlar verilmiştir.

4.2.2 DİNAMİK HARMONİK YÜK HALİ

Sayısal uygulama için, p_0 yükünün plağın orta noktasına tekil yük ve x ve y doğrultusunda orta şerit boyunca düzgün yayılı yük ayrıca ekzantrik tekil yük olarak yüklenmesi göz önüne alınarak ve bu yükleme durumuna ait çeşitli zorlama frekanslarına göre, $\bar{k} = 1.5$ ve $\bar{k} = 2.0$ değerleri için sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo B.1-B.6 ve Şekil B.1-B.6 arasında ortasından harmonik tekil yükle yüklü, $\bar{k} = 1.5$ ve $\frac{\Omega^2}{\omega_n^2} = 0.10$ oranı için dikdörtgen plağa ait sonuçlar verilmiştir. Elde edilen çökme değerlerinin, statik haldeki çökme değerlerinden daha büyük olduğu görülmüştür.

Şekil B.7 ve B.8 de ortasından tekil harmonik yükle yüklü plakta orta noktadaki çökme değerlerinin $\bar{k}=1.5$ ve $\bar{k}=2.0$ değerleri için Ω^2/ω_n^2 oranına değişimi verilmiştir. Buna göre sistemin $\bar{k}=1.5$ değeri için $\Omega^2/\omega_n^2 \cong 1.22$ civarında ve $\bar{k}=2.0$ değeri için $\Omega^2/\omega_n^2 \cong 1.41$ civarında rezonansa girdiği görülmüştür.

Şekil B.9 da ortasından tekil harmonik yükle yüklü plakta $\bar{k}=1.5$ ve $\bar{k}=2.0$ değerleri için x eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{W}$ çökme değerinin değişimi verilmiştir. Beklendiği gibi boyutsuz yatak katsayısının artması ile çökmeler azalmaktadır.

Tablo B.7-B.12 ve Şekil B.10-B.15 arasında ortasından x eksenini boyunca harmonik şerit yükle yüklü plağa ait sonuçlar verilmiştir.

Tablo B.13-B.18 ve Şekil B.16-B.21 arasında ortasından y eksenini boyunca harmonik şerit yükle yüklü plağa ait sonuçlar verilmiştir.

Tablo B.19-B.24 ve Şekil B.22-B.27 arasında ekzantrik tekil harmonik yükle yüklü plağa ait sonuçlar verilmiştir.

5 TARTIŞMA

Bu çalışmada elastik zemine oturan dikdörtgen plakların davranışı çeşitli statik ve dinamik yüklemeler için sonlu farklar yöntemi kullanılarak incelenmiştir.

Newton'un ikinci yasasından hareketle homogen, izotrop ve lineer elastik Winkler ve Vlasov zeminine oturan plaklar için hareket denklemi elde edilmiştir.

Daha sonra Winkler zeminine oturan plaklar için elde edilen hareket denklemi, sonlu fark denklemleri kullanılarak, fonksiyonun ayrık noktalarındaki değerleriyle yaklaşık olarak ifade edilmiştir. Elde edilen bu sonlu fark denklemleri, elektronik tablolar kullanılarak sayısal olarak çözülmüştür.

Boyutsuz yatak katsayısı $\bar{k}$ ve Ω^2/ω_n^2 oranının değişimine bağlı olarak çeşitli yüklemeler için, çökme, moment ve kesme kuvveti değerleri tabloların ve grafiklerin yardımı ile gösterilmiştir.

Yapılan yüklemeler sonunda statik hal için boyutsuz yatak katsayısı $\bar{k}$ arttıkça çökmelerin azaldığı görülmüştür. Dinamik hal için yapılan yüklemeler sonunda, Ω^2/ω_n^2 oranının arttıkça çökmelerin büyüdüğü görülmüştür. Belli bir zorlama frekansından sonra ise sistem rezonansa girmekte ve çökme değerleri sonsuz değerler almaktadır. $\bar{k} = 1.5$ değeri için bu oran $\Omega^2/\omega_n^2 \cong 1.22$ civarındadır, $\bar{k}$ değerleri arttıkça dinamik haldeki çökmeler azalmakta ve sistemin rezonansa girdiği Ω^2/ω_n^2 oranı artmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] **Andrea, R.D.S., Ricardo, A.M.S. and Paulo, B.G.**, 1999. Numerical methods for analysis of plates on tensionless elastic foundations, *International Journal of Solids and Structures*, **38**, 2083-2100.
- [2] **Ayvaz, Y.**, 2002, Application of modified Vlasov model to free vibration analysis of beams resting on elastic foundations, *Journal of Sound and Vibration*, **255**, 111-127.
- [3] **Ayvaz, Y., Daloğlu A. and Doğangün A.**, 1998. Application of a modified Vlasov model to earthquake analysis of plates resting on elastic foundations, *Journal of Sound and Vibration*, **224**, 1499-509.
- [4] **Bakioğlu, M. ve Özkan, T.**, 1980. Sonlu kalınlıkta zemin üzerine oturan yüzeysel temellerin hesabı hakkında bir yöntem, *Tubitak, VII. Bilgisayar Kongresi*.
- [5] **Bayer, İ., Dökmeci M.C.**, 2003, Düzlemsel kuvvetler etkisindeki dairesel levhaların serbest titreşimleri, *İTÜ Dergisi/d*, Cilt **2**, 71-78.
- [6] **Celep, Z. and Gençoğlu, M.**, 2002. Forced vibrations of a rigid circular plate on a tensionless Winkler edge support, *Journal of Sound and Vibration*, **263**, 945-953.
- [7] **Celep, Z.**, 1989, Rectangular plates resting on tensionless elastic foundation, *Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **18**, 377-388.
- [8] **Celep, Z., Malaika, A. and Abu-Hussein, M.**, 1988, Forced vibrations of a beam on a tensionless foundation, *Journal of Sound and Vibration*, **128**, 235-246.
- [9] **Cheung, M.S.**, 1978, A simplified finite elements solution for the plates on elastic foundation, *Computers and Structures*, **8**, 139-145.

- [10] **Cheung, Y.K. and Zeinkiewicz, O.C.**, 1965. Plates and tanks on elastic foundations. an application of finite element method, *International Journal of Solids and Structures*, **1**, 451-461.
- [11] **Civalek Ö.**, 2006. The determination of frequencies of laminated conical shells via the discrete singular convolution method, *Journal of Mechanics of Materials and Structures*, **1**, 165-192.
- [12] **Civalek, Ö.**, 2005. Geometrically nonlinear dynamic analysis of doubly curved isotropic shells resting on elastic foundation by a combination of harmonic differential quadrature-finite differences methods, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, **82**, 470-479.
- [13] **Çelik, M.**, 1996. Plak sonlu elemanlarda kayma şekildeğiştirmelerinin göz önüne alınması ve iki parametrelili zemine oturan plakların hesabı için bir yöntem, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.]
- [14] **Daloğlu A.T., and Vallabhan, C.V.G.**, 2000. Values of k for slab on Winkler foundation, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **126**, 463-471.
- [15] **Daloğlu, A.**, 2004. Elastik zemine oturan plaklar için parametreler, *İMO Teknik Dergi*, Yazı **220**, 3283-3293.
- [16] **Daloğlu, A., Doğangün A. and Ayvaz, Y.**, 1999. Dynamic analysis for foundation plates using a consistent Vlasov model, *Journal of Sound and Vibration*, **224**, 914-951.
- [17] **Datta, S.**, 1976, Large amplitude free vibrations of irregular plates placed on an elastic foundation, *Int. J. Non Linear Mech.*, **11**, 337-345.
- [18] **De Rosa, M.A.**, 1988, Stability plates resting on tensionless elastic foundation, *Journal of Eng. Mech.*, Vol.**18**, 377-388.
- [19] **Dillard, D.A.**, 1989, Bending of plates on thin elastomeric foundations, *Journal of Applied Mechanics*, **56**, 382-386.
- [20] **Dumir, P.C. and Bhaskar, A.**, 1988, Nonlinear static analysis of rectangular plates on elastic foundations by the orthogonal point collocation method, *Comput. Method in Applied Mech. and Engineering*, **67**, 111-124.

- [21] **Engin, H.**, 1992, Elastoplastik zemine oturan kiriş ve plaklar, İTÜ İnşaat Fak., *İnşaat Mühendisliğinde Bilgisayar Kullanımı II. Sempozyum*, İstanbul, Haziran, s. 15-18.
- [22] **Ergün, A. ve Kumbasar, N.**, 2003. İnce plaklar için geliştirilmiş sonlu farklar yöntemi, *İTÜ Dergisi/d*, Cilt **2**, 35-44.
- [23] **Filonenko-Borodich, M.M.**, 1940. Some approximate theories of the elastic foundation, (in Russian), *Uchenyie Zapiski Moscovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Mekhanika*, **46**, 3-18.
- [24] **Heteyni, M.**, Beams on elastic foundation, The University of Michigan Pres, Ann Arbor, Michigan, 1964
- [25] **Huang M.H. and Thambiratnam, D.P.**, 2001 Deflection response of plate on Winkler foundation to moving accelerated loads, **23**, 1134-1141.
- [26] **Katsikadelis, J.T. and Armenakas, A.E.**, 1984. Plates on elastic foundations by bie method, *Journal of Engineering. Mechanics*, **110**,No.7,(1984)
- [27] **Kerr, A.D.**, 1964. Elastic and viskoelastic foundation models, *Journal of Applied Mechanics*, **31**, 491-498.
- [28] **Malekzodeh, P. and Karami G.**, 2004. Vibration of non-uniform thick plates on elastic foundation by structure, *Engineering Structures*, **26**, 1473-1482.
- [29] **Miranda, C.K. and Nair, K.**, 1946. Finite beams on elastic foundations, *J. Struc. Div. Proceedings, ASCE*, **92**, 131-142.
- [30] **Nath, Y. and Jain, R.K.**, 1983, Nonlinear dynamic analysis of shallow spherical shell on elastic foundadion, *International Journal of Mechanical Sciences*, **25**, 409-419.
- [31] **Nath, Y., Varma, K.K. and Mahrenholtz, D.**, 1986, Nonlinear dynamic response of rectangular plates on linear elastic foundation, *Computers and Structures*, **24**, 391-399.
- [32] **Pasternak, P.L.**, 1954. On a new method of analysis of an elastic foundation by means of two foundation constants, (in Russian), *Gosudarstvennoe IzdatelstvoLiteraturi po Stroitelstvu i Arkhitekture Moscow, Russia*.

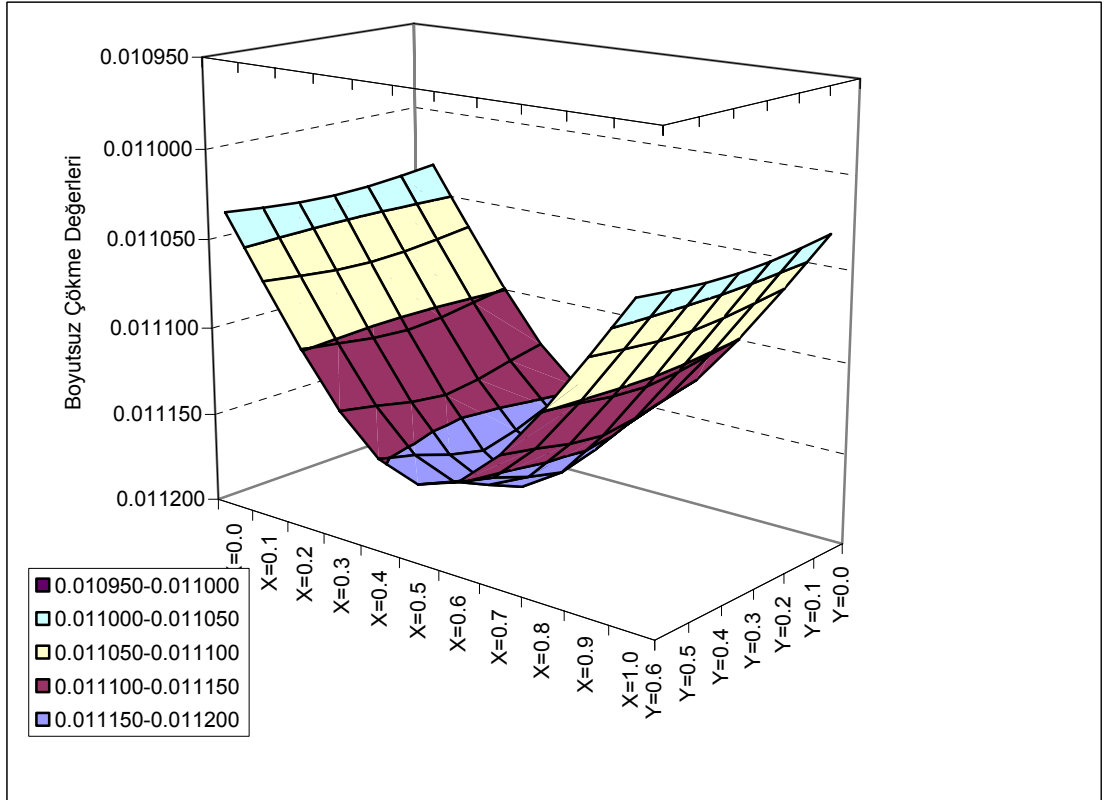
- [33] **Qin, Q.H.**, 1994, Hybrid Trefftz finite element approach for plate bending on an elastic foundation, *Applied Math. Modelling*, **18**, 334-339
- [34] **Reissner, E.**, 1945. The effect of transverse shear deformation on the bending of elastic plates. *Journal of Applied Mechanics*, **12**, 69-77.
- [35] **Timoshenko, S., and Krieger, S.W.**, Theory of plates and shells, McGraw-Hill. New York, 1982
- [36] **Timoshenko, S.P.G., and Goodier, J.N.**, Theory of elasticity. McGraw-Hill Book Co. New York, 1971.
- [37] **Vallabhan, C.V.G. and Das Y. C.**, 1988. Parametric study of beams on elastic foundations, *Journal of Engineering Mechanics*, **114**, 2072-2082.
- [38] **Vallabhan, C.V.G. and Daloglu A.T.**, 1999. Consistent FEM-Vlasov model for plates on layered soil, *Journal of Structural Engineering*, **125**, 108-113.
- [39] **Vlasov, V.Z., and Lepnt'ev. N.N.**, Beams plates and shells on elastic foundations. Israel Programme for Scientific Translations, Tel.Aviv, 1966
- [40] **Winkler, E.**, Die Lehre von der Elastizitat und Festiget, Prague, Czechoslovakia, 1867
- [41] **Zeimmerman, H.**, Die berechnung des eisenbahnaber bausesi, Second Edition, Berlin, German, 1988

EK A

STATİK YÜK HALİNE AİT GRAFİKLER

Tablo A.1 Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz çökme değerleri

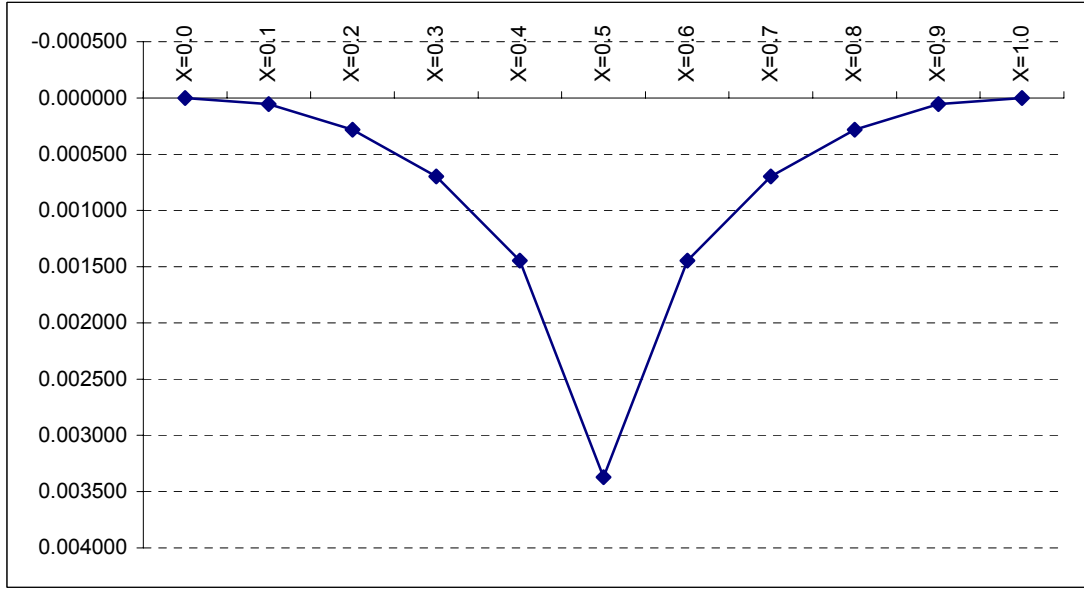
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.011033	0.011067	0.011099	0.011128	0.011148	0.011156	0.011148	0.011128	0.011099	0.011067	0.011033
Y=0.1	0.011035	0.011069	0.011102	0.011132	0.011154	0.011162	0.011154	0.011132	0.011102	0.011069	0.011035
Y=0.2	0.011037	0.011071	0.011105	0.011136	0.011161	0.011172	0.011161	0.011136	0.011105	0.011071	0.011037
Y=0.3	0.011037	0.011072	0.011107	0.011139	0.011166	0.011180	0.011166	0.011139	0.011107	0.011072	0.011037
Y=0.4	0.011037	0.011071	0.011105	0.011136	0.011161	0.011172	0.011161	0.011136	0.011105	0.011071	0.011037
Y=0.5	0.011035	0.011069	0.011102	0.011132	0.011154	0.011162	0.011154	0.011132	0.011102	0.011069	0.011035
Y=0.6	0.011033	0.011067	0.011099	0.011128	0.011148	0.011156	0.011148	0.011128	0.011099	0.011067	0.011033



Şekil A.1 Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz çökme yüzeyi

Tablo A.2 Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{M}_x$ momenti

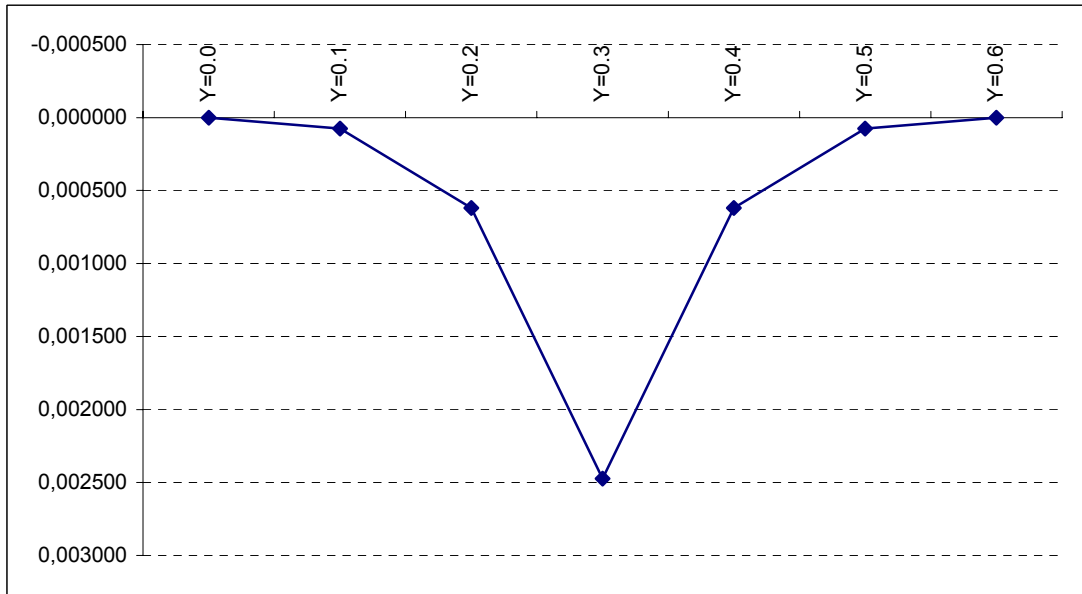
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.000000	0.000109	0.000371	0.000765	0.001200	0.001450	0.001200	0.000765	0.000371	0.000109	0.000000
Y=0.1	0.000000	0.000095	0.000352	0.000762	0.001266	0.001631	0.001266	0.000762	0.000352	0.000095	0.000000
Y=0.2	0.000000	0.000071	0.000316	0.000747	0.001400	0.002196	0.001400	0.000747	0.000316	0.000071	0.000000
Y=0.3	0.000000	0.000055	0.000283	0.000698	0.001446	0.003371	0.001446	0.000698	0.000283	0.000055	0.000000
Y=0.4	0.000000	0.000071	0.000316	0.000747	0.001400	0.002196	0.001400	0.000747	0.000316	0.000071	0.000000
Y=0.5	0.000000	0.000095	0.000352	0.000762	0.001266	0.001631	0.001266	0.000762	0.000352	0.000095	0.000000
Y=0.6	0.000000	0.000109	0.000371	0.000765	0.001200	0.001450	0.001200	0.000765	0.000371	0.000109	0.000000



Şekil A.2 Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x eksenı boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_x$ momentinin değışimi

Tablo A.3 Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{M}_y$ momenti

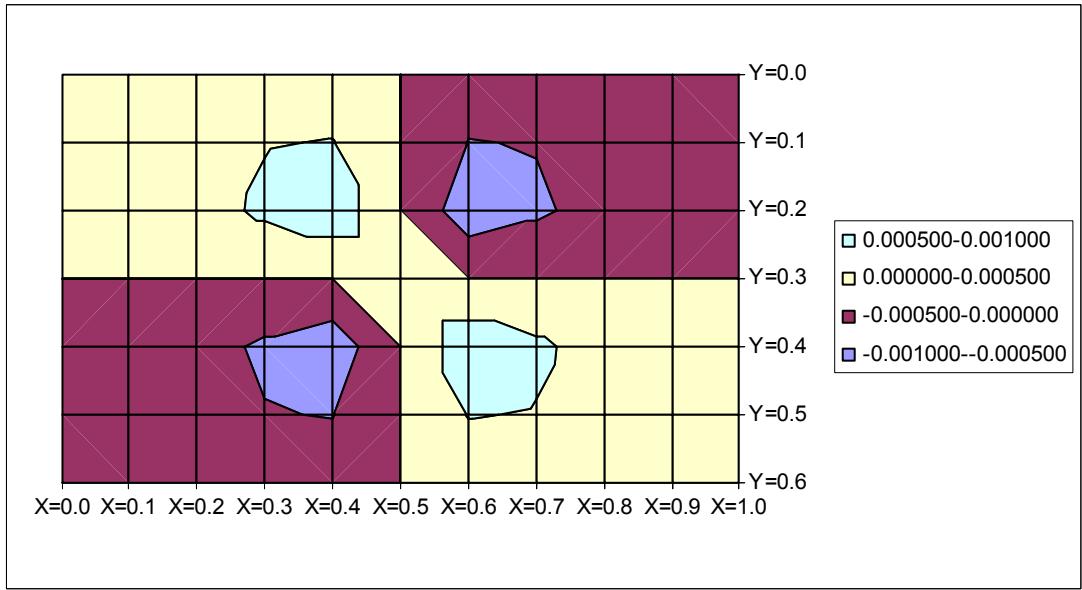
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Y=0.1	0.000039	0.000049	0.000079	0.000113	0.000118	0.000075	0.000118	0.000113	0.000079	0.000049	0.000039
Y=0.2	0.000099	0.000133	0.000228	0.000383	0.000562	0.000620	0.000562	0.000383	0.000228	0.000133	0.000099
Y=0.3	0.000131	0.000182	0.000333	0.000650	0.001281	0.002474	0.001281	0.000650	0.000333	0.000182	0.000131
Y=0.4	0.000099	0.000133	0.000228	0.000383	0.000562	0.000620	0.000562	0.000383	0.000228	0.000133	0.000099
Y=0.5	0.000039	0.000049	0.000079	0.000113	0.000118	0.000075	0.000118	0.000113	0.000079	0.000049	0.000039
Y=0.6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000



Şekil A.3 Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için y eksenı boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_y$ momentinin değışimi

Tablo A.4 Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ momenti

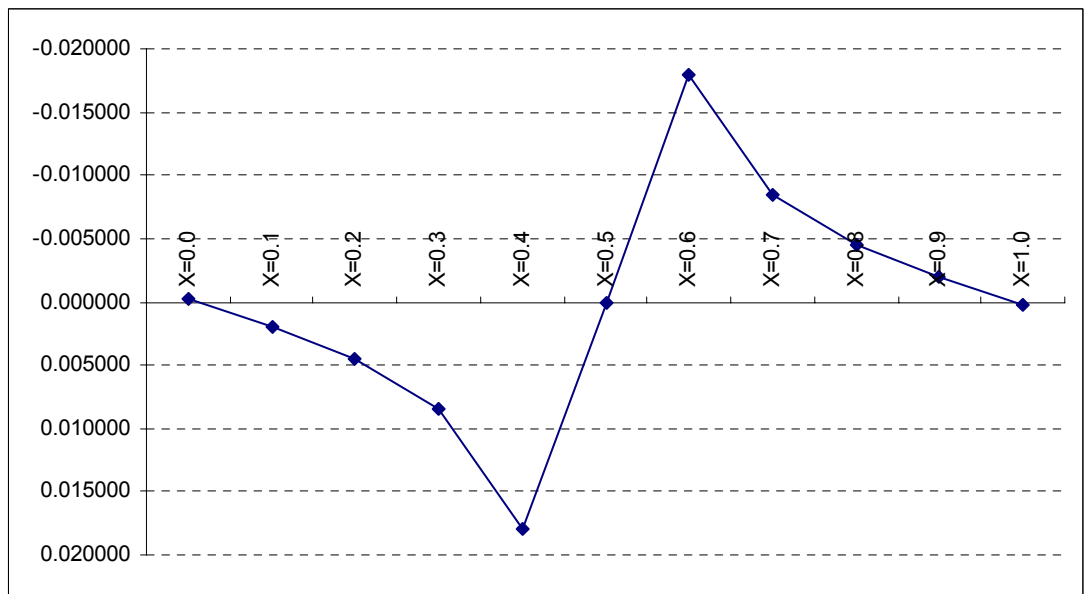
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.000000	0.000034	0.000081	0.000158	0.000179	0.000000	-0.000179	-0.000158	-0.000081	-0.000034	0.000000
Y=0.1	0.000069	0.000146	0.000294	0.000476	0.000520	0.000000	-0.000520	-0.000476	-0.000294	-0.000146	-0.000069
Y=0.2	0.000068	0.000145	0.000311	0.000576	0.000824	0.000000	-0.000824	-0.000576	-0.000311	-0.000145	-0.000068
Y=0.3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Y=0.4	-0.000068	-0.000145	-0.000311	-0.000576	-0.000824	0.000000	0.000824	0.000576	0.000311	0.000145	0.000068
Y=0.5	-0.000069	-0.000146	-0.000294	-0.000476	-0.000520	0.000000	0.000520	0.000476	0.000294	0.000146	0.000069
Y=0.6	0.000000	-0.000034	-0.000081	-0.000158	-0.000179	0.000000	0.000179	0.000158	0.000081	0.000034	0.000000



Şekil A.4 Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x, y eksenı boyunca boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ burulma momentinin alansal değışimi

Tablo A.5 Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvveti

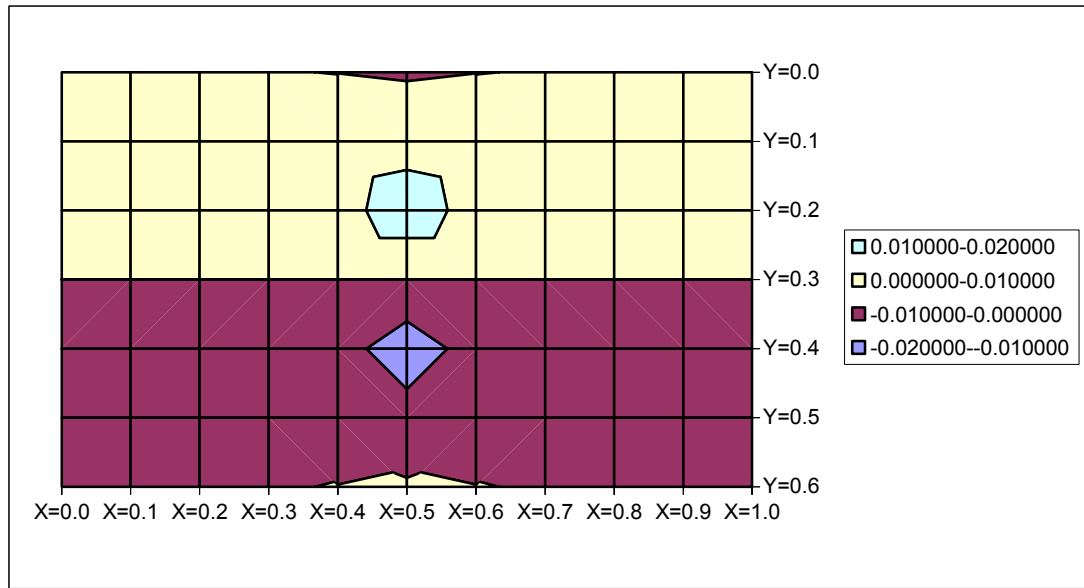
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.000251	0.001485	0.002623	0.003315	0.002740	0.000000	-0.002740	-0.003315	-0.002623	-0.001485	-0.000251
Y=0.1	0.000094	0.001569	0.002925	0.003808	0.003323	0.000000	-0.003323	-0.003808	-0.002925	-0.001569	-0.000094
Y=0.2	-0.000102	0.001777	0.003705	0.005674	0.006745	0.000000	-0.006745	-0.005674	-0.003705	-0.001777	0.000102
Y=0.3	-0.000236	0.001940	0.004447	0.008444	0.017983	0.000000	-0.017983	-0.008444	-0.004447	-0.001940	0.000236
Y=0.4	-0.000102	0.001777	0.003705	0.005674	0.006745	0.000000	-0.006745	-0.005674	-0.003705	-0.001777	0.000102
Y=0.5	0.000094	0.001569	0.002925	0.003808	0.003323	0.000000	-0.003323	-0.003808	-0.002925	-0.001569	-0.000094
Y=0.6	0.000251	0.001485	0.002623	0.003315	0.002740	0.000000	-0.002740	-0.003315	-0.002623	-0.001485	-0.000251



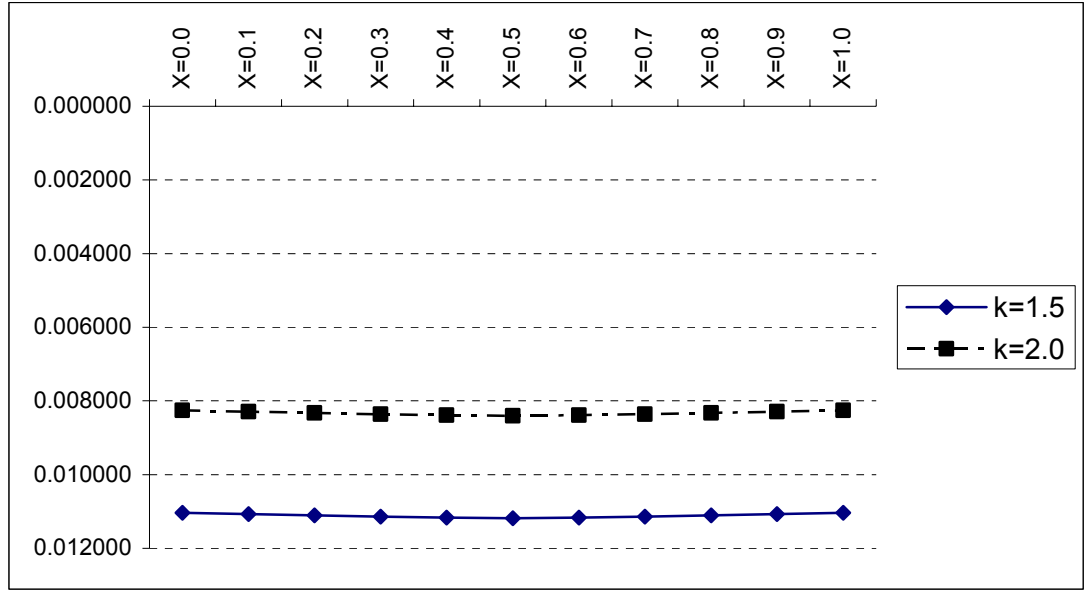
Şekil A.5 Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x eksenı boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvvetinin değışimi

Tablo A.6 Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvveti

	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.000111	0.000057	0.000178	0.000209	-0.000104	-0.000792	-0.000104	0.000209	0.000178	0.000057	0.000111
Y=0.1	0.000397	0.000378	0.000688	0.001459	0.003048	0.005465	0.003048	0.001459	0.000688	0.000378	0.000397
Y=0.2	0.000367	0.000371	0.000738	0.001893	0.005374	0.016553	0.005374	0.001893	0.000738	0.000371	0.000367
Y=0.3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Y=0.4	-0.000367	-0.000371	-0.000738	-0.001893	-0.005374	-0.016553	-0.005374	-0.001893	-0.000738	-0.000371	-0.000367
Y=0.5	-0.000397	-0.000378	-0.000688	-0.001459	-0.003048	-0.005465	-0.003048	-0.001459	-0.000688	-0.000378	-0.000397
Y=0.6	-0.000111	-0.000057	-0.000178	-0.000209	0.000104	0.000792	0.000104	-0.000209	-0.000178	-0.000057	-0.000111



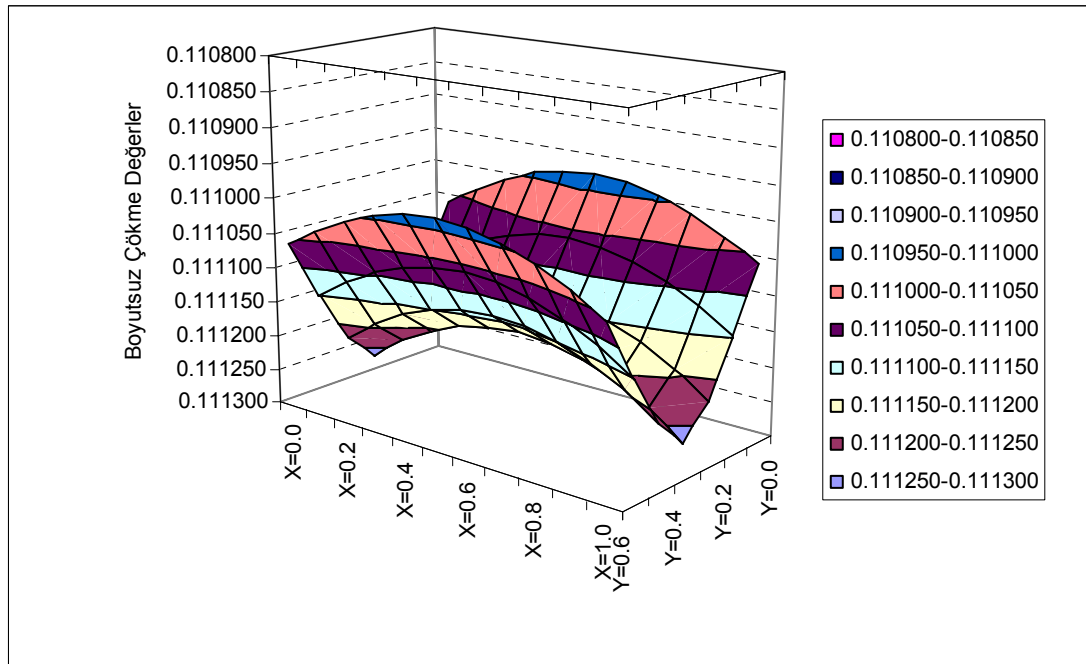
Şekil A.6 Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x, y eksenı boyunca boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvvetinin alansal değışimi



Şekil A.7 Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\bar{k} = 2.0$ değerleri için x eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{W}$ çökme değerinin değişimi

Tablo A.7 Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz çökme değerleri

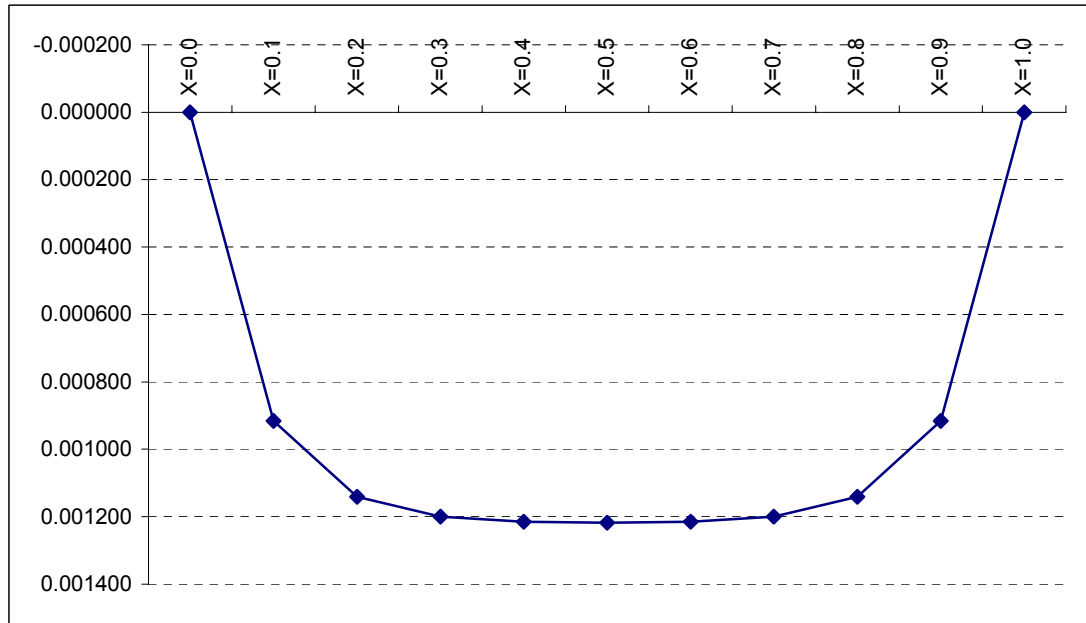
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.111062	0.111034	0.111010	0.110993	0.110983	0.110979	0.110983	0.110993	0.111010	0.111034	0.111062
Y=0.1	0.111148	0.111118	0.111094	0.111076	0.111066	0.111062	0.111066	0.111076	0.111094	0.111118	0.111148
Y=0.2	0.111225	0.111192	0.111167	0.111150	0.111139	0.111136	0.111139	0.111150	0.111167	0.111192	0.111225
Y=0.3	0.111266	0.111231	0.111205	0.111188	0.111177	0.111174	0.111177	0.111188	0.111205	0.111231	0.111266
Y=0.4	0.111225	0.111192	0.111167	0.111150	0.111139	0.111136	0.111139	0.111150	0.111167	0.111192	0.111225
Y=0.5	0.111148	0.111118	0.111094	0.111076	0.111066	0.111062	0.111066	0.111076	0.111094	0.111118	0.111148
Y=0.6	0.111062	0.111034	0.111010	0.110993	0.110983	0.110979	0.110983	0.110993	0.111010	0.111034	0.111062



Şekil A.8 Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz çökme yüzeyi

Tablo A.8 Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{M}_x$ momentini

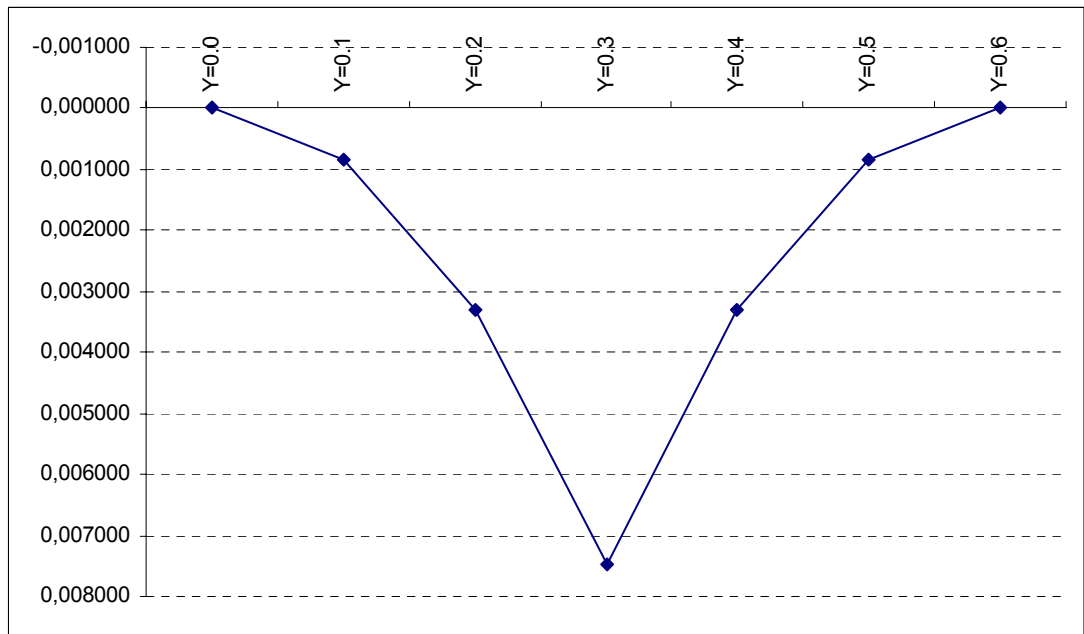
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.000000	-0.000434	-0.000587	-0.000637	-0.000652	-0.000656	-0.000652	-0.000637	-0.000587	-0.000434	0.000000
Y=0.1	0.000000	-0.000319	-0.000415	-0.000441	-0.000447	-0.000448	-0.000447	-0.000441	-0.000415	-0.000319	0.000000
Y=0.2	0.000000	0.000079	0.000142	0.000166	0.000174	0.000176	0.000174	0.000166	0.000142	0.000079	0.000000
Y=0.3	0.000000	0.000916	0.001141	0.001200	0.001215	0.001218	0.001215	0.001200	0.001141	0.000916	0.000000
Y=0.4	0.000000	0.000079	0.000142	0.000166	0.000174	0.000176	0.000174	0.000166	0.000142	0.000079	0.000000
Y=0.5	0.000000	-0.000319	-0.000415	-0.000441	-0.000447	-0.000448	-0.000447	-0.000441	-0.000415	-0.000319	0.000000
Y=0.6	0.000000	-0.000434	-0.000587	-0.000637	-0.000652	-0.000656	-0.000652	-0.000637	-0.000587	-0.000434	0.000000



Şekil A.9 Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_x$ momentinin değişimi

Tablo A.9 Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{M}_y$ momentini

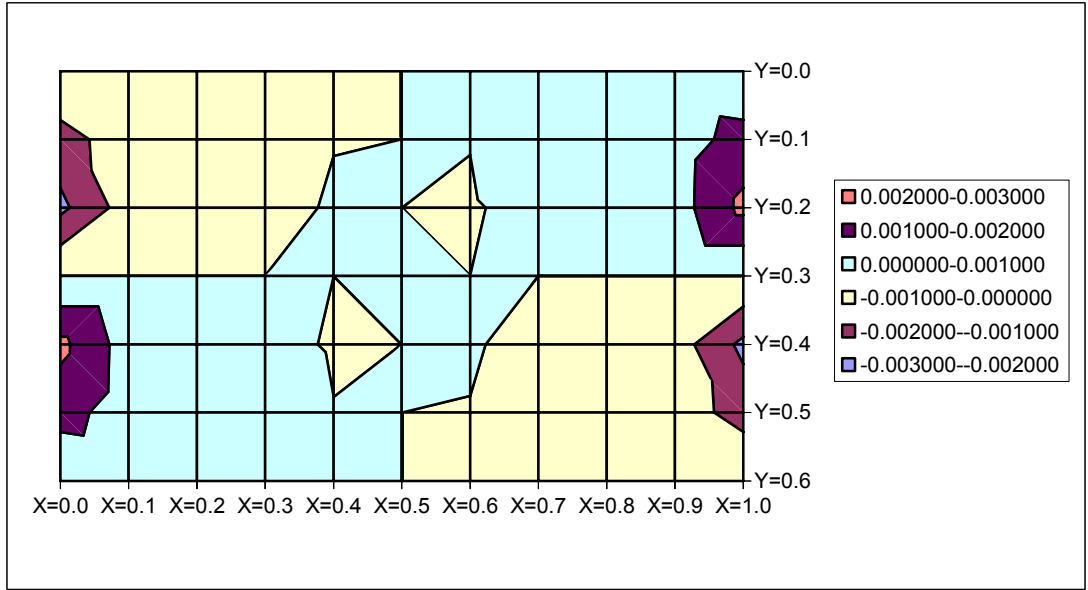
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Y=0.1	0.000779	0.000848	0.000844	0.000835	0.000831	0.000829	0.000831	0.000835	0.000844	0.000848	0.000779
Y=0.2	0.003390	0.003344	0.003322	0.003318	0.003319	0.003319	0.003319	0.003318	0.003322	0.003344	0.003390
Y=0.3	0.007720	0.007480	0.007461	0.007470	0.007477	0.007480	0.007477	0.007470	0.007461	0.007480	0.007720
Y=0.4	0.003390	0.003344	0.003322	0.003318	0.003319	0.003319	0.003319	0.003318	0.003322	0.003344	0.003390
Y=0.5	0.000779	0.000848	0.000844	0.000835	0.000831	0.000829	0.000831	0.000835	0.000844	0.000848	0.000779
Y=0.6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000



Şekil A.10 Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için y eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_y$ momentinin değişimi

Tablo A.10 Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ momentini

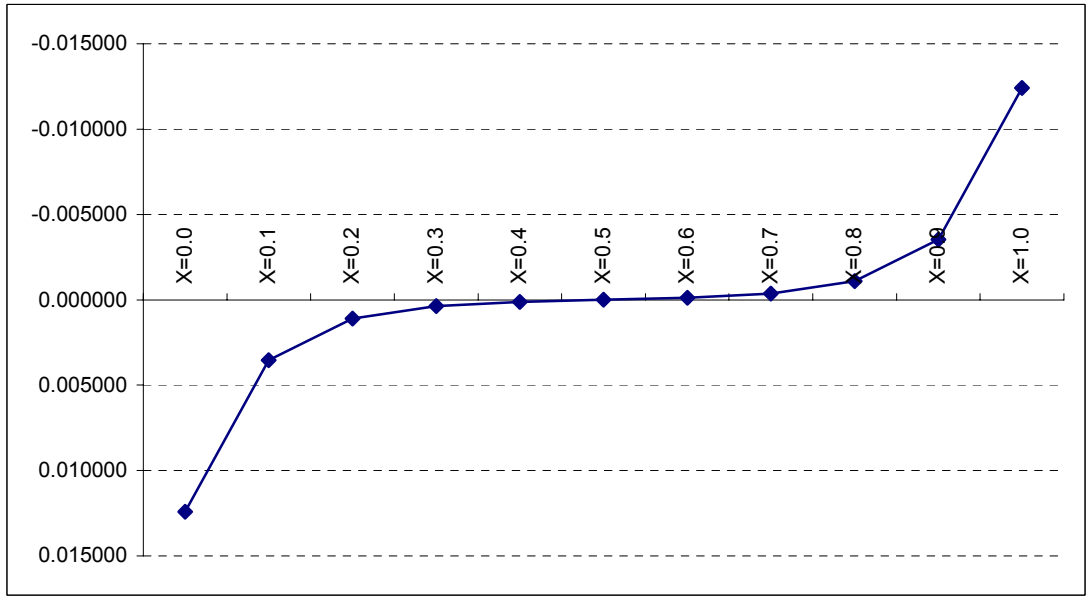
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.000000	-0.000214	-0.000072	-0.000016	-0.000001	0.000000	0.000001	0.000016	0.000072	0.000214	0.000000
Y=0.1	-0.001403	-0.000467	-0.000127	-0.000024	-0.000001	0.000000	0.000001	0.000024	0.000127	0.000467	0.001403
Y=0.2	-0.002245	-0.000519	-0.000103	-0.000011	0.000003	0.000000	-0.000003	0.000011	0.000103	0.000519	0.002245
Y=0.3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Y=0.4	0.002245	0.000519	0.000103	0.000011	-0.000003	0.000000	0.000003	-0.000011	-0.000103	-0.000519	-0.002245
Y=0.5	0.001403	0.000467	0.000127	0.000024	0.000001	0.000000	-0.000001	-0.000024	-0.000127	-0.000467	-0.001403
Y=0.6	0.000000	0.000214	0.000072	0.000016	0.000001	0.000000	-0.000001	-0.000016	-0.000072	-0.000214	0.000000



Şekil A.11 Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x, y eksenini boyunca boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ burulma momentinin alansal değişimi

Tablo A.11 Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvveti

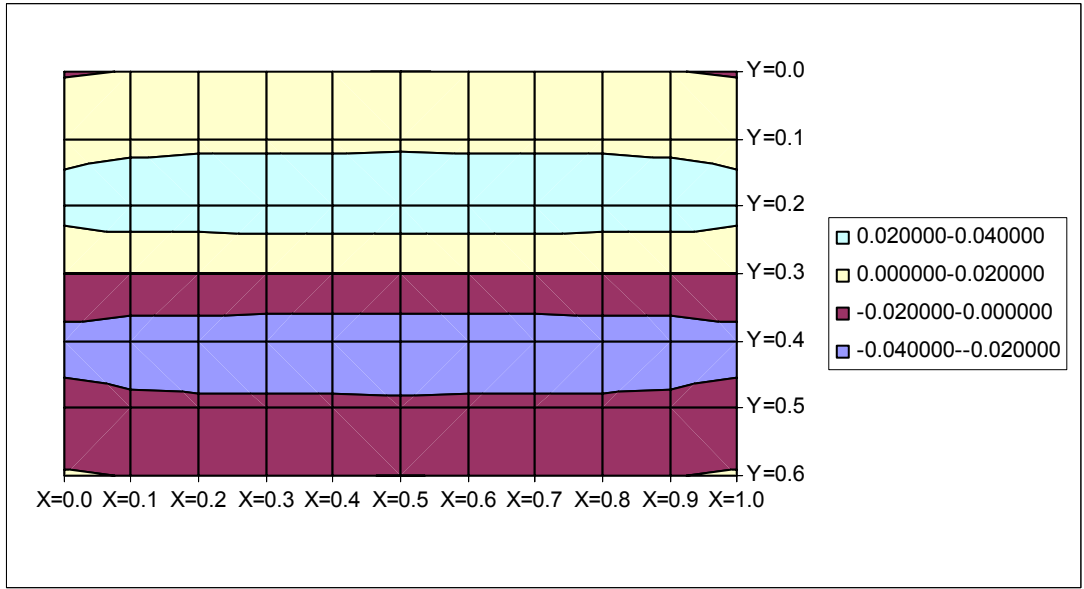
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	-0.003996	-0.002347	-0.000813	-0.000262	-0.000074	0.000000	0.000074	0.000262	0.000813	0.002347	0.003996
Y=0.1	-0.003018	-0.001401	-0.000538	-0.000184	-0.000053	0.000000	0.000053	0.000184	0.000538	0.001401	0.003018
Y=0.2	-0.001193	0.000295	0.000243	0.000116	0.000044	0.000000	-0.000044	-0.000116	-0.000243	-0.000295	0.001193
Y=0.3	0.012418	0.003526	0.001094	0.000360	0.000112	0.000000	-0.000112	-0.000360	-0.001094	-0.003526	-0.012418
Y=0.4	-0.001193	0.000295	0.000243	0.000116	0.000044	0.000000	-0.000044	-0.000116	-0.000243	-0.000295	0.001193
Y=0.5	-0.003018	-0.001401	-0.000538	-0.000184	-0.000053	0.000000	0.000053	0.000184	0.000538	0.001401	0.003018
Y=0.6	-0.003996	-0.002347	-0.000813	-0.000262	-0.000074	0.000000	0.000074	0.000262	0.000813	0.002347	0.003996



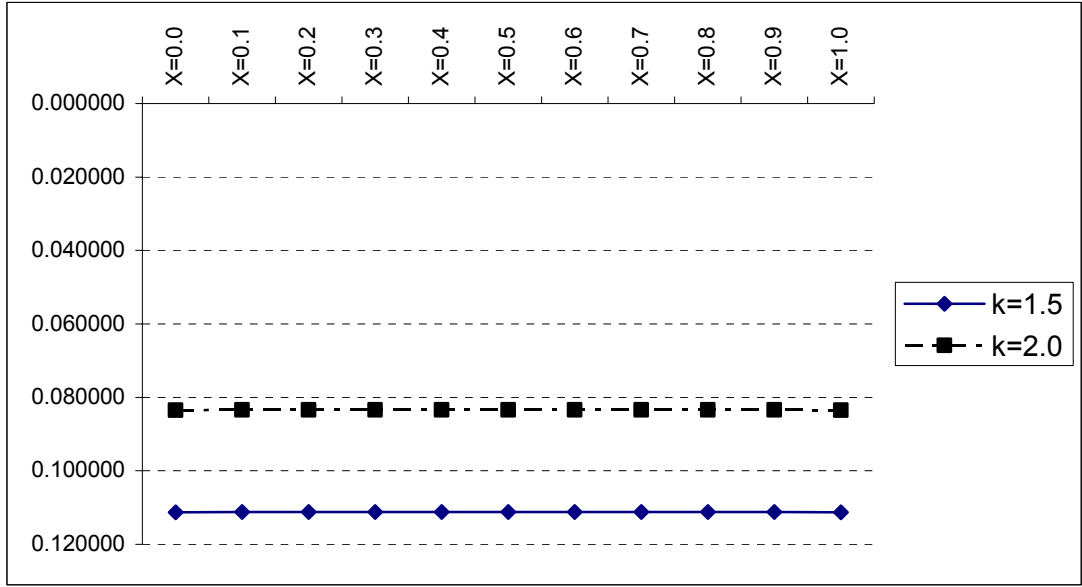
Şekil A.12 Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x ekseninde boyunda orta şeritteki boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvvetinin değişimi

Tablo A.12 Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvveti

	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	-0.001569	0.000498	0.000213	0.000067	0.000009	-0.000005	0.000009	0.000067	0.000213	0.000498	-0.001569
Y=0.1	0.013560	0.015430	0.016203	0.016485	0.016581	0.016603	0.016581	0.016485	0.016203	0.015430	0.013560
Y=0.2	0.027763	0.031469	0.032691	0.033101	0.033235	0.033266	0.033235	0.033101	0.032691	0.031469	0.027763
Y=0.3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Y=0.4	-0.027763	-0.031469	-0.032691	-0.033101	-0.033235	-0.033266	-0.033235	-0.033101	-0.032691	-0.031469	-0.027763
Y=0.5	-0.013560	-0.015430	-0.016203	-0.016485	-0.016581	-0.016603	-0.016581	-0.016485	-0.016203	-0.015430	-0.013560
Y=0.6	0.001569	-0.000498	-0.000213	-0.000067	-0.000009	0.000005	-0.000009	-0.000067	-0.000213	-0.000498	0.001569



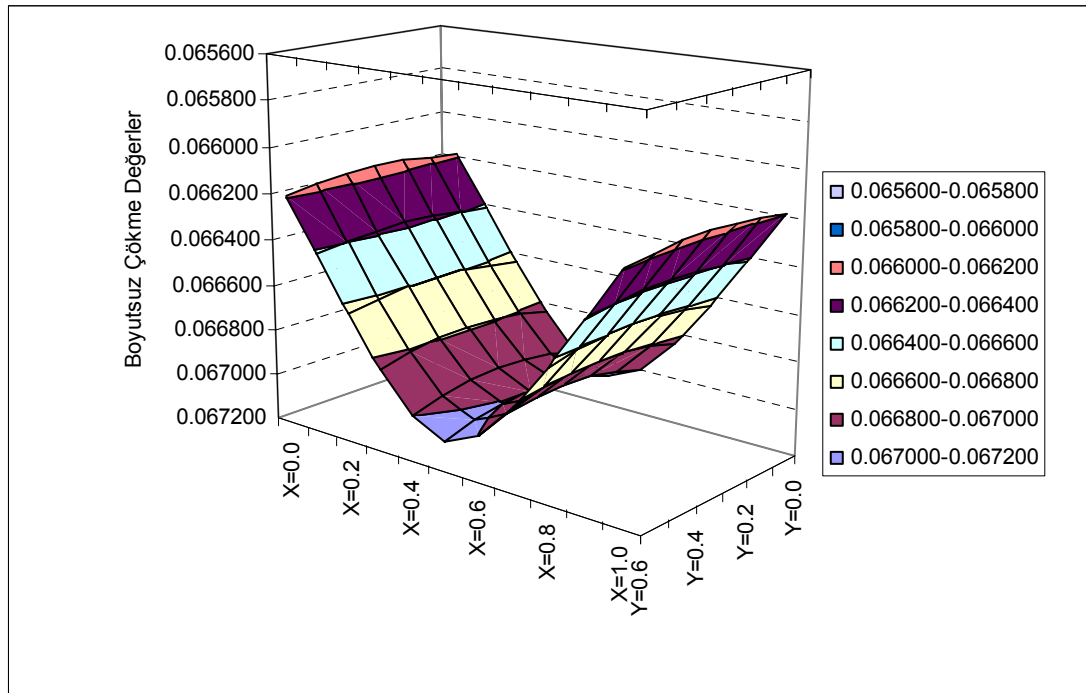
Şekil A.13 Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x, y eksenii boyunca boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvvetinin alansal değişimi



Şekil A.14 Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\bar{k} = 2.0$ değerleri için x eksenı boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{W}$ çökme değerının değışimi

Tablo A.13 Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz çökme değerleri

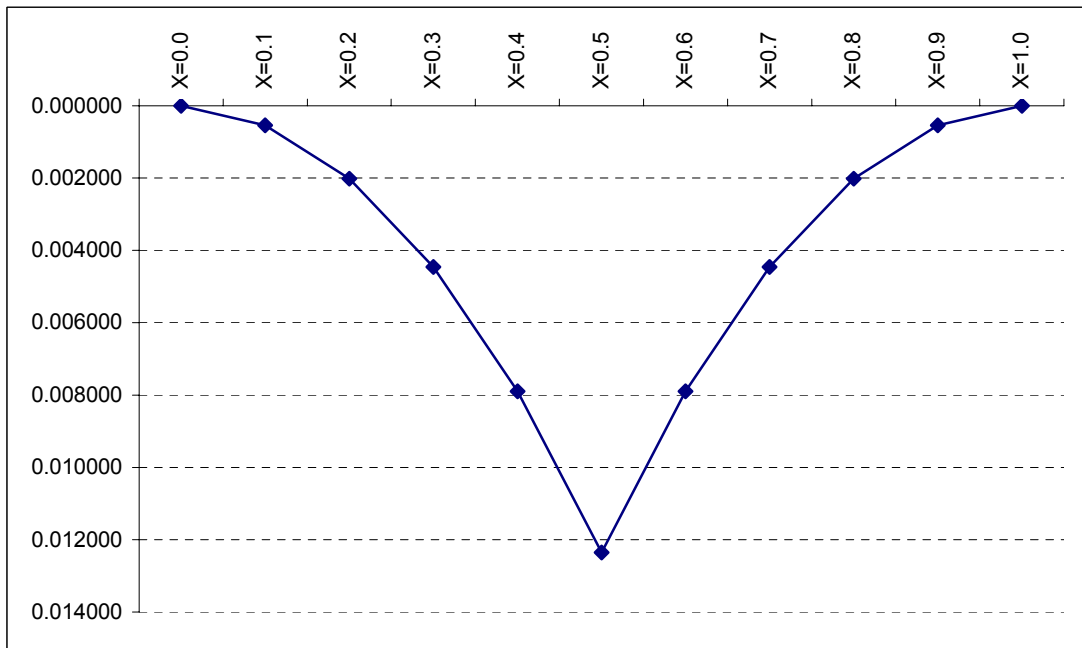
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.066189	0.066417	0.066640	0.066844	0.066999	0.067067	0.066999	0.066844	0.066640	0.066417	0.066189
Y=0.1	0.066172	0.066397	0.066616	0.066813	0.066962	0.067026	0.066962	0.066813	0.066616	0.066397	0.066172
Y=0.2	0.066160	0.066384	0.066601	0.066795	0.066941	0.067005	0.066941	0.066795	0.066601	0.066384	0.066160
Y=0.3	0.066155	0.066379	0.066595	0.066789	0.066934	0.066998	0.066934	0.066789	0.066595	0.066379	0.066155
Y=0.4	0.066160	0.066384	0.066601	0.066795	0.066941	0.067005	0.066941	0.066795	0.066601	0.066384	0.066160
Y=0.5	0.066172	0.066397	0.066616	0.066813	0.066962	0.067026	0.066962	0.066813	0.066616	0.066397	0.066172
Y=0.6	0.066189	0.066417	0.066640	0.066844	0.066999	0.067067	0.066999	0.066844	0.066640	0.066417	0.066189



Şekil A.15 Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz çökme yüzeyi

Tablo A.14 Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{M}_x$ momenti

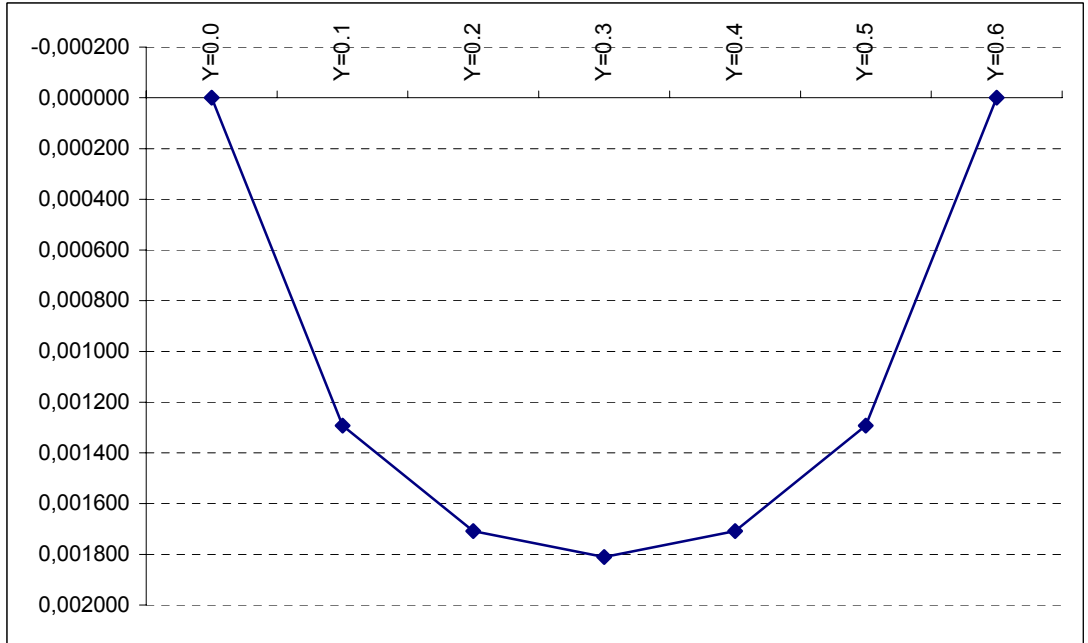
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.000000	0.000374	0.001897	0.004493	0.008151	0.012826	0.008151	0.004493	0.001897	0.000374	0.000000
Y=0.1	0.000000	0.000499	0.001993	0.004492	0.007986	0.012452	0.007986	0.004492	0.001993	0.000499	0.000000
Y=0.2	0.000000	0.000533	0.002015	0.004470	0.007912	0.012369	0.007912	0.004470	0.002015	0.000533	0.000000
Y=0.3	0.000000	0.000539	0.002018	0.004461	0.007894	0.012354	0.007894	0.004461	0.002018	0.000539	0.000000
Y=0.4	0.000000	0.000533	0.002015	0.004470	0.007912	0.012369	0.007912	0.004470	0.002015	0.000533	0.000000
Y=0.5	0.000000	0.000499	0.001993	0.004492	0.007986	0.012452	0.007986	0.004492	0.001993	0.000499	0.000000
Y=0.6	0.000000	0.000374	0.001897	0.004493	0.008151	0.012826	0.008151	0.004493	0.001897	0.000374	0.000000



Şekil A.16 Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x ekseninde boyunda orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_x$ momentinin değişimi

Tablo A.15 Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{M}_y$ momenti

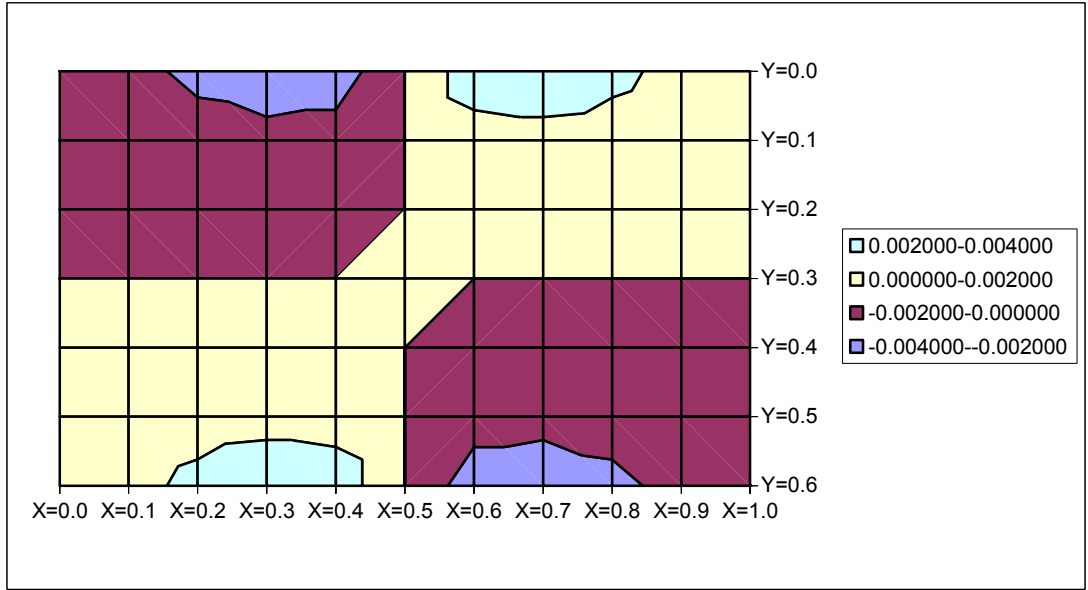
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Y=0.1	-0.000499	-0.000459	-0.000319	-0.000048	0.000430	0.001292	0.000430	-0.000048	-0.000319	-0.000459	-0.000499
Y=0.2	-0.000735	-0.000677	-0.000450	-0.000023	0.000667	0.001708	0.000667	-0.000023	-0.000450	-0.000677	-0.000735
Y=0.3	-0.000805	-0.000741	-0.000485	-0.000010	0.000736	0.001810	0.000736	-0.000010	-0.000485	-0.000741	-0.000805
Y=0.4	-0.000735	-0.000677	-0.000450	-0.000023	0.000667	0.001708	0.000667	-0.000023	-0.000450	-0.000677	-0.000735
Y=0.5	-0.000499	-0.000459	-0.000319	-0.000048	0.000430	0.001292	0.000430	-0.000048	-0.000319	-0.000459	-0.000499
Y=0.6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000



Şekil A.17 Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için y eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_y$ momentinin değişimi

Tablo A.16 Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ momentini

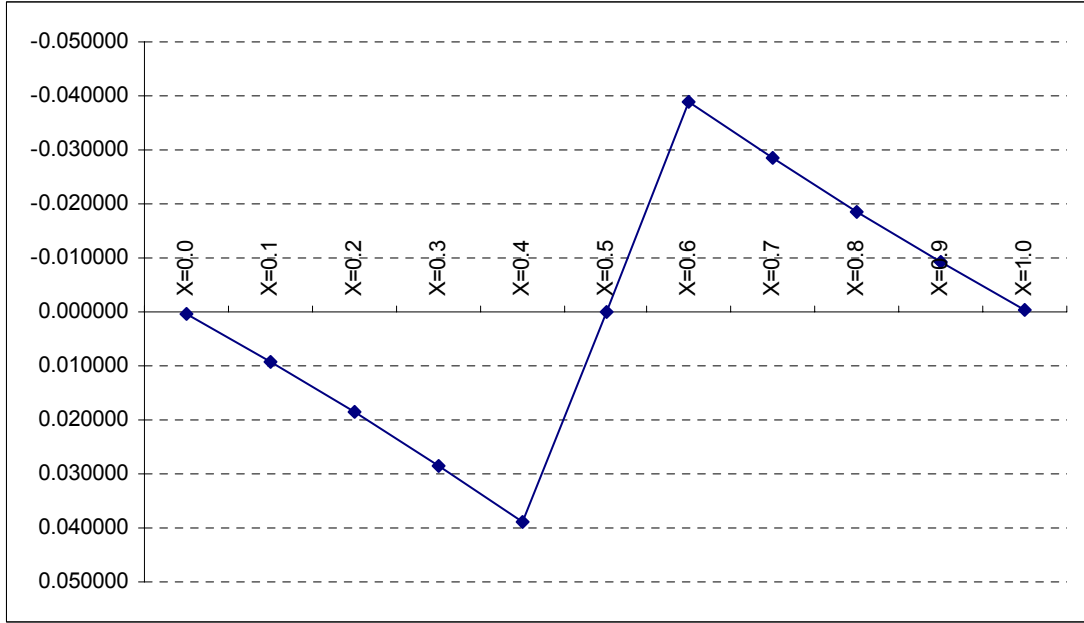
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.000000	-0.001384	-0.002492	-0.003220	-0.003217	0.000000	0.003217	0.003220	0.002492	0.001384	0.000000
Y=0.1	-0.000341	-0.000751	-0.001198	-0.001369	-0.001031	0.000000	0.001031	0.001369	0.001198	0.000751	0.000341
Y=0.2	-0.000172	-0.000322	-0.000464	-0.000484	-0.000317	0.000000	0.000317	0.000484	0.000464	0.000322	0.000172
Y=0.3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Y=0.4	0.000172	0.000322	0.000464	0.000484	0.000317	0.000000	-0.000317	-0.000484	-0.000464	-0.000322	-0.000172
Y=0.5	0.000341	0.000751	0.001198	0.001369	0.001031	0.000000	-0.001031	-0.001369	-0.001198	-0.000751	-0.000341
Y=0.6	0.000000	0.001384	0.002492	0.003220	0.003217	0.000000	-0.003217	-0.003220	-0.002492	-0.001384	0.000000



Şekil A.18 Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x, y eksenini boyunca boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ burulma momentinin alansal değişimi

Tablo A.17 Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvveti

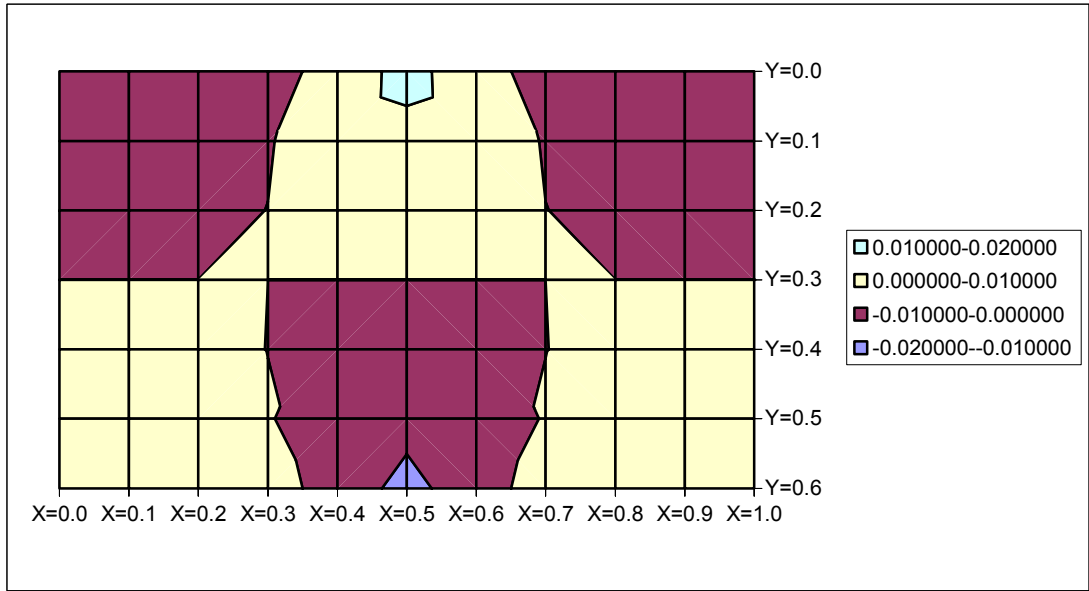
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	-0.002110	0.007586	0.016475	0.025017	0.033332	0.000000	-0.033332	-0.025017	-0.016475	-0.007586	0.002110
Y=0.1	0.000407	0.008695	0.017617	0.026966	0.037201	0.000000	-0.037201	-0.026966	-0.017617	-0.008695	-0.000407
Y=0.2	0.000436	0.009203	0.018363	0.028054	0.038524	0.000000	-0.038524	-0.028054	-0.018363	-0.009203	-0.000436
Y=0.3	0.000424	0.009351	0.018608	0.028387	0.038855	0.000000	-0.038855	-0.028387	-0.018608	-0.009351	-0.000424
Y=0.4	0.000436	0.009203	0.018363	0.028054	0.038524	0.000000	-0.038524	-0.028054	-0.018363	-0.009203	-0.000436
Y=0.5	0.000407	0.008695	0.017617	0.026966	0.037201	0.000000	-0.037201	-0.026966	-0.017617	-0.008695	-0.000407
Y=0.6	-0.002110	0.007586	0.016475	0.025017	0.033332	0.000000	-0.033332	-0.025017	-0.016475	-0.007586	0.002110



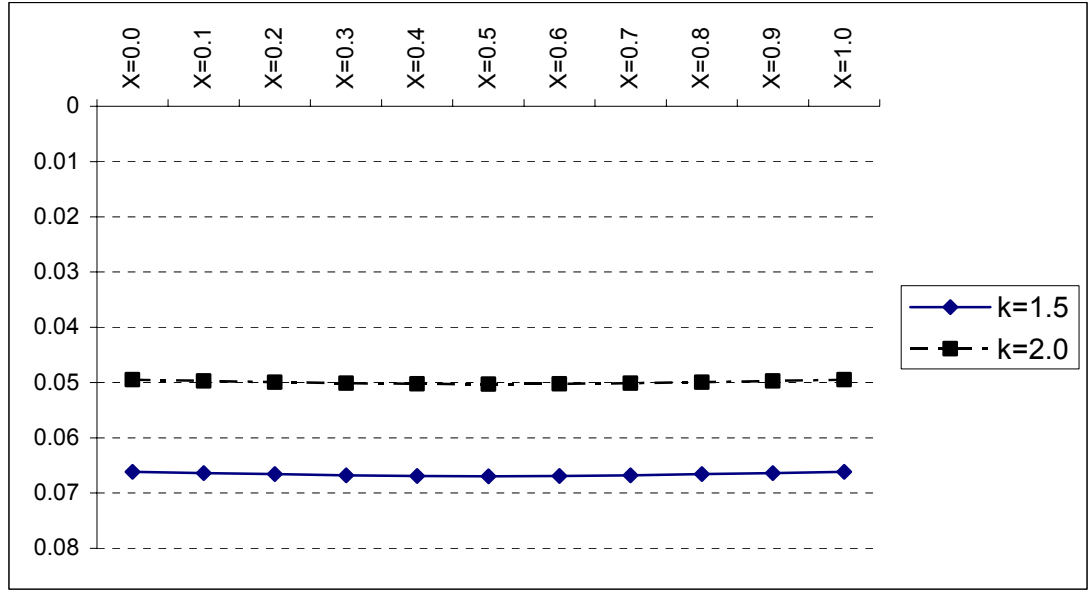
Şekil A.19 Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x ekseninde boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvvetinin değişimi

Tablo A.18 Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvveti

	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	-0.003857	-0.003062	-0.002482	-0.001155	0.001166	0.014922	0.001166	-0.001155	-0.002482	-0.003062	-0.003857
Y=0.1	-0.002942	-0.002073	-0.001325	-0.000184	0.001712	0.005008	0.001712	-0.000184	-0.001325	-0.002073	-0.002942
Y=0.2	-0.001222	-0.000965	-0.000565	0.000027	0.000855	0.001680	0.000855	0.000027	-0.000565	-0.000965	-0.001222
Y=0.3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Y=0.4	0.001222	0.000965	0.000565	-0.000027	-0.000855	-0.001680	-0.000855	-0.000027	0.000565	0.000965	0.001222
Y=0.5	0.002942	0.002073	0.001325	0.000184	-0.001712	-0.005008	-0.001712	0.000184	0.001325	0.002073	0.002942
Y=0.6	0.003857	0.003062	0.002482	0.001155	-0.001166	-0.014922	-0.001166	0.001155	0.002482	0.003062	0.003857



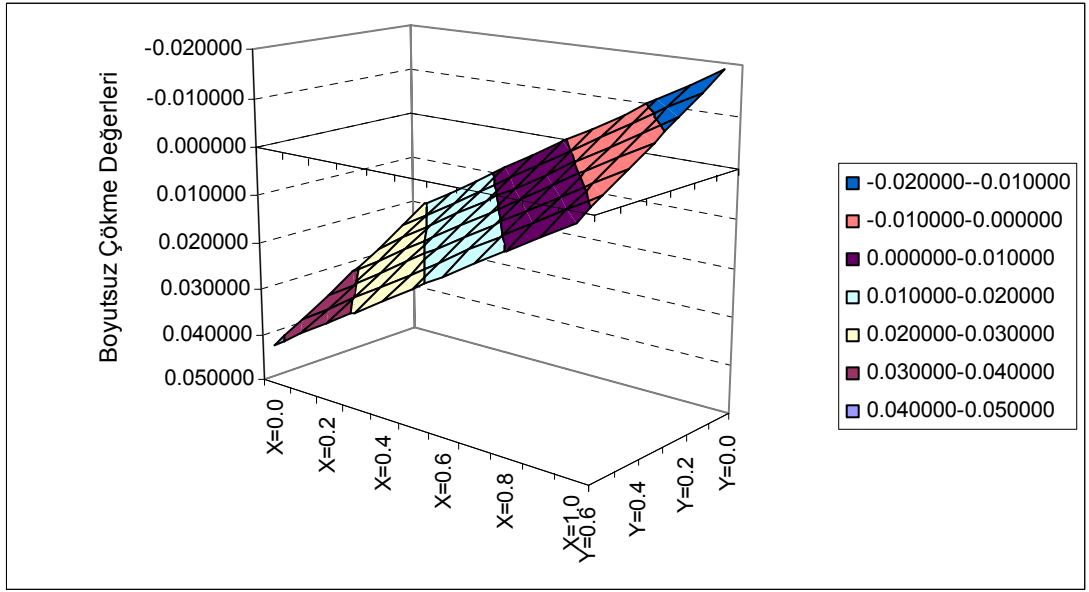
Şekil A.20 Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x, y eksenine boyunca boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvvetinin alansal değişimi



Şekil A.21 Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\bar{k} = 2.0$ değerleri için x eksenı boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{W}$ çökme değerının değışimi

Tablo A.19 Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz çökme değerleri

	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.020139	0.016223	0.012308	0.008394	0.004481	0.000571	-0.003337	-0.007243	-0.011147	-0.015052	-0.018958
Y=0.1	0.023671	0.019754	0.015836	0.011917	0.007999	0.004083	0.000171	-0.003739	-0.007648	-0.011555	-0.015462
Y=0.2	0.027204	0.023286	0.019366	0.015442	0.011517	0.007595	0.003677	-0.000238	-0.004149	-0.008059	-0.011968
Y=0.3	0.030737	0.026818	0.022896	0.018966	0.015034	0.011105	0.007181	0.003263	-0.000652	-0.004564	-0.008476
Y=0.4	0.034265	0.030345	0.026424	0.022486	0.018547	0.014612	0.010684	0.006761	0.002844	-0.001071	-0.004985
Y=0.5	0.037783	0.033860	0.029933	0.025995	0.022054	0.018116	0.014184	0.010259	0.006338	0.002422	-0.001493
Y=0.6	0.041295	0.037370	0.033441	0.029501	0.025559	0.021618	0.017683	0.013755	0.009833	0.005915	0.001999

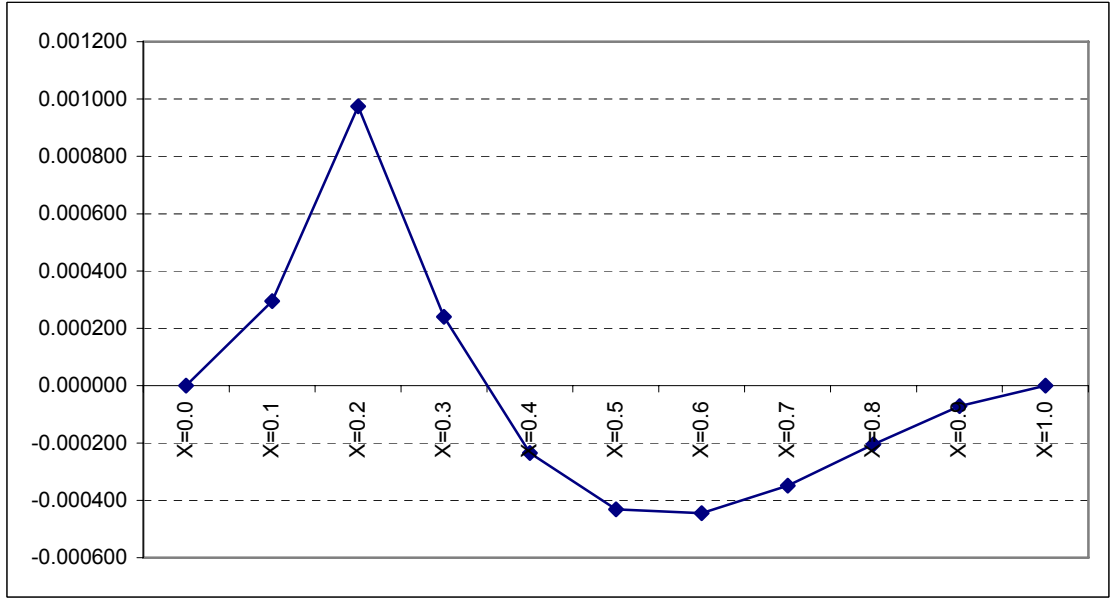


Şekil A.22 Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz çökme yüzeyi

*Kare içine alınmış hücre tekil yükün etkidiği düğüm noktasını göstermektedir

Tablo A.20 Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{M}_x$ momenti

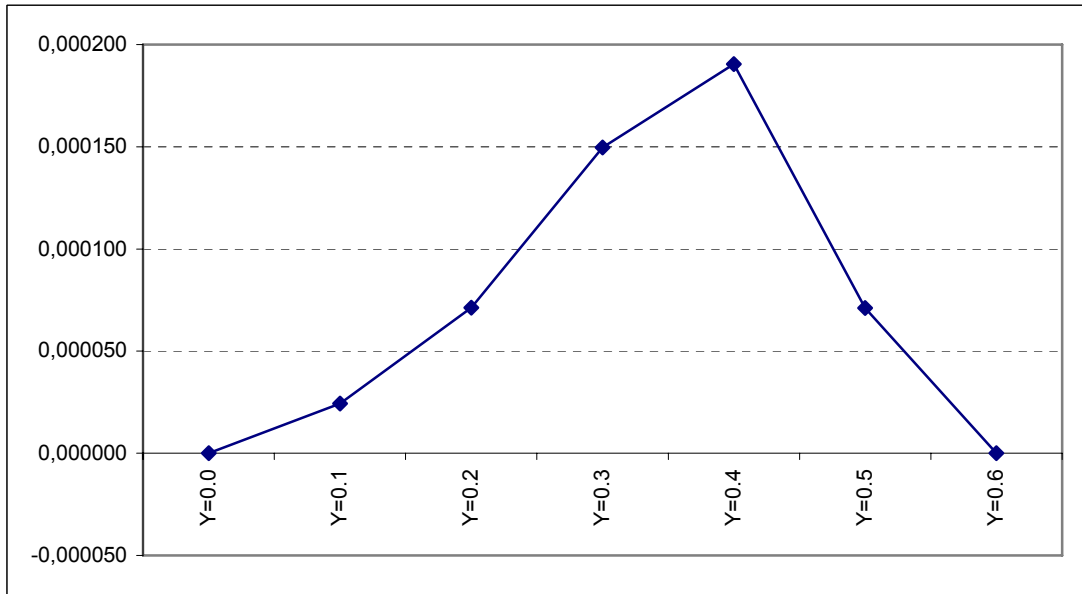
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.000000	-0.000094	-0.000079	-0.000140	-0.000221	-0.000250	-0.000200	-0.000089	0.000036	0.000105	0.000000
Y=0.1	0.000000	-0.000003	0.000052	-0.000065	-0.000210	-0.000281	-0.000255	-0.000157	-0.000037	0.000039	0.000000
Y=0.2	0.000000	0.000130	0.000346	0.000068	-0.000209	-0.000343	-0.000341	-0.000248	-0.000120	-0.000017	0.000000
Y=0.3	0.000000	0.000295	0.000974	0.000240	-0.000235	-0.000432	-0.000445	-0.000349	-0.000205	-0.000071	0.000000
Y=0.4	0.000000	0.000376	0.002218	0.000327	-0.000293	-0.000517	-0.000538	-0.000441	-0.000284	-0.000120	0.000000
Y=0.5	0.000000	0.000419	0.001187	0.000358	-0.000243	-0.000530	-0.000591	-0.000509	-0.000348	-0.000164	0.000000
Y=0.6	0.000000	0.000426	0.000881	0.000346	-0.000214	-0.000533	-0.000624	-0.000555	-0.000396	-0.000202	0.000000



Şekil A.23 Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x eksenı boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_x$ momentinin değışimi

Tablo A.21 Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{M}_y$ momenti

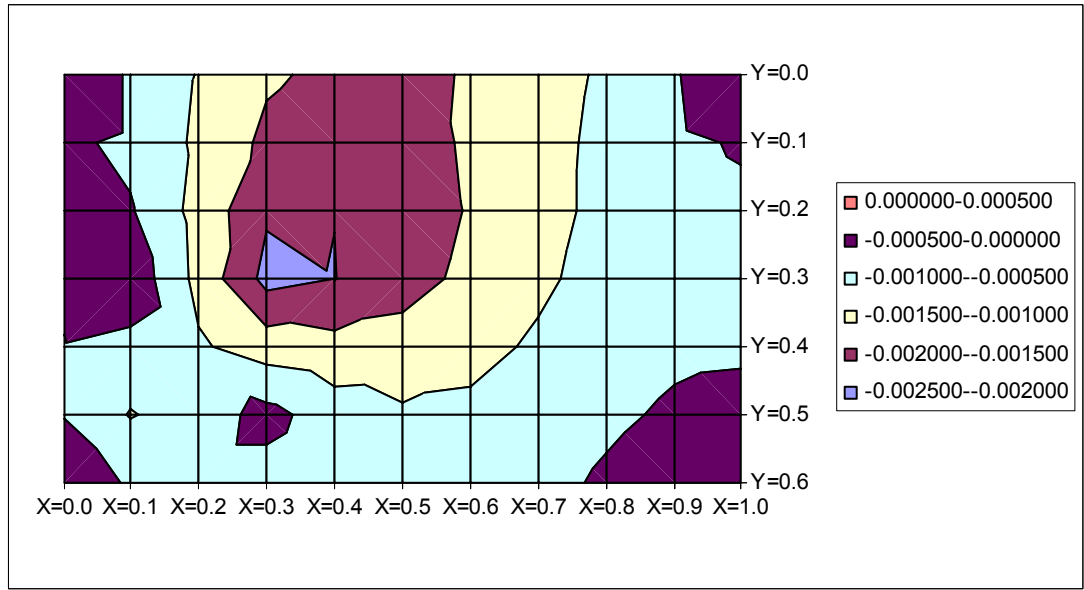
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Y=0.1	-0.000143	-0.000131	-0.000134	-0.000077	-0.000018	0.000024	0.000054	0.000079	0.000103	0.000130	0.000166
Y=0.2	0.000034	0.000023	-0.000021	0.000038	0.000066	0.000071	0.000077	0.000091	0.000114	0.000141	0.000167
Y=0.3	0.000497	0.000529	0.000512	0.000436	0.000274	0.000150	0.000085	0.000064	0.000070	0.000085	0.000093
Y=0.4	0.000963	0.001286	0.002331	0.001098	0.000479	0.000190	0.000063	0.000016	0.000008	0.000010	0.000000
Y=0.5	0.000458	0.000463	0.000429	0.000355	0.000196	0.000071	0.000001	-0.000027	-0.000033	-0.000034	-0.000055
Y=0.6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000



Şekil A.24 Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için y eksenı boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_y$ momentinin değışimi

Tablo A.22 Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ momenti

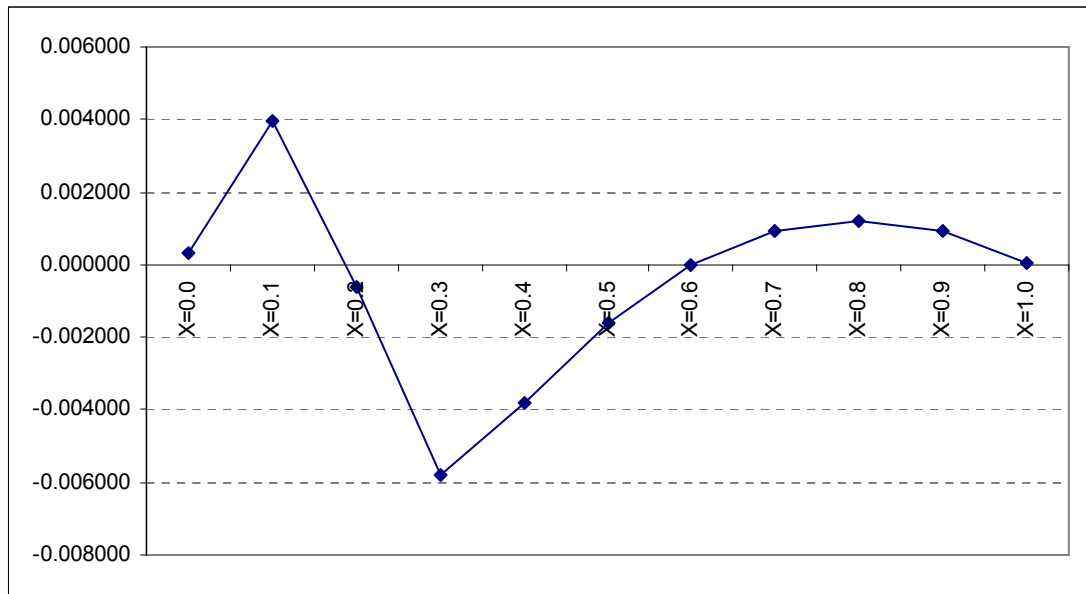
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.000000	-0.000570	-0.001039	-0.001433	-0.001615	-0.001607	-0.001466	-0.001230	-0.000923	-0.000562	0.000000
Y=0.1	-0.000416	-0.000584	-0.001103	-0.001607	-0.001762	-0.001670	-0.001452	-0.001178	-0.000885	-0.000612	-0.000453
Y=0.2	-0.000489	-0.000468	-0.001183	-0.001932	-0.001995	-0.001772	-0.001468	-0.001159	-0.000880	-0.000673	-0.000609
Y=0.3	-0.000413	-0.000172	-0.001143	-0.002165	-0.002010	-0.001697	-0.001380	-0.001085	-0.000836	-0.000669	-0.000646
Y=0.4	-0.000519	-0.000640	-0.000939	-0.001237	-0.001358	-0.001304	-0.001141	-0.000931	-0.000728	-0.000583	-0.000562
Y=0.5	-0.000541	-0.001031	-0.000725	-0.000357	-0.000751	-0.000935	-0.000904	-0.000760	-0.000584	-0.000433	-0.000370
Y=0.6	0.000000	-0.000595	-0.000667	-0.000675	-0.000877	-0.000931	-0.000825	-0.000638	-0.000439	-0.000267	0.000000



Şekil A.25 Ezantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x, y eksenı boyunca boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ burulma momentının alansal değışimi

Tablo A.23 Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvveti

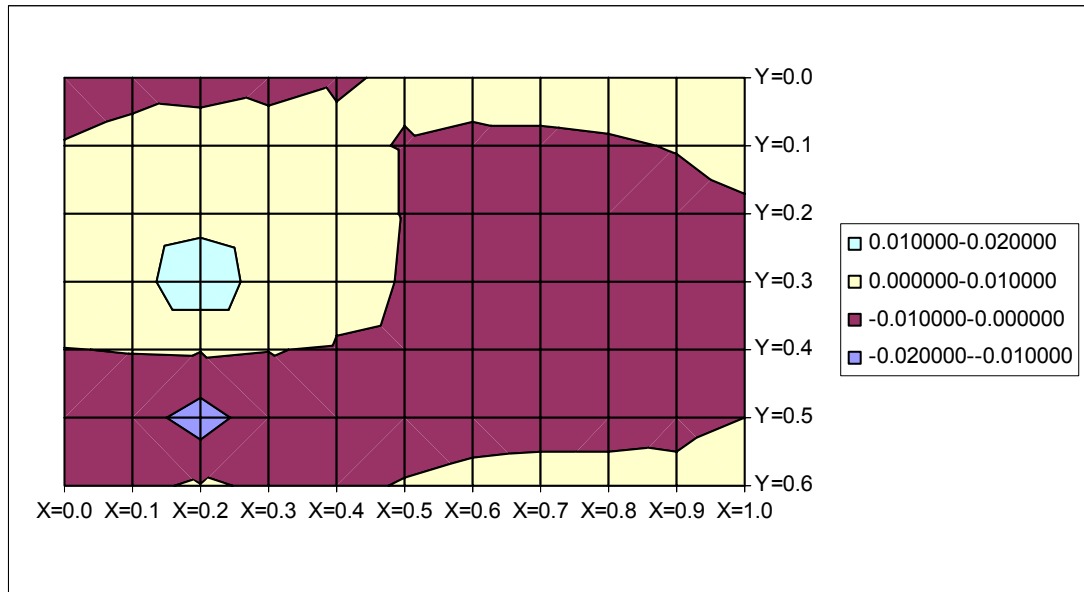
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	-0.001656	-0.000317	-0.000181	-0.000568	-0.000442	0.000086	0.000646	0.000945	0.000774	-0.000146	-0.001732
Y=0.1	-0.000424	0.000246	-0.000030	-0.000586	-0.000462	0.000110	0.000718	0.001068	0.000987	0.000397	-0.000531
Y=0.2	0.000057	0.001166	-0.000185	-0.001872	-0.001516	-0.000488	0.000461	0.001035	0.001124	0.000692	-0.000249
Y=0.3	0.000326	0.003958	-0.000594	-0.005790	-0.003830	-0.001596	-0.000010	0.000902	0.001196	0.000911	0.000063
Y=0.4	-0.000860	0.014343	-0.000946	-0.017451	-0.007007	-0.002645	-0.000394	0.000798	0.001259	0.001106	0.000359
Y=0.5	0.000750	0.004634	-0.000674	-0.006652	-0.004689	-0.002173	-0.000307	0.000835	0.001350	0.001307	0.000600
Y=0.6	0.001956	0.003526	-0.000323	-0.004381	-0.003516	-0.001640	-0.000087	0.000912	0.001412	0.001584	0.001249



Şekil A.26 Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x eksenı boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvvetinin değışimi

Tablo A.24 Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvveti

	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	-0.001753	-0.001099	-0.001242	-0.000732	-0.000178	0.000219	0.000489	0.000689	0.000849	0.000955	0.001854
Y=0.1	0.000135	0.000989	0.001618	0.000985	0.000314	-0.000088	-0.000260	-0.000273	-0.000169	0.000077	0.000669
Y=0.2	0.002558	0.003831	0.006271	0.003267	0.001067	-0.000101	-0.000639	-0.000828	-0.000806	-0.000620	-0.000292
Y=0.3	0.003716	0.006036	0.016893	0.005275	0.001314	-0.000216	-0.000842	-0.001070	-0.001080	-0.000936	-0.000667
Y=0.4	-0.000156	0.000233	0.000520	0.000152	-0.000342	-0.000708	-0.000919	-0.001005	-0.000985	-0.000851	-0.000589
Y=0.5	-0.003851	-0.004943	-0.014669	-0.004319	-0.001599	-0.000829	-0.000594	-0.000522	-0.000480	-0.000369	-0.000002
Y=0.6	-0.002019	-0.000955	0.000593	-0.000632	-0.000381	0.000112	0.000417	0.000516	0.000481	0.000380	0.000954



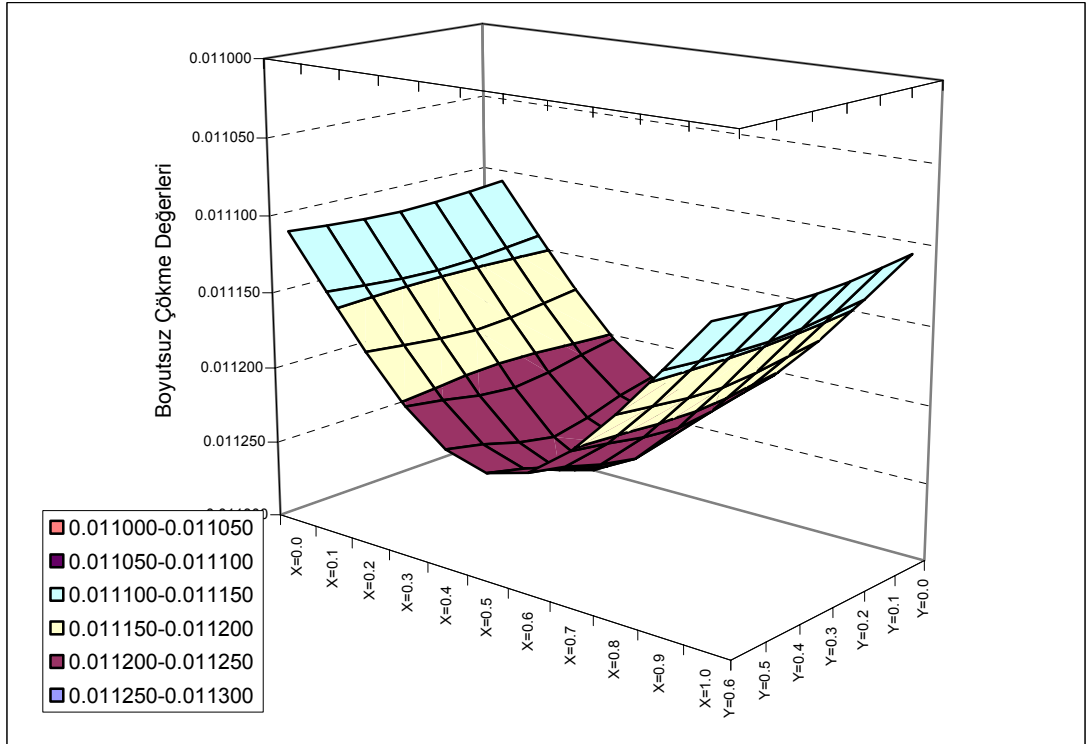
Şekil A.27 Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ için x, y eksenı boyunca boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvvetının alansal değışimi

EK B

DİNAMİK HARMONİK YÜK HALİNE AİT GRAFİKLER

Tablo B.1 Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\frac{\Omega^2}{\omega_n^2} = 0.10$ için boyutsuz çökme değerleri

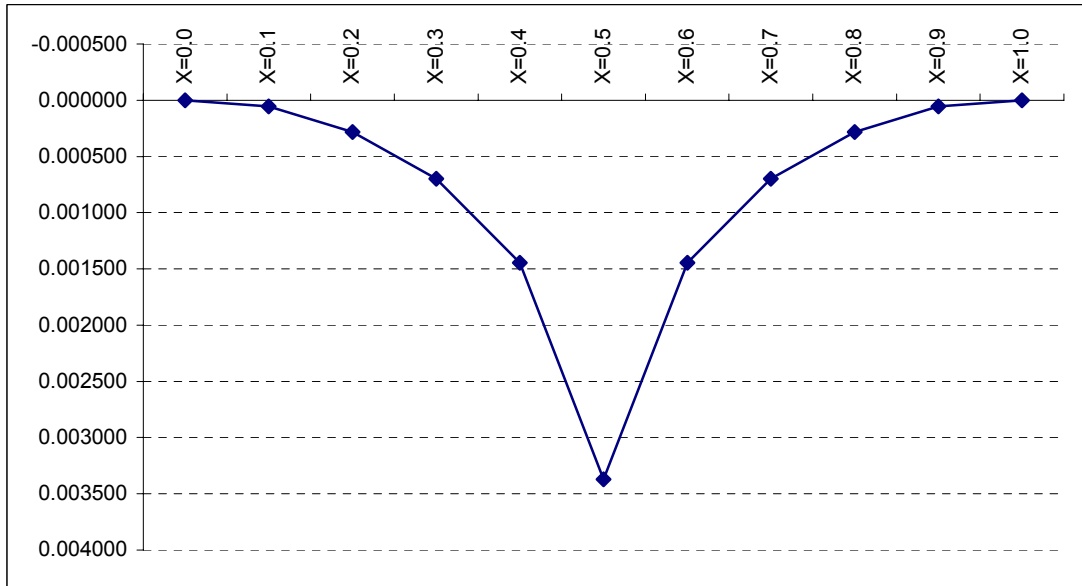
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.011107	0.011141	0.011174	0.011203	0.011223	0.011231	0.011223	0.011203	0.011174	0.011141	0.011107
Y=0.1	0.011110	0.011144	0.011177	0.011206	0.011228	0.011237	0.011228	0.011206	0.011177	0.011144	0.011110
Y=0.2	0.011111	0.011146	0.011180	0.011211	0.011235	0.011246	0.011235	0.011211	0.011180	0.011146	0.011111
Y=0.3	0.011112	0.011147	0.011181	0.011214	0.011240	0.011255	0.011240	0.011214	0.011181	0.011147	0.011112
Y=0.4	0.011111	0.011146	0.011180	0.011211	0.011235	0.011246	0.011235	0.011211	0.011180	0.011146	0.011111
Y=0.5	0.011110	0.011144	0.011177	0.011206	0.011228	0.011237	0.011228	0.011206	0.011177	0.011144	0.011110
Y=0.6	0.011107	0.011141	0.011174	0.011203	0.011223	0.011231	0.011223	0.011203	0.011174	0.011141	0.011107



Şekil B.1 Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\frac{\Omega^2}{\omega_n^2} = 0.10$ için boyutsuz çökme yüzeyi

Tablo B.2 Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\frac{\Omega^2}{\omega_n^2} = 0.10$ için boyutsuz $\bar{M}_x$ momenti

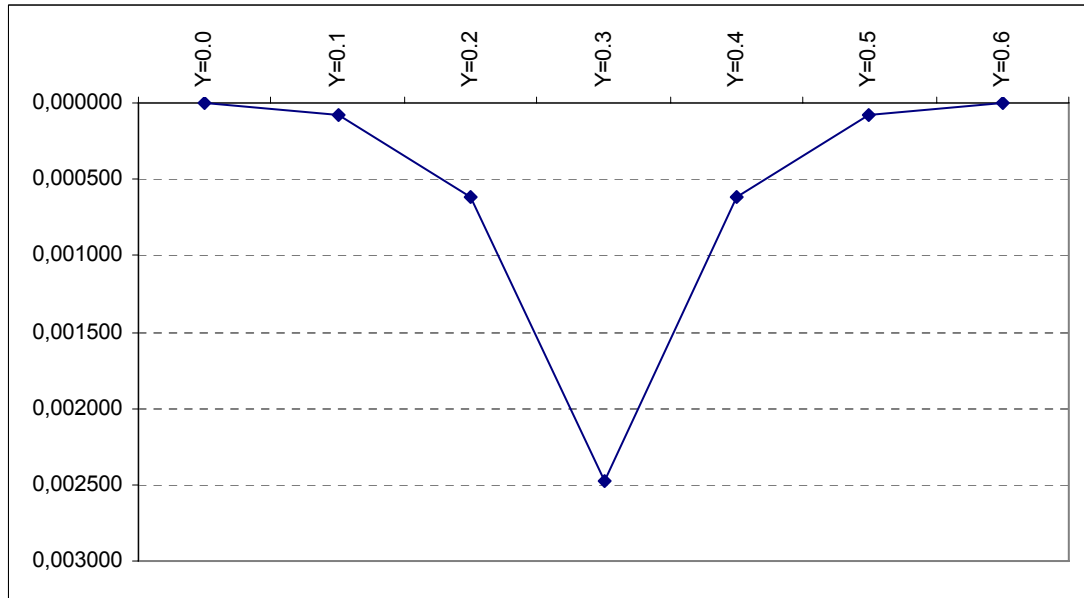
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.000000	0.000109	0.000371	0.000765	0.001200	0.001450	0.001200	0.000765	0.000371	0.000109	0.000000
Y=0.1	0.000000	0.000095	0.000352	0.000762	0.001266	0.001631	0.001266	0.000762	0.000352	0.000095	0.000000
Y=0.2	0.000000	0.000071	0.000316	0.000747	0.001400	0.002196	0.001400	0.000747	0.000316	0.000071	0.000000
Y=0.3	0.000000	0.000055	0.000283	0.000698	0.001446	0.003371	0.001446	0.000698	0.000283	0.000055	0.000000
Y=0.4	0.000000	0.000071	0.000316	0.000747	0.001400	0.002196	0.001400	0.000747	0.000316	0.000071	0.000000
Y=0.5	0.000000	0.000095	0.000352	0.000762	0.001266	0.001631	0.001266	0.000762	0.000352	0.000095	0.000000
Y=0.6	0.000000	0.000109	0.000371	0.000765	0.001200	0.001450	0.001200	0.000765	0.000371	0.000109	0.000000



Şekil B.2 Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\frac{\Omega^2}{\omega_n^2} = 0.10$ için x eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_x$ momentinin değişimi

Tablo B.3 Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\frac{\Omega^2}{\omega_n^2} = 0.10$ için boyutsuz $\bar{M}_y$ momenti

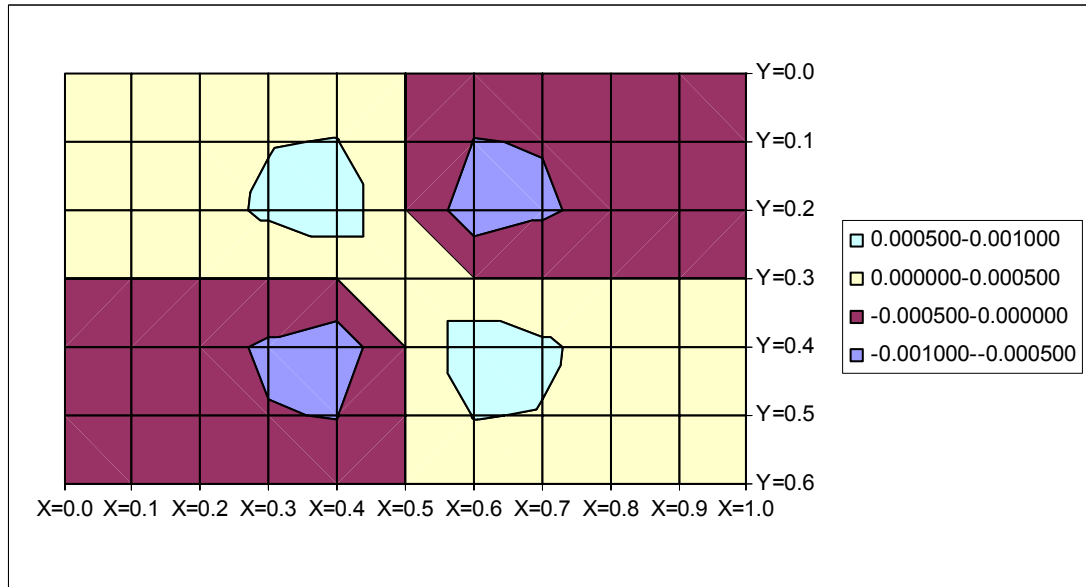
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Y=0.1	0.000039	0.000049	0.000079	0.000113	0.000118	0.000075	0.000118	0.000113	0.000079	0.000049	0.000039
Y=0.2	0.000099	0.000133	0.000228	0.000383	0.000562	0.000620	0.000562	0.000383	0.000228	0.000133	0.000099
Y=0.3	0.000131	0.000182	0.000333	0.000650	0.001281	0.002474	0.001281	0.000650	0.000333	0.000182	0.000131
Y=0.4	0.000099	0.000133	0.000228	0.000383	0.000562	0.000620	0.000562	0.000383	0.000228	0.000133	0.000099
Y=0.5	0.000039	0.000049	0.000079	0.000113	0.000118	0.000075	0.000118	0.000113	0.000079	0.000049	0.000039
Y=0.6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000



Şekil B.3 Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\frac{\Omega^2}{\omega_n^2} = 0.10$ için y ekseninde orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_y$ momentinin değişimi

Tablo B.4 Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\frac{\Omega^2}{\omega_n^2} = 0.10$ için boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ momentini

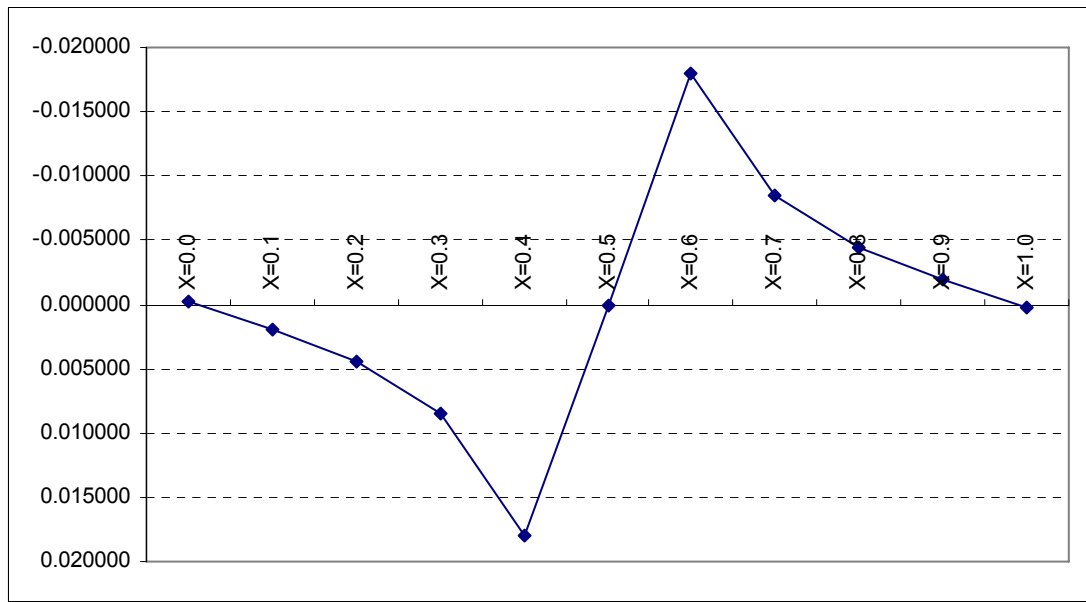
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.000000	0.000034	0.000081	0.000158	0.000179	0.000000	-0.000179	-0.000158	-0.000081	-0.000034	0.000000
Y=0.1	0.000069	0.000146	0.000294	0.000476	0.000520	0.000000	-0.000520	-0.000476	-0.000294	-0.000146	-0.000069
Y=0.2	0.000068	0.000145	0.000311	0.000576	0.000824	0.000000	-0.000824	-0.000576	-0.000311	-0.000145	-0.000068
Y=0.3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Y=0.4	-0.000068	-0.000145	-0.000311	-0.000576	-0.000824	0.000000	0.000824	0.000576	0.000311	0.000145	0.000068
Y=0.5	-0.000069	-0.000146	-0.000294	-0.000476	-0.000520	0.000000	0.000520	0.000476	0.000294	0.000146	0.000069
Y=0.6	0.000000	-0.000034	-0.000081	-0.000158	-0.000179	0.000000	0.000179	0.000158	0.000081	0.000034	0.000000



Şekil B.4 Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\frac{\Omega^2}{\omega_n^2} = 0.10$ için x, y eksenini boyunca boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ burulma momentinin alansal değişimi

Tablo B.5 Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\frac{\Omega^2}{\omega_n^2} = 0.10$ için boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvveti

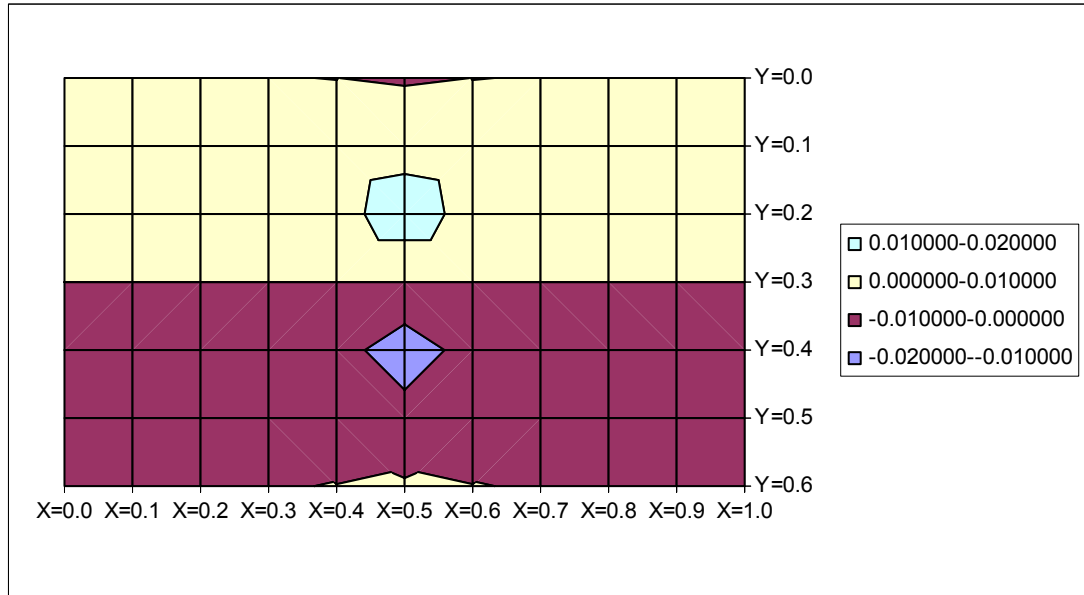
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.000251	0.001485	0.002624	0.003315	0.002740	0.000000	-0.002740	-0.003315	-0.002624	-0.001485	-0.000251
Y=0.1	0.000094	0.001569	0.002925	0.003808	0.003323	0.000000	-0.003323	-0.003808	-0.002925	-0.001569	-0.000094
Y=0.2	-0.000102	0.001777	0.003705	0.005674	0.006745	0.000000	-0.006745	-0.005674	-0.003705	-0.001777	0.000102
Y=0.3	-0.000236	0.001940	0.004447	0.008444	0.017983	0.000000	-0.017983	-0.008444	-0.004447	-0.001940	0.000236
Y=0.4	-0.000102	0.001777	0.003705	0.005674	0.006745	0.000000	-0.006745	-0.005674	-0.003705	-0.001777	0.000102
Y=0.5	0.000094	0.001569	0.002925	0.003808	0.003323	0.000000	-0.003323	-0.003808	-0.002925	-0.001569	-0.000094
Y=0.6	0.000251	0.001485	0.002624	0.003315	0.002740	0.000000	-0.002740	-0.003315	-0.002624	-0.001485	-0.000251



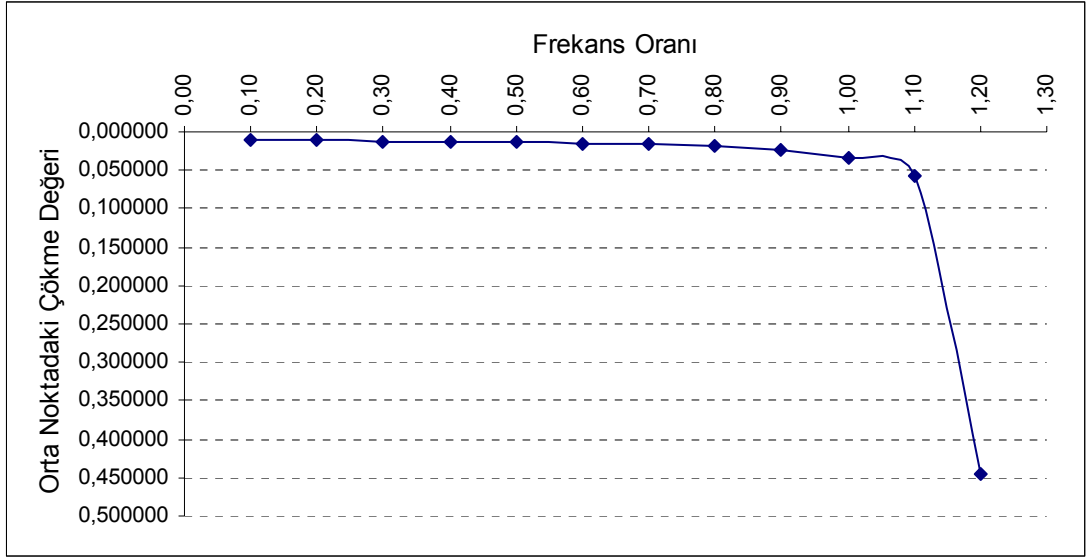
Şekil B.5 Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\frac{\Omega^2}{\omega_n^2} = 0.10$ için x eksenı boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvvetinin değışimi

Tablo B.6 Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\frac{\Omega^2}{\omega_n^2} = 0.10$ için boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvveti

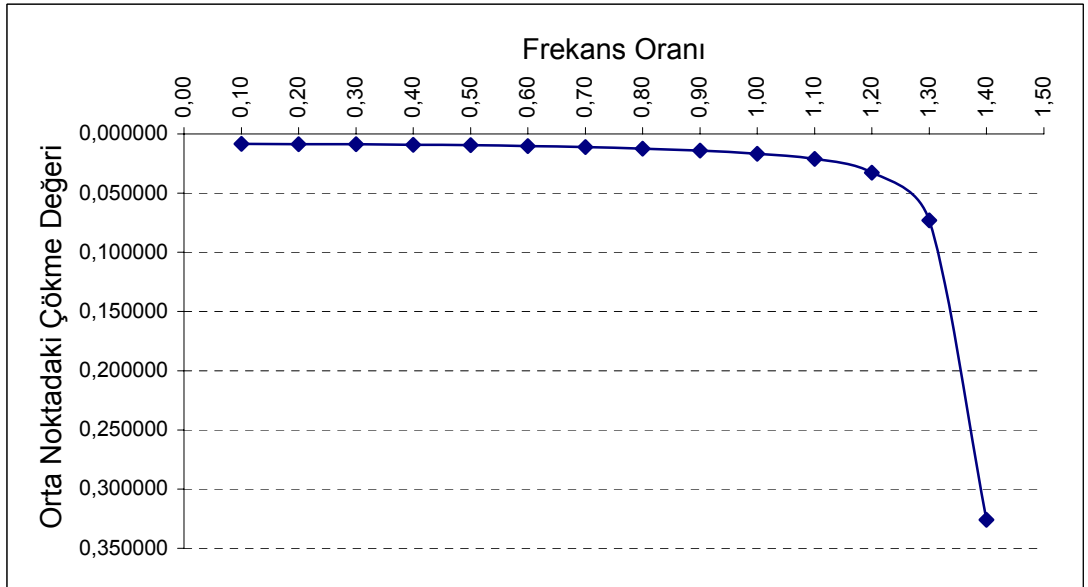
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.000111	0.000057	0.000178	0.000209	-0.000104	-0.000792	-0.000104	0.000209	0.000178	0.000057	0.000111
Y=0.1	0.000397	0.000378	0.000688	0.001459	0.003048	0.005465	0.003048	0.001459	0.000688	0.000378	0.000397
Y=0.2	0.000367	0.000371	0.000738	0.001893	0.005374	0.016553	0.005374	0.001893	0.000738	0.000371	0.000367
Y=0.3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Y=0.4	-0.000367	-0.000371	-0.000738	-0.001893	-0.005374	-0.016553	-0.005374	-0.001893	-0.000738	-0.000371	-0.000367
Y=0.5	-0.000397	-0.000378	-0.000688	-0.001459	-0.003048	-0.005465	-0.003048	-0.001459	-0.000688	-0.000378	-0.000397
Y=0.6	-0.000111	-0.000057	-0.000178	-0.000209	0.000104	0.000792	0.000104	-0.000209	-0.000178	-0.000057	-0.000111



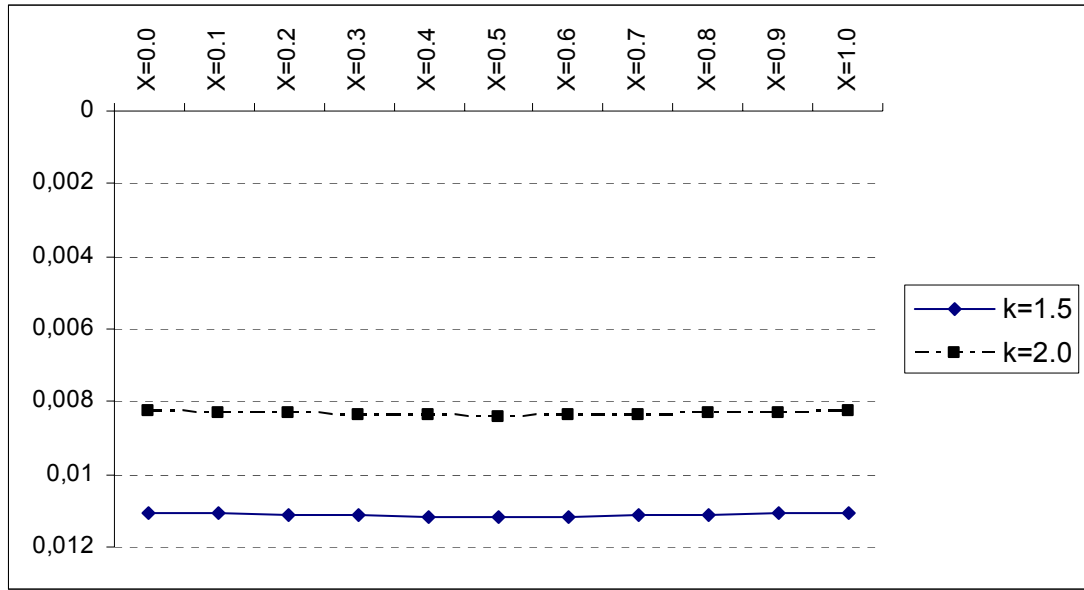
Şekil B.6 Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\frac{\Omega^2}{\omega_n^2} = 0.10$ için x, y eksenini boyunca boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvvetinin alansal değişimi



Şekil B.7 Ortasından tekil yükle yüklü plakta orta noktadaki çökme değerinin $\bar{k} = 1.5$ için Ω^2/ω_n^2 oranına göre değişimi



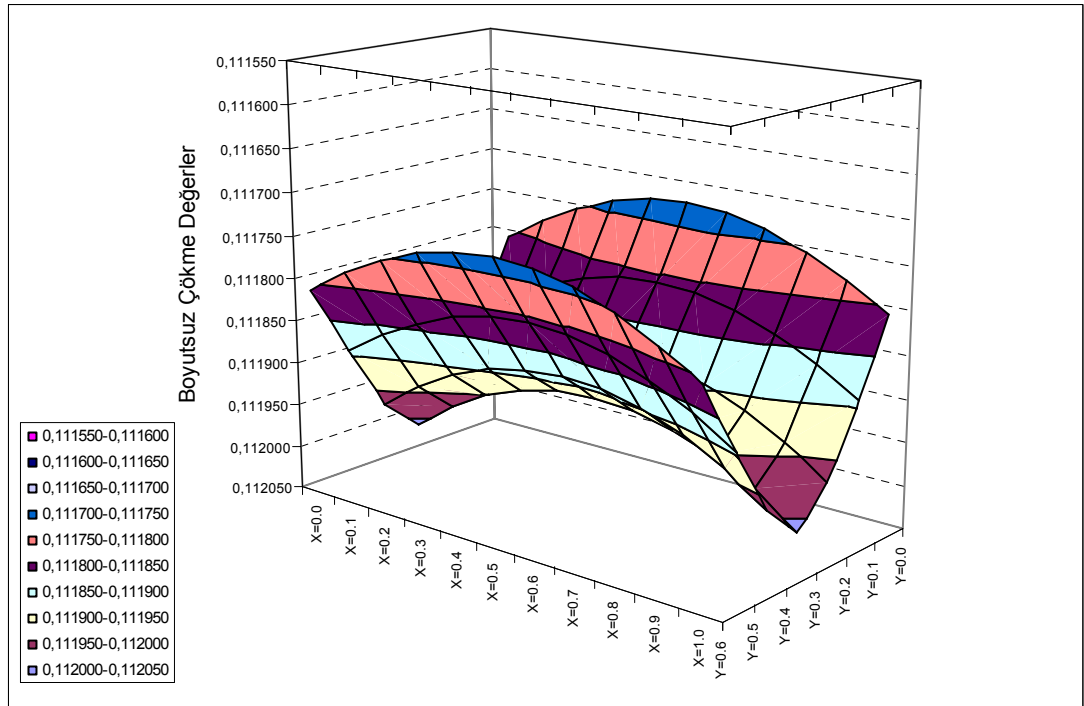
Şekil B.8 Ortasından tekil yükle yüklü plakta orta noktadaki çökme değerinin $\bar{k} = 2.0$ için Ω^2/ω_n^2 oranına göre değişimi



Şekil B.9 Ortasından tekil yükle yüklü plakta $\Omega^2/\omega_n^2=0.10$, $\bar{k}=1.5$ ve $\bar{k}=2.0$ değerleri için x eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{W}$ çökme değerinin değişimi

Tablo B.7 Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz çökme değerleri

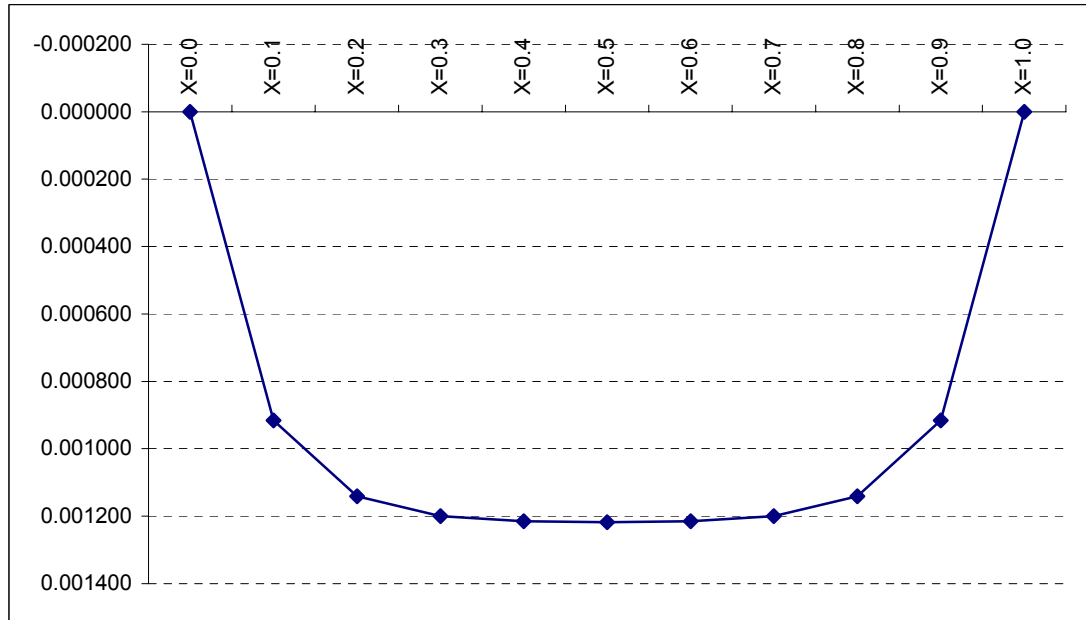
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0,111808	0,111780	0,111756	0,111739	0,111728	0,111725	0,111728	0,111739	0,111756	0,111780	0,111808
Y=0.1	0,111893	0,111864	0,111840	0,111822	0,111812	0,111808	0,111812	0,111822	0,111840	0,111864	0,111893
Y=0.2	0,111971	0,111938	0,111913	0,111895	0,111885	0,111881	0,111885	0,111895	0,111913	0,111938	0,111971
Y=0.3	0,112012	0,111976	0,111951	0,111934	0,111923	0,111920	0,111923	0,111934	0,111951	0,111976	0,112012
Y=0.4	0,111971	0,111938	0,111913	0,111895	0,111885	0,111881	0,111885	0,111895	0,111913	0,111938	0,111971
Y=0.5	0,111893	0,111864	0,111840	0,111822	0,111812	0,111808	0,111812	0,111822	0,111840	0,111864	0,111893
Y=0.6	0,111808	0,111780	0,111756	0,111739	0,111728	0,111725	0,111728	0,111739	0,111756	0,111780	0,111808



Şekil B.10 Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz çökme yüzeyi

Tablo B.8 Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{M}_x$ momenti

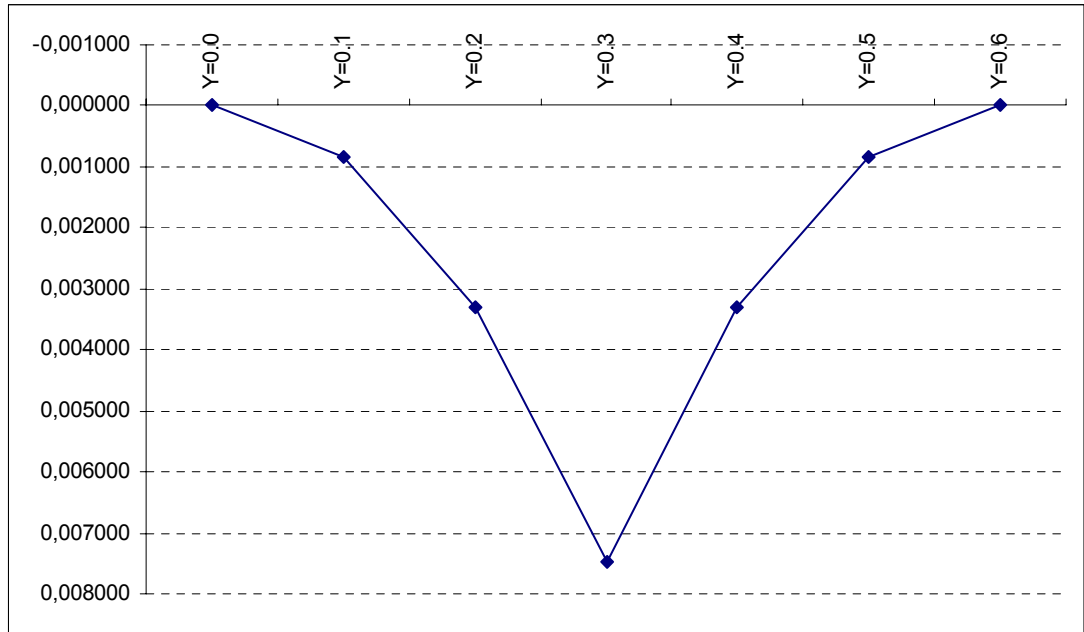
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.000000	-0.000434	-0.000587	-0.000637	-0.000652	-0.000656	-0.000652	-0.000637	-0.000587	-0.000434	0.000000
Y=0.1	0.000000	-0.000319	-0.000415	-0.000441	-0.000447	-0.000448	-0.000447	-0.000441	-0.000415	-0.000319	0.000000
Y=0.2	0.000000	0.000079	0.000142	0.000166	0.000174	0.000176	0.000174	0.000166	0.000142	0.000079	0.000000
Y=0.3	0.000000	0.000916	0.001141	0.001200	0.001215	0.001218	0.001215	0.001200	0.001141	0.000916	0.000000
Y=0.4	0.000000	0.000079	0.000142	0.000166	0.000174	0.000176	0.000174	0.000166	0.000142	0.000079	0.000000
Y=0.5	0.000000	-0.000319	-0.000415	-0.000441	-0.000447	-0.000448	-0.000447	-0.000441	-0.000415	-0.000319	0.000000
Y=0.6	0.000000	-0.000434	-0.000587	-0.000637	-0.000652	-0.000656	-0.000652	-0.000637	-0.000587	-0.000434	0.000000



Şekil B.11 Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için x eksenı boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_x$ momentinin değışimi

Tablo B.9 Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{M}_y$ momenti

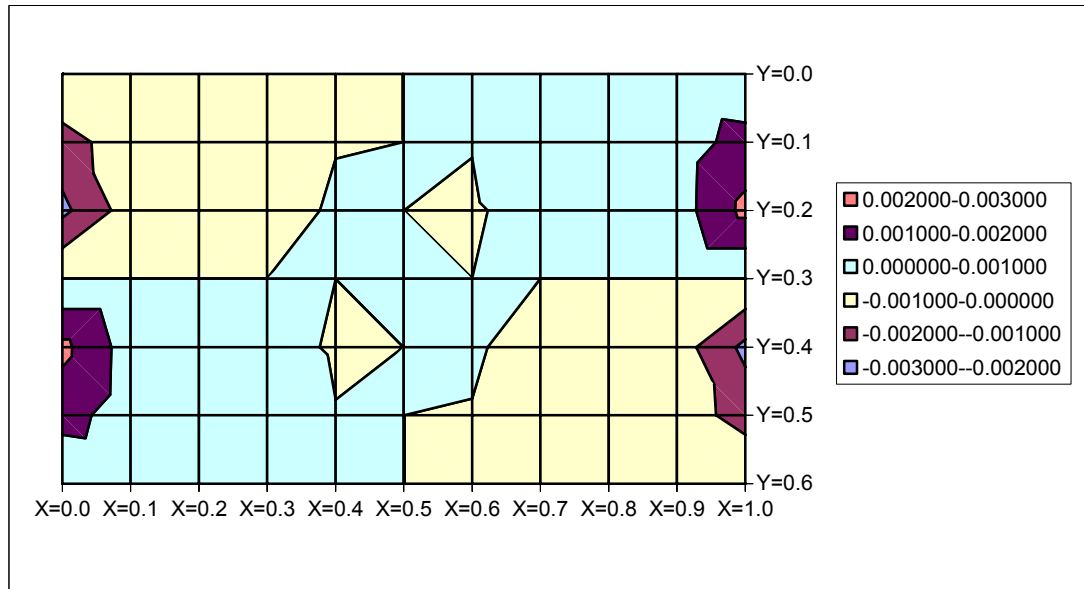
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Y=0.1	0.000779	0.000848	0.000844	0.000835	0.000831	0.000829	0.000831	0.000835	0.000844	0.000848	0.000779
Y=0.2	0.003390	0.003344	0.003322	0.003318	0.003319	0.003319	0.003319	0.003318	0.003322	0.003344	0.003390
Y=0.3	0.007720	0.007480	0.007461	0.007470	0.007477	0.007480	0.007477	0.007470	0.007461	0.007480	0.007720
Y=0.4	0.003390	0.003344	0.003322	0.003318	0.003319	0.003319	0.003319	0.003318	0.003322	0.003344	0.003390
Y=0.5	0.000779	0.000848	0.000844	0.000835	0.000831	0.000829	0.000831	0.000835	0.000844	0.000848	0.000779
Y=0.6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000



Şekil B.12 Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için y eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_y$ momentinin değişimi

Tablo B.10 Ortasından x ekseninde şerit yükü yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ momenti

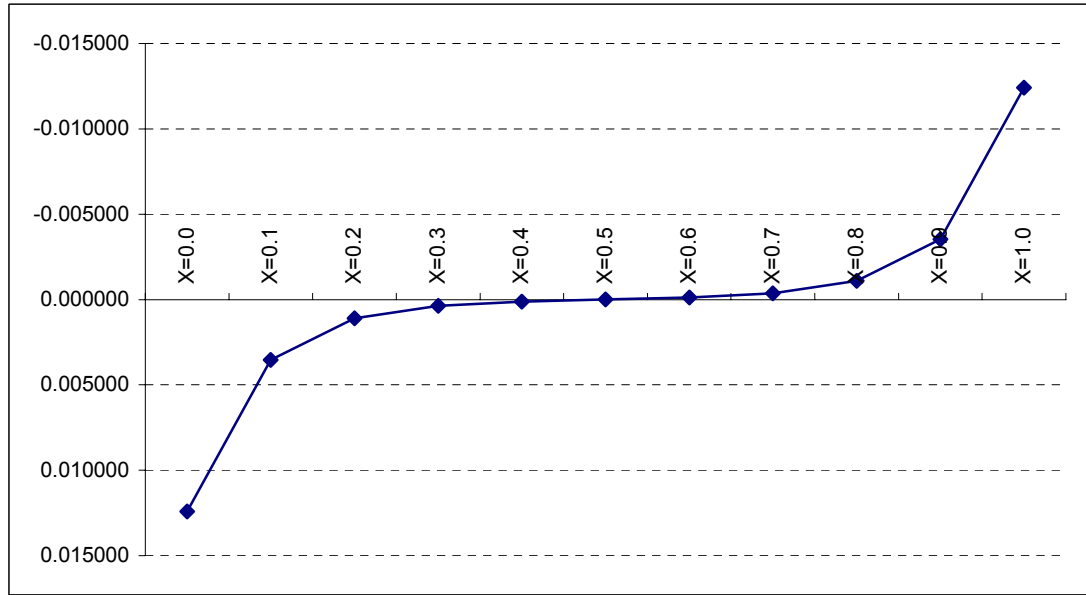
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.000000	-0.000214	-0.000072	-0.000016	-0.000001	0.000000	0.000001	0.000016	0.000072	0.000214	0.000000
Y=0.1	-0.001403	-0.000467	-0.000127	-0.000024	-0.000001	0.000000	0.000001	0.000024	0.000127	0.000467	0.001403
Y=0.2	-0.002245	-0.000519	-0.000103	-0.000011	0.000003	0.000000	-0.000003	0.000011	0.000103	0.000519	0.002245
Y=0.3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Y=0.4	0.002245	0.000519	0.000103	0.000011	-0.000003	0.000000	0.000003	-0.000011	-0.000103	-0.000519	-0.002245
Y=0.5	0.001403	0.000467	0.000127	0.000024	0.000001	0.000000	-0.000001	-0.000024	-0.000127	-0.000467	-0.001403
Y=0.6	0.000000	0.000214	0.000072	0.000016	0.000001	0.000000	-0.000001	-0.000016	-0.000072	-0.000214	0.000000



Şekil B.13 Ortasından x ekseninde şerit yükü yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için x, y eksenı boyunca boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ burulma momentinin alansal değışimi

Tablo B.11 Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvveti

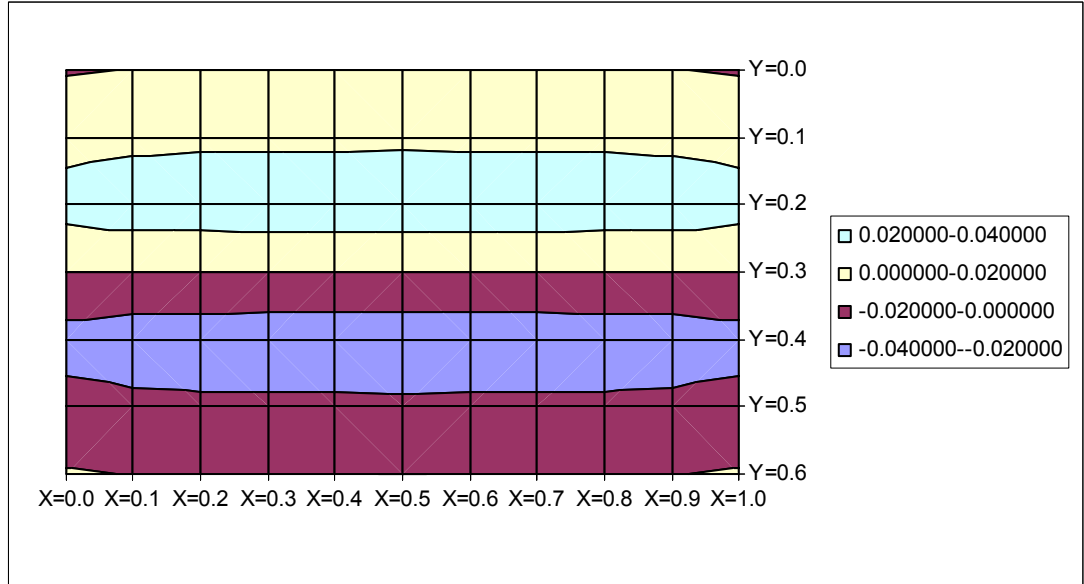
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	-0.003996	-0.002347	-0.000813	-0.000262	-0.000074	0.000000	0.000074	0.000262	0.000813	0.002347	0.003996
Y=0.1	-0.003018	-0.001401	-0.000538	-0.000184	-0.000053	0.000000	0.000053	0.000184	0.000538	0.001401	0.003018
Y=0.2	-0.001193	0.000295	0.000243	0.000116	0.000044	0.000000	-0.000044	-0.000116	-0.000243	-0.000295	0.001193
Y=0.3	0.012418	0.003526	0.001094	0.000360	0.000112	0.000000	-0.000112	-0.000360	-0.001094	-0.003526	-0.012418
Y=0.4	-0.001193	0.000295	0.000243	0.000116	0.000044	0.000000	-0.000044	-0.000116	-0.000243	-0.000295	0.001193
Y=0.5	-0.003018	-0.001401	-0.000538	-0.000184	-0.000053	0.000000	0.000053	0.000184	0.000538	0.001401	0.003018
Y=0.6	-0.003996	-0.002347	-0.000813	-0.000262	-0.000074	0.000000	0.000074	0.000262	0.000813	0.002347	0.003996



Şekil B.14 Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için x eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvvetinin değişimi

Tablo B.12 Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvveti

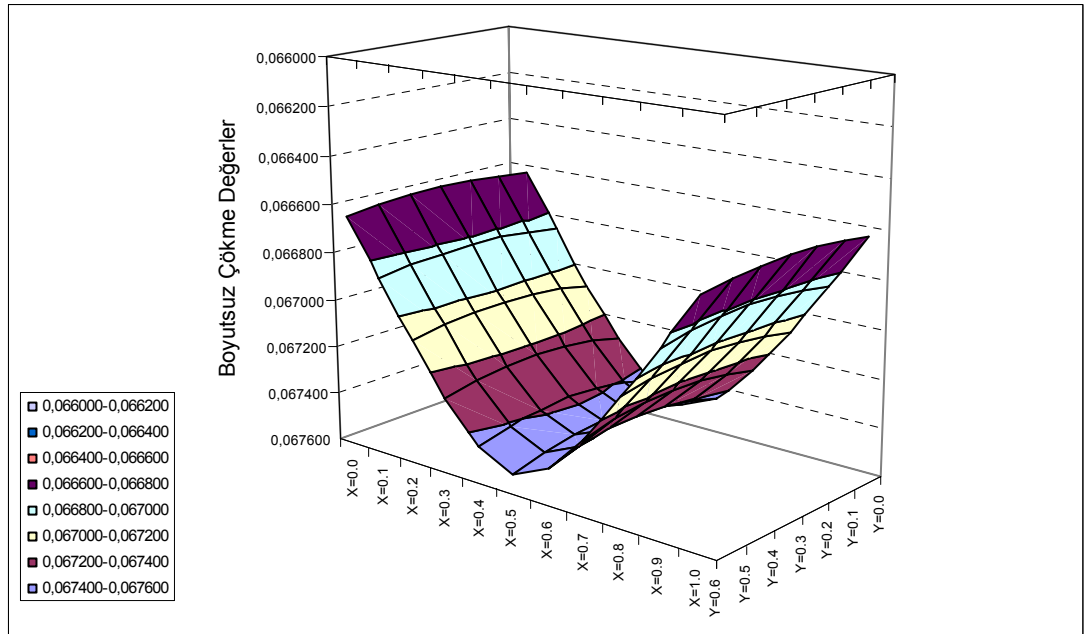
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	-0.001569	0.000498	0.000213	0.000067	0.000009	-0.000005	0.000009	0.000067	0.000213	0.000498	-0.001569
Y=0.1	0.013560	0.015430	0.016203	0.016485	0.016581	0.016603	0.016581	0.016485	0.016203	0.015430	0.013560
Y=0.2	0.027763	0.031469	0.032691	0.033101	0.033235	0.033266	0.033235	0.033101	0.032691	0.031469	0.027763
Y=0.3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Y=0.4	-0.027763	-0.031469	-0.032691	-0.033101	-0.033235	-0.033266	-0.033235	-0.033101	-0.032691	-0.031469	-0.027763
Y=0.5	-0.013560	-0.015430	-0.016203	-0.016485	-0.016581	-0.016603	-0.016581	-0.016485	-0.016203	-0.015430	-0.013560
Y=0.6	0.001569	-0.000498	-0.000213	-0.000067	-0.000009	0.000005	-0.000009	-0.000067	-0.000213	-0.000498	0.001569



Şekil B.15 Ortasından x ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için x, y eksenı boyunca boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvvetinin alansal değışimi

Tablo B.13 Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz çökme değerleri

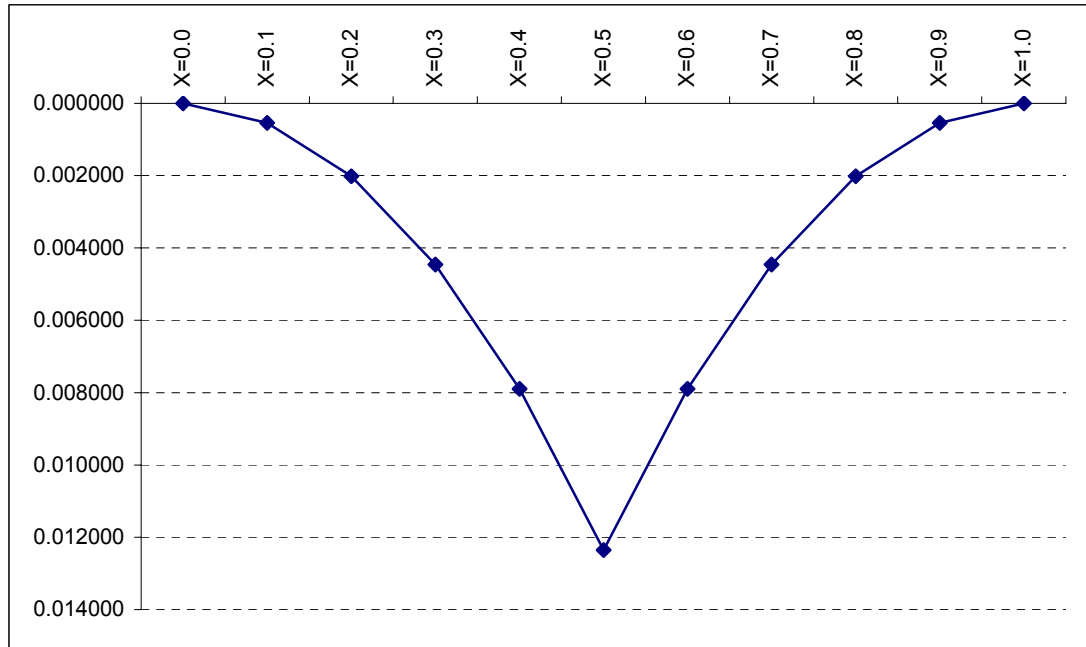
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0,066637	0,066864	0,067088	0,067291	0,067446	0,067515	0,067446	0,067291	0,067088	0,066864	0,066637
Y=0.1	0,066619	0,066845	0,067064	0,067260	0,067409	0,067474	0,067409	0,067260	0,067064	0,066845	0,066619
Y=0.2	0,066607	0,066831	0,067048	0,067242	0,067389	0,067452	0,067389	0,067242	0,067048	0,066831	0,066607
Y=0.3	0,066603	0,066827	0,067043	0,067236	0,067382	0,067445	0,067382	0,067236	0,067043	0,066827	0,066603
Y=0.4	0,066607	0,066831	0,067048	0,067242	0,067389	0,067452	0,067389	0,067242	0,067048	0,066831	0,066607
Y=0.5	0,066619	0,066845	0,067064	0,067260	0,067409	0,067474	0,067409	0,067260	0,067064	0,066845	0,066619
Y=0.6	0,066637	0,066864	0,067088	0,067291	0,067446	0,067515	0,067446	0,067291	0,067088	0,066864	0,066637



Şekil B.16 Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz çökme yüzeyi

Tablo B.14 Ortasından y ekseninde şerit yükü yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{M}_x$ momenti

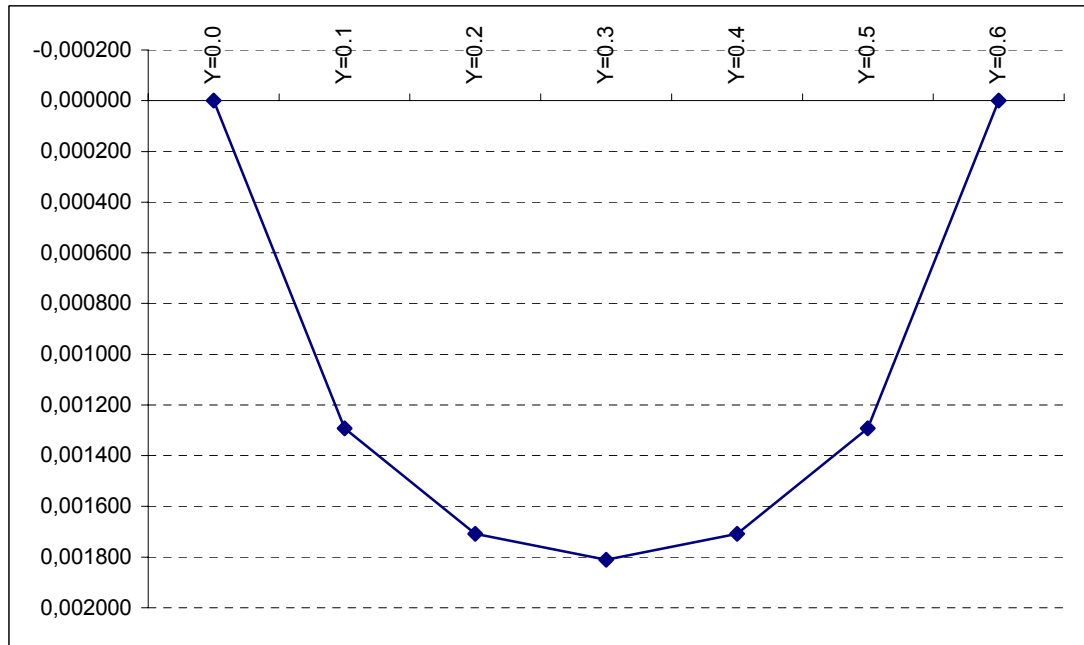
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.000000	0.000374	0.001897	0.004493	0.008151	0.012826	0.008151	0.004493	0.001897	0.000374	0.000000
Y=0.1	0.000000	0.000499	0.001993	0.004492	0.007986	0.012452	0.007986	0.004492	0.001993	0.000499	0.000000
Y=0.2	0.000000	0.000533	0.002015	0.004470	0.007912	0.012369	0.007912	0.004470	0.002015	0.000533	0.000000
Y=0.3	0.000000	0.000539	0.002018	0.004461	0.007894	0.012354	0.007894	0.004461	0.002018	0.000539	0.000000
Y=0.4	0.000000	0.000533	0.002015	0.004470	0.007912	0.012369	0.007912	0.004470	0.002015	0.000533	0.000000
Y=0.5	0.000000	0.000499	0.001993	0.004492	0.007986	0.012452	0.007986	0.004492	0.001993	0.000499	0.000000
Y=0.6	0.000000	0.000374	0.001897	0.004493	0.008151	0.012826	0.008151	0.004493	0.001897	0.000374	0.000000



Şekil B.17 Ortasından y ekseninde şerit yükü yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için x eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_x$ momentinin değişimi

Tablo B.15 Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{M}_y$ momenti

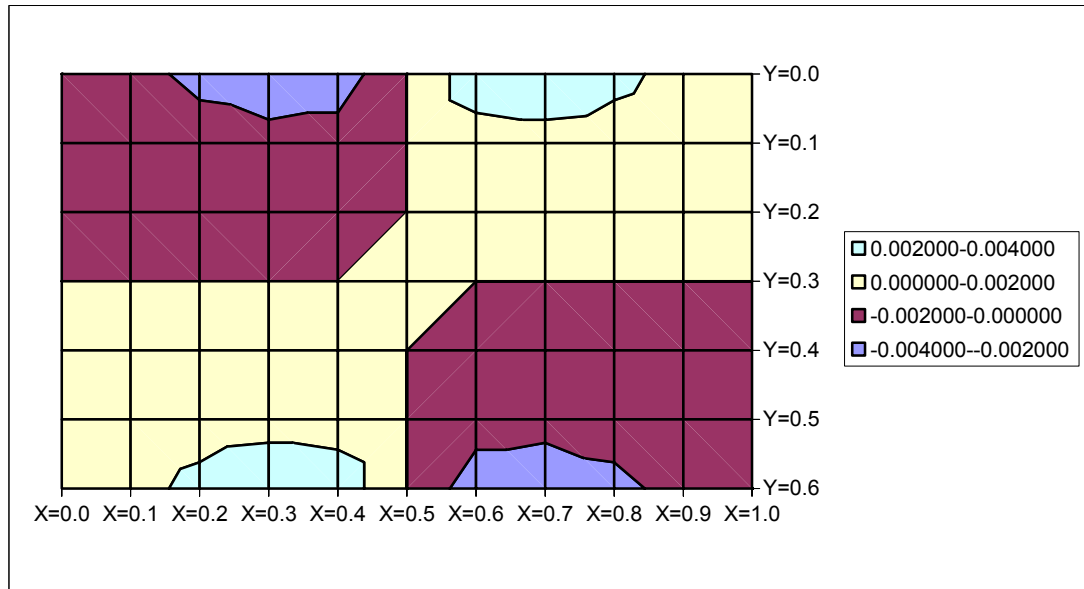
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Y=0.1	-0,000500	-0,000459	-0,000319	-0,000048	0,000430	0,001292	0,000430	-0,000048	-0,000319	-0,000459	-0,000500
Y=0.2	-0,000735	-0,000677	-0,000450	-0,000023	0,000667	0,001708	0,000667	-0,000023	-0,000450	-0,000677	-0,000735
Y=0.3	-0,000805	-0,000741	-0,000485	-0,000010	0,000736	0,001810	0,000736	-0,000010	-0,000485	-0,000741	-0,000805
Y=0.4	-0,000735	-0,000677	-0,000450	-0,000023	0,000667	0,001708	0,000667	-0,000023	-0,000450	-0,000677	-0,000735
Y=0.5	-0,000500	-0,000459	-0,000319	-0,000048	0,000430	0,001292	0,000430	-0,000048	-0,000319	-0,000459	-0,000500
Y=0.6	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000



Şekil B.18 Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için y eksenı boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_y$ momentinin değışimi

Tablo B.16 Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ momenti

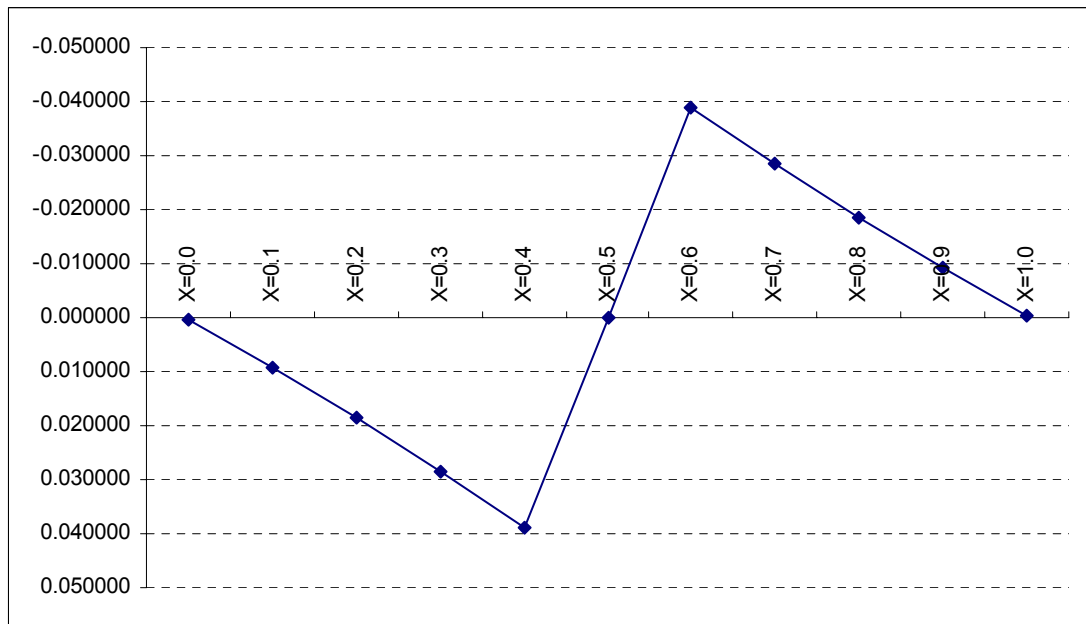
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.000000	-0.001384	-0.002492	-0.003220	-0.003217	0.000000	0.003217	0.003220	0.002492	0.001384	0.000000
Y=0.1	-0.000341	-0.000751	-0.001198	-0.001369	-0.001031	0.000000	0.001031	0.001369	0.001198	0.000751	0.000341
Y=0.2	-0.000172	-0.000322	-0.000464	-0.000484	-0.000317	0.000000	0.000317	0.000484	0.000464	0.000322	0.000172
Y=0.3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Y=0.4	0.000172	0.000322	0.000464	0.000484	0.000317	0.000000	-0.000317	-0.000484	-0.000464	-0.000322	-0.000172
Y=0.5	0.000341	0.000751	0.001198	0.001369	0.001031	0.000000	-0.001031	-0.001369	-0.001198	-0.000751	-0.000341
Y=0.6	0.000000	0.001384	0.002492	0.003220	0.003217	0.000000	-0.003217	-0.003220	-0.002492	-0.001384	0.000000



Şekil B.19 Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için x, y eksenı boyunca boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ burulma momentinin alansal değışimi

Tablo B.17 Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvveti

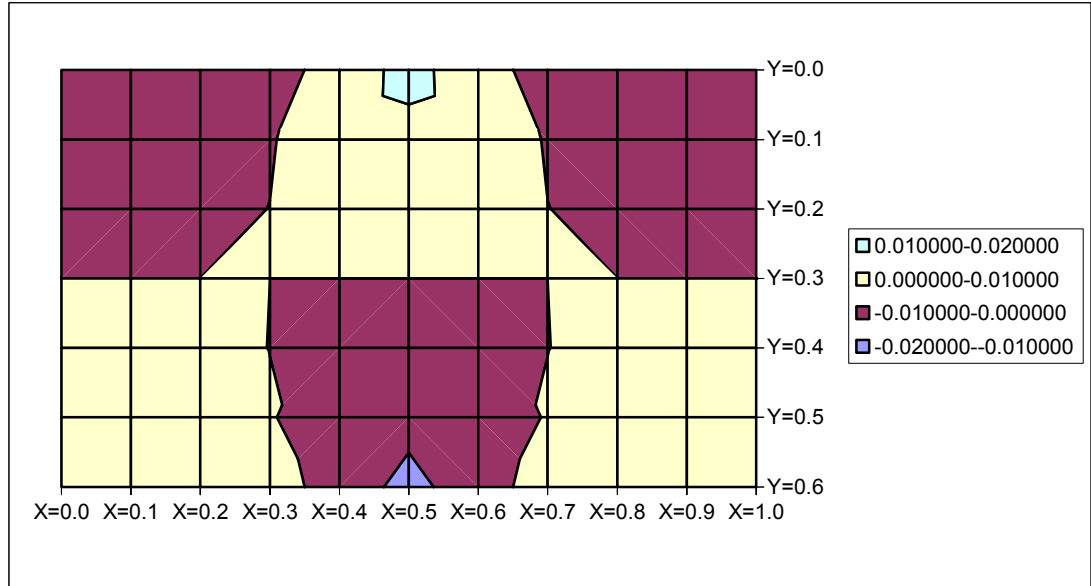
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	-0.002110	0.007586	0.016475	0.025017	0.033332	0.000000	-0.033332	-0.025017	-0.016475	-0.007586	0.002110
Y=0.1	0.000407	0.008695	0.017617	0.026966	0.037201	0.000000	-0.037201	-0.026966	-0.017617	-0.008695	-0.000407
Y=0.2	0.000436	0.009203	0.018363	0.028054	0.038524	0.000000	-0.038524	-0.028054	-0.018363	-0.009203	-0.000436
Y=0.3	0.000424	0.009351	0.018608	0.028387	0.038855	0.000000	-0.038855	-0.028387	-0.018608	-0.009351	-0.000424
Y=0.4	0.000436	0.009203	0.018363	0.028054	0.038524	0.000000	-0.038524	-0.028054	-0.018363	-0.009203	-0.000436
Y=0.5	0.000407	0.008695	0.017617	0.026966	0.037201	0.000000	-0.037201	-0.026966	-0.017617	-0.008695	-0.000407
Y=0.6	-0.002110	0.007586	0.016475	0.025017	0.033332	0.000000	-0.033332	-0.025017	-0.016475	-0.007586	0.002110



Şekil B.20 Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için x eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvvetinin değişimi

Tablo B.18 Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvveti

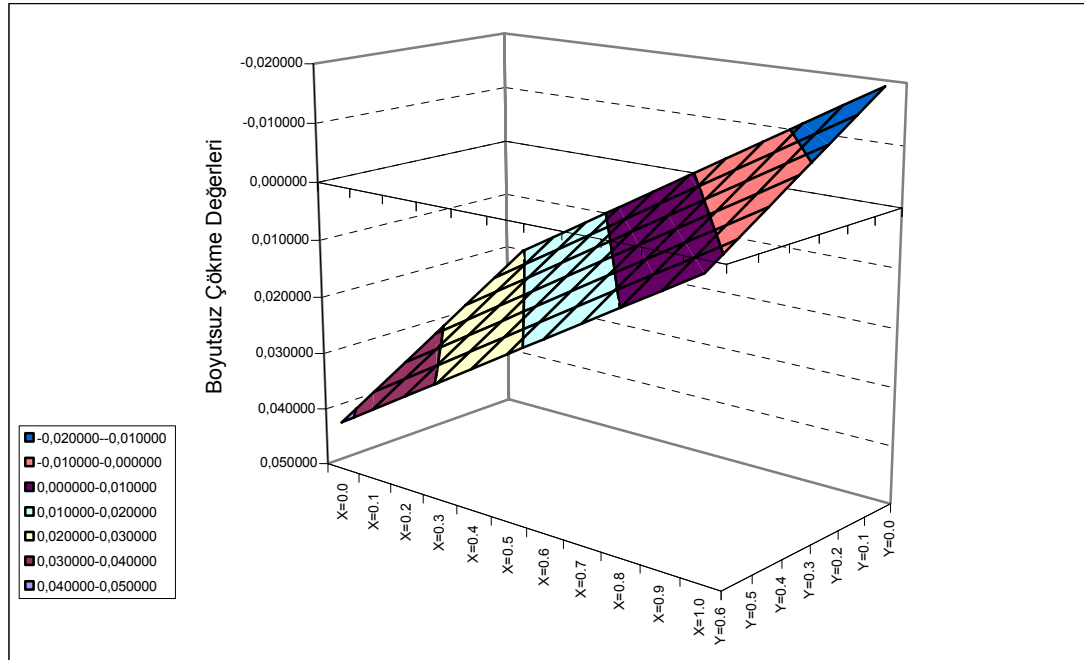
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	-0.003857	-0.003062	-0.002482	-0.001155	0.001166	0.014922	0.001166	-0.001155	-0.002482	-0.003062	-0.003857
Y=0.1	-0.002942	-0.002073	-0.001325	-0.000184	0.001712	0.005008	0.001712	-0.000184	-0.001325	-0.002073	-0.002942
Y=0.2	-0.001222	-0.000965	-0.000565	0.000027	0.000855	0.001680	0.000855	0.000027	-0.000565	-0.000965	-0.001222
Y=0.3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Y=0.4	0.001222	0.000965	0.000565	-0.000027	-0.000855	-0.001680	-0.000855	-0.000027	0.000565	0.000965	0.001222
Y=0.5	0.002942	0.002073	0.001325	0.000184	-0.001712	-0.005008	-0.001712	0.000184	0.001325	0.002073	0.002942
Y=0.6	0.003857	0.003062	0.002482	0.001155	-0.001166	-0.014922	-0.001166	0.001155	0.002482	0.003062	0.003857



Şekil B.21 Ortasından y ekseninde şerit yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için x, y eksenı boyunca boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvvetının alansal değışimi

Tablo B.19 Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\frac{\Omega^2}{\omega_n^2} = 0.10$ için boyutsuz çökme değerleri

	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0,020275	0,016332	0,012391	0,008450	0,004511	0,000575	-0,003359	-0,007291	-0,011222	-0,015154	-0,019086
Y=0.1	0,023830	0,019886	0,015942	0,011997	0,008053	0,004111	0,000172	-0,003765	-0,007699	-0,011633	-0,015567
Y=0.2	0,027387	0,023442	0,019496	0,015545	0,011595	0,007646	0,003702	-0,000239	-0,004177	-0,008113	-0,012049
Y=0.3	0,030944	0,026998	0,023050	0,019093	0,015135	0,011180	0,007230	0,003285	-0,000656	-0,004595	-0,008533
Y=0.4	0,034495	0,030548	0,026601	0,022637	0,018671	0,014711	0,010756	0,006807	0,002863	-0,001078	-0,005018
Y=0.5	0,038036	0,034087	0,030134	0,026169	0,022202	0,018238	0,014280	0,010328	0,006381	0,002438	-0,001503
Y=0.6	0,041572	0,037621	0,033665	0,029699	0,025730	0,021763	0,017802	0,013848	0,009899	0,005955	0,002012

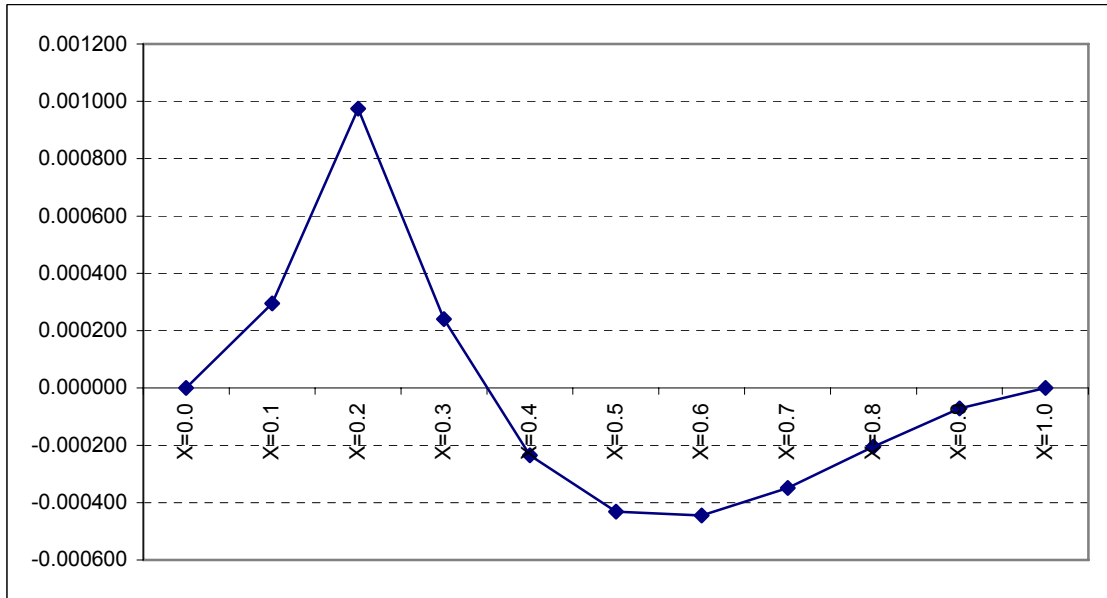


Şekil B.22 Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\frac{\Omega^2}{\omega_n^2} = 0.10$ için boyutsuz çökme yüzeyi

*Kare içine alınmış hücre tekil yükün etkidiği düğüm noktasını göstermektedir

Tablo B.20 Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için boyutsuz $\bar{M}_x$ momenti

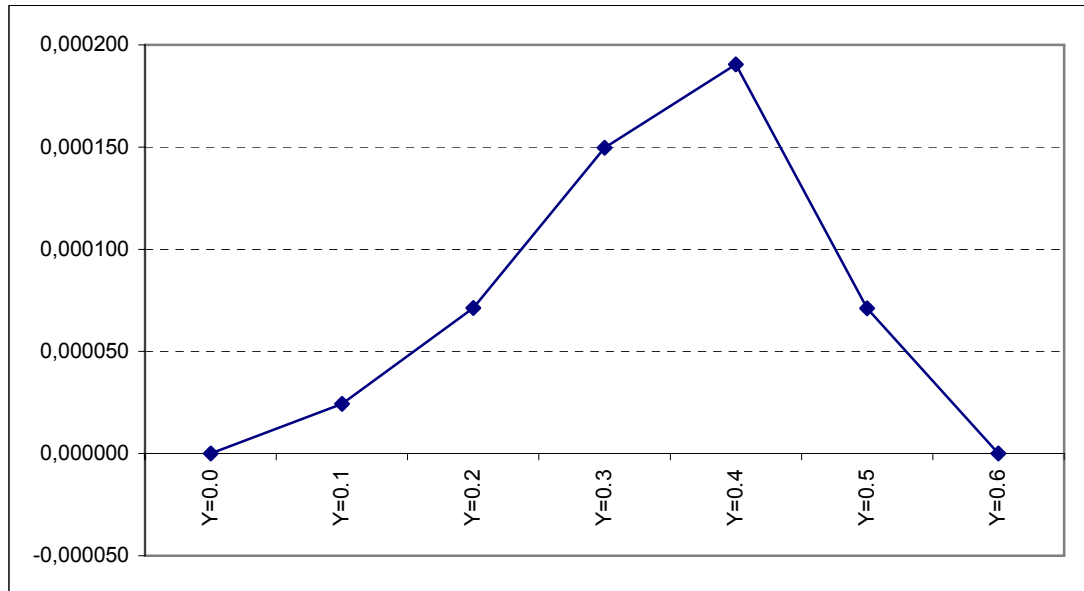
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.000000	-0.000094	-0.000079	-0.000140	-0.000221	-0.000250	-0.000200	-0.000089	0.000036	0.000105	0.000000
Y=0.1	0.000000	-0.000003	0.000052	-0.000065	-0.000210	-0.000281	-0.000255	-0.000157	-0.000037	0.000039	0.000000
Y=0.2	0.000000	0.000130	0.000346	0.000068	-0.000209	-0.000343	-0.000341	-0.000248	-0.000120	-0.000017	0.000000
Y=0.3	0.000000	0.000295	0.000974	0.000240	-0.000235	-0.000432	-0.000445	-0.000349	-0.000205	-0.000071	0.000000
Y=0.4	0.000000	0.000376	0.002218	0.000327	-0.000293	-0.000517	-0.000538	-0.000441	-0.000284	-0.000120	0.000000
Y=0.5	0.000000	0.000419	0.001187	0.000358	-0.000243	-0.000530	-0.000591	-0.000509	-0.000348	-0.000164	0.000000
Y=0.6	0.000000	0.000426	0.000881	0.000346	-0.000214	-0.000533	-0.000624	-0.000555	-0.000396	-0.000202	0.000000



Şekil B.23 Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\Omega^2/\omega_n^2 = 0.10$ için x eksenini boyunca orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_x$ momentinin değişimi

Tablo B.21 Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\frac{\Omega^2}{\omega_n^2} = 0.10$ için boyutsuz $\bar{M}_y$ momenti

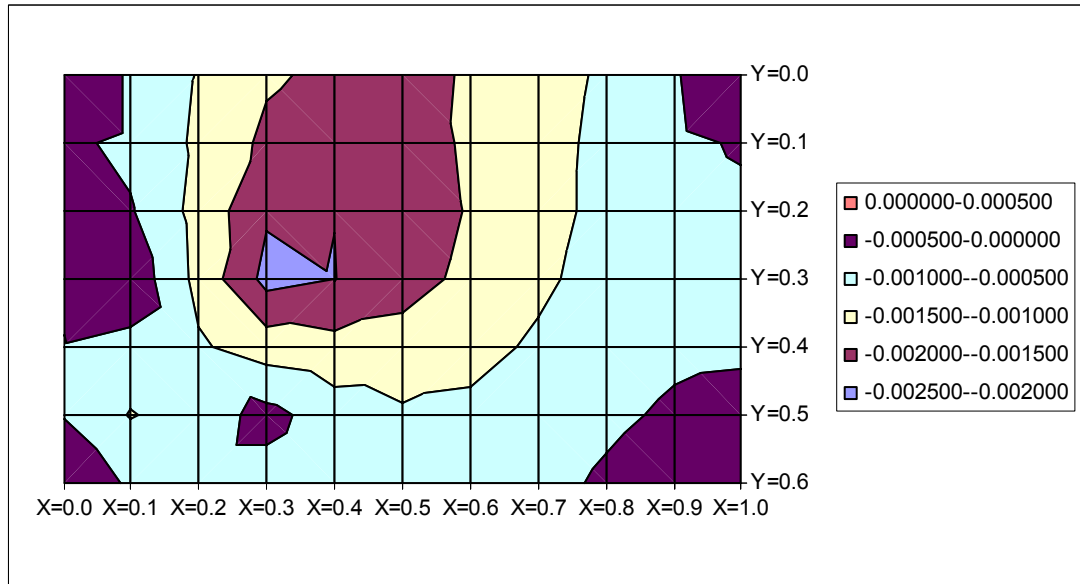
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Y=0.1	-0.000143	-0.000131	-0.000134	-0.000077	-0.000018	0.000024	0.000054	0.000079	0.000103	0.000130	0.000166
Y=0.2	0.000034	0.000023	-0.000021	0.000038	0.000066	0.000071	0.000077	0.000091	0.000114	0.000141	0.000167
Y=0.3	0.000497	0.000529	0.000512	0.000436	0.000274	0.000150	0.000085	0.000064	0.000070	0.000085	0.000093
Y=0.4	0.000963	0.001286	0.002331	0.001098	0.000479	0.000190	0.000063	0.000016	0.000008	0.000010	0.000000
Y=0.5	0.000458	0.000463	0.000429	0.000355	0.000196	0.000071	0.000001	-0.000027	-0.000033	-0.000034	-0.000055
Y=0.6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000



Şekil B.24 Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\frac{\Omega^2}{\omega_n^2} = 0.10$ için y ekseninde orta şeritteki boyutsuz $\bar{M}_y$ momentinin değişimi

Tablo B.22 Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\frac{\Omega^2}{\omega_n^2} = 0.10$ için boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ momenti

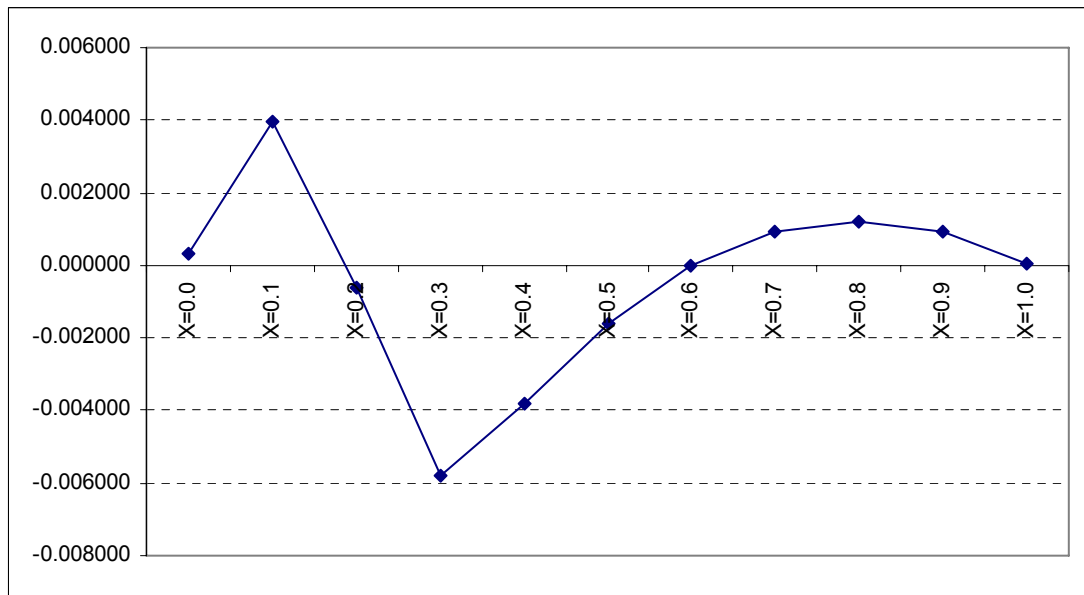
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	0.000000	-0.000570	-0.001039	-0.001433	-0.001615	-0.001607	-0.001466	-0.001230	-0.000923	-0.000562	0.000000
Y=0.1	-0.000416	-0.000584	-0.001103	-0.001607	-0.001762	-0.001670	-0.001452	-0.001178	-0.000885	-0.000612	-0.000453
Y=0.2	-0.000489	-0.000468	-0.001183	-0.001932	-0.001995	-0.001772	-0.001468	-0.001159	-0.000880	-0.000673	-0.000609
Y=0.3	-0.000413	-0.000172	-0.001143	-0.002165	-0.002010	-0.001697	-0.001380	-0.001085	-0.000836	-0.000669	-0.000646
Y=0.4	-0.000519	-0.000640	-0.000939	-0.001237	-0.001358	-0.001304	-0.001141	-0.000931	-0.000728	-0.000583	-0.000562
Y=0.5	-0.000541	-0.001031	-0.000725	-0.000357	-0.000751	-0.000935	-0.000904	-0.000760	-0.000584	-0.000433	-0.000370
Y=0.6	0.000000	-0.000595	-0.000667	-0.000675	-0.000877	-0.000931	-0.000825	-0.000638	-0.000439	-0.000267	0.000000



Şekil B.25 Ezantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\frac{\Omega^2}{\omega_n^2} = 0.10$ için x, y eksenini boyunca boyutsuz $\bar{M}_{xy}$ burulma momentinin alansal değişimi

Tablo B.23 Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\frac{\Omega^2}{\omega_n^2} = 0.10$ için boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvveti

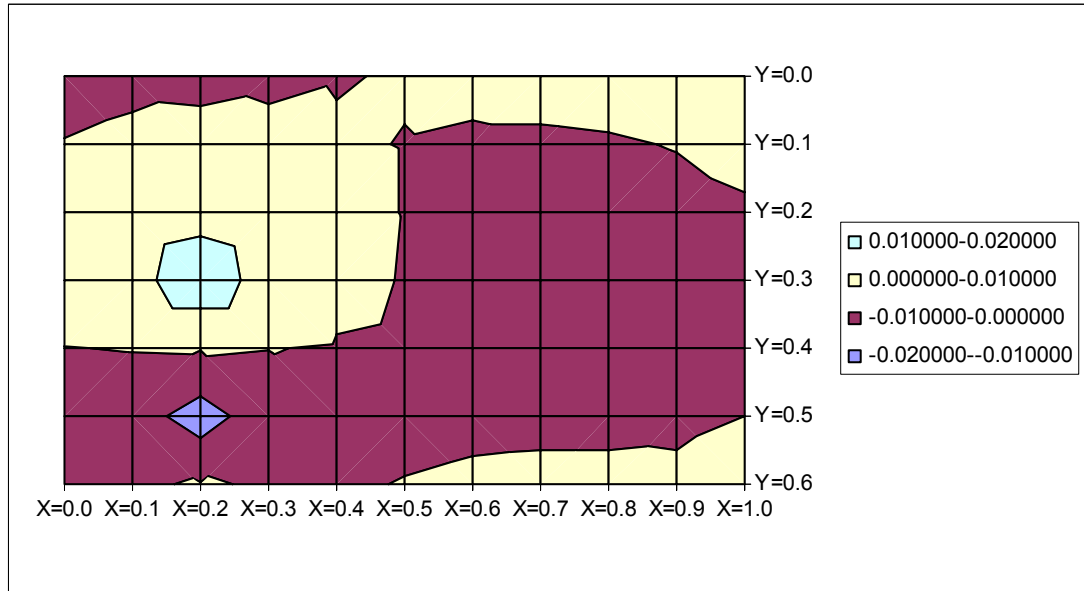
	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	-0.001656	-0.000317	-0.000181	-0.000568	-0.000442	0.000086	0.000646	0.000945	0.000774	-0.000146	-0.001732
Y=0.1	-0.000424	0.000246	-0.000030	-0.000586	-0.000462	0.000110	0.000718	0.001068	0.000987	0.000397	-0.000531
Y=0.2	0.000057	0.001166	-0.000185	-0.001872	-0.001516	-0.000488	0.000461	0.001035	0.001124	0.000692	-0.000249
Y=0.3	0.000326	0.003958	-0.000594	-0.005790	-0.003830	-0.001596	-0.000010	0.000902	0.001196	0.000911	0.000063
Y=0.4	-0.000860	0.014343	-0.000946	-0.017451	-0.007007	-0.002645	-0.000394	0.000798	0.001259	0.001106	0.000359
Y=0.5	0.000750	0.004634	-0.000674	-0.006652	-0.004689	-0.002173	-0.000307	0.000835	0.001350	0.001307	0.000600
Y=0.6	0.001956	0.003526	-0.000323	-0.004381	-0.003516	-0.001640	-0.000087	0.000912	0.001412	0.001584	0.001249



Şekil B.26 Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\frac{\Omega^2}{\omega_n^2} = 0.10$ için x ekseninde orta şeritteki boyutsuz $\bar{Q}_x$ kesme kuvvetinin değişimi

Tablo B.24 Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\frac{\Omega^2}{\omega_n^2} = 0.10$ için boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvveti

	X=0.0	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9	X=1.0
Y=0.0	-0.001753	0.001099	-0.001242	-0.000732	-0.000178	0.000219	0.000489	0.000689	0.000849	0.000955	0.001854
Y=0.1	0.000135	0.000989	0.001618	0.000985	0.000314	-0.000088	-0.000260	-0.000273	-0.000169	0.000077	0.000669
Y=0.2	0.002558	0.003831	0.006271	0.003267	0.001067	-0.000101	-0.000639	-0.000828	-0.000806	-0.000620	-0.000292
Y=0.3	0.003716	0.006036	0.016893	0.005275	0.001314	-0.000216	-0.000842	-0.001070	-0.001080	-0.000936	-0.000667
Y=0.4	-0.000156	0.000233	0.000520	0.000152	-0.000342	-0.000708	-0.000919	-0.001005	-0.000985	-0.000851	-0.000589
Y=0.5	-0.003851	-0.004943	-0.014669	-0.004319	-0.001599	-0.000829	-0.000594	-0.000522	-0.000480	-0.000369	-0.000002
Y=0.6	-0.002019	-0.000955	0.000593	-0.000632	-0.000381	0.000112	0.000417	0.000516	0.000481	0.000380	0.000954



Şekil B.27 Ekzantrik tekil yükle yüklü plakta $\bar{k} = 1.5$ ve $\frac{\Omega^2}{\omega_n^2} = 0.10$ için x, y eksenini boyunca boyutsuz $\bar{Q}_y$ kesme kuvvetinin alansal değişimi

ÖZGEÇMİŞ

Volkan KILIÇ 1973 yılında Babaeski’de doğdu. İlk, Orta ve Lise öğrenimini Babaeski’de tamamladı. 1990 yılında Ç.Ü. Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümüne girdi ve 1995 yılında mezun oldu. Aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsüne kayıt olan yazar, proje ve taahhüt işleri yapmaktadır. Yabancı dili İngilizcedir.