

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELASTİK ZEMİNE OTURAN DEPREM ETKİSİNDEKİ
KALIN PLAKLARIN PARAMETRİK İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Ferhat SEYİS

ŞUBAT 2010
TRABZON

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ELASTİK ZEMİNE OTURAN DEPREM ETKİSİNDEKİ
KALIN PLAKLARIN PARAMETRİK İNCELENMESİ**

İnş. Müh. Ferhat SEYİS

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“İnşaat Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 19.01.2010
Tezin Savunma Tarihi : 09.02.2010**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yusuf AYVAZ

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ayşe DALOĞLU

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Hasan SOFUOĞLU

Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2010

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak gerçekleştirilmiştir.

Lisans ve yüksek lisans çalışmalarımda yanımda olan, yüksek lisans konumu bana öneren, çalışma süresi boyunca ilgisini ve yardımlarını esirgmeden çalışmalarımı takip eden, beni yönlendiren ve çalışmaktan onur duyduğum danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Yusuf AYVAZ'a minnet ve şükranlarımı sunarım.

Yoğun işleri arasında kıymetli zamanlarını ayırarak tezimi inceleyen kıymetli hocalarım Sayın Prof. Dr. Ayşe DALOĞLU'na ve Sayın Prof. Dr. Hasan SOFUOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma sırasında desteklerini esirgemeyen Sayın Öğr. Gör. Serkan BEKİROĞLU'na, Sayın Arş. Gör. Temel TÜRKER'e ve Sayın İnş. Y. Müh. Çiğdem ÇALIK'a teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca bana emeği geçen ve bugünlere gelmemi sağlayan geçmişten bu güne tüm kıymetli hocalarımı saygıyla anar, kendilerine minnettar olduğumu belirtirim.

Hayatım boyunca bana maddi ve manevi olarak en büyük desteği sağlayan öncelikle annem Sayın Mükerrrem SEYİS'e, babam Sayın Osman SEYİS'e, ablam Sayın Berat BAK'a, abim Sayın Utku SEYİS'e ve kardeşim Sayın Büşra SEYİS'e teşekkür eder, çalışmamın ilgilenenlere faydalı olmasını dilerim.

Ferhat SEYİS
Trabzon 2010

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMOLLER DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Elastik Zemine Oturan Plaklar.....	2
1.2.1. Zemin-Yapı Etkileşim Modelleri.....	2
1.2.1.1. Bir Parametrelî Model	3
1.2.1.2. İki Parametrelî Model	4
1.2.1.3. Üç Parametrelî Model.....	8
1.2.2. Mindlin Plak Teorisi	9
1.2.2.1. Yerdeğiştirme Bileşenleri	10
1.2.2.2. Şekildeğiştirme-Yerdeğiştirme Bağlıntıları.....	11
1.2.2.3. Gerilme-Şekildeğiştirme Bağlıntıları.....	12
1.2.2.4. Gerilme-Yerdeğiştirme Bağlıntıları.....	13
1.2.2.5. Moment ve Kesme Kuvveti Bağlıntıları	14
1.2.2.6. Plak Denklemleri	15
1.3. Plaklar Konusunda Yapılan Bazı Çalışmalar	16
1.4. Plakların Zorlanmış Titreşimi.....	20
1.5. Newmark- β Yöntemi	20
1.6. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı.....	23
1.7. Sonlu Elemanlar Yöntemi Hakkında Özet Bilgi	24

1.71.	Shell 281 Elemanının Özellikleri.....	25
1.7.2.	Solid 95 Elemanının Özellikleri	25
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	26
2. 1.	Sonlu Eleman Ağının Belirlenmesi	36
2. 2.	Zaman Artımının Belirlenmesi	38
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER	39
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	61
5.	KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

Elastik zemine oturan plak kavramı uygulamada çok sık karşılaşılan yapı elemanı olduğundan, bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar doğal olarak oldukça fazladır. Daha çok yüksek maliyet gerektiren büyük kapsamlı işlerde ve stratejik yapılarda kullanılan elastik zemine oturan plakların her türlü dış etkiye karşı yeter güvenlikte inşası büyük önem kazanmaktadır. Bundan dolayı, dış yükler ve kendi ağırlıkları altındaki gerilme, deformasyon, eğilme ve çeşitli noktadaki deplasmanlarının hesaplandığı statik ve dinamik yükler altındaki dinamik analizleri yeter hassasiyete sahip olarak yapılmaktadır.

Bu çalışmada Mindlin kalın plak teorisi kullanılarak elastik zemine oturan deprem etkisindeki plakların parametrik dinamik analizi üzerinde durulması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda plak boyutları, plak kalınlıkları ve zemin derinlikleri gibi farklı parametreler dikkate alınarak, elastik zemine oturan kenarları serbest kalın plakların deprem etkisindeki davranışları incelenmektedir. Bu inceleme, çözümlemede sonlu eleman yöntemini kullanan ANSYS V11 programı yardımıyla yapılmıştır. Bu amaçla hazırlanan çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın birinci bölümünde, zemin modelleri incelenerek Mindlin Plak Teorisi üzerinde durulmakta, plaklar konusunda daha önce gerçekleştirilmiş çalışmalar sunulmakta, dinamik analiz konusunda temel bilgiler verilmekte ve çalışmanın amaç ve kapsamı belirtilmektedir. İkinci bölümde, çözüm için kullanılacak sonlu eleman ağı ve zaman artımı belirlenmektedir. Üçüncü bölümde, yapılan çalışmalardan elde edilen bulgular tablolar ve grafikler halinde sunulmaktadır. Dördüncü bölümde, çalışmanın bütününden çıkartılan bazı sonuçlara ve getirilen önerilere yer verilmektedir. Bu bölümü kaynaklar listesi izlemektedir.

Sonuç olarak, zemin derinliğinin elastik zemine oturan deprem etkisindeki plakların yerdeğiştirmesine etkisinin bu çalışmada dikkate alınan diğer parametrelerin etkisinden daha büyük olduğu ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Elastik Zemine Oturan Kalın Plak, Mindlin Plak Teorisi, Dinamik Analiz, Parametrik İnceleme, Kenar Oranı, Kalınlık/Kenar Oranı, Zemin Derinliği

SUMMARY

Parametric Analysis of Thick Plates Resting on Elastic Foundation Subjected to Earthquake

Concept of plate resting on elastic foundation is very common in structural systems. Therefore, studies in this topic are quite much. It is important that the plates resting on elastic foundation that are used in the structure with high cost should be designed safely. Therefore, values of stress, deformation, bending moments and displacements occurring in the plates under dead and external load are should be obtained by using static and dynamic analysis with a sufficient sensitivity.

The purpose of this study is to analysis thick plates resting on elastic foundation subjected to earthquake by using Mindlin Plate Theory. For this purpose, different parameters such as aspect ratio, thickness/span ratio and subsoil depth are considered. In the analysis ANSYS V11 program is used.

This study consists of fur chapters. In the first chapter, subsoil models and Mindlin Plate Theory are summarized. Than a brief literature review on plates is presented, and then the purpose and scope of this study are mentioned. In the second chapter, the finite element mesh size and the time increment to be used in the analysis are determined. In the third chapter, the results obtained in the study are presented in tabular and graphical form and then evaluated. In the fourth chapter, the conclusions drawn from the results are presented and recommendations are made. This chapter is followed by a list of references.

It is concluded that the effects of soil depth on maximum displacement of thick plates resting on elastic foundation subjected to earthquakes are more effective than those of the other parameters.

Key Words: Thick Plates Resting on Elastic Foundation, Mindlin Plate Theory, Dynamic Analysis, Parametric Analysis, Aspect Ratio, Thickness/Span Ratio, Subsoil Depth

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Bir parametrelili zemin modeline göre yerdeğiştirme durumları	5
Şekil 1.2. Filenonko-Borodich modeline göre yerdeğiştirme durumları	7
Şekil 1.3. Pasternak Modeli	8
Şekil 1.4. Bu çalışmada kullanılan kalın plakta dikkate alınan serbestlikler şeması.....	10
Şekil 1.5. Bu çalışmada dikkate alınan koordinat eksenleri ve plak şeması ile dış etki	11
Şekil 1.6. Dış kuvvetler ve momentlerin pozitif yönleri.....	15
Şekil 1.7. 13 Mart 1992 Erzincan Depremi Doğu-Batı bileşeni	23
Şekil 1.8. Shell 281 Sonlu Elemanın Geometrik Şekli	25
Şekil 1.9. Solid 95 Sonlu Elemanın Geometrik Şekli.....	25
Şekil 2.1. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=5m$, $b/a=1$, $t/a=1/18$).....	27
Şekil 2.2. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=5m$, $b/a=1$, $t/a=1/15$).....	27
Şekil 2.3. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=5m$, $b/a=1$, $t/a=1/12$).....	27
Şekil 2.4. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=5m$, $b/a=2$, $t/a=1/18$).....	28
Şekil 2.5. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=5m$, $b/a=2$, $t/a=1/15$).....	28
Şekil 2.6. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=5m$, $b/a=2$, $t/a=1/12$).....	28
Şekil 2.7. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=5m$, $b/a=3$, $t/a=1/18$).....	29
Şekil 2.8. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=5m$, $b/a=3$, $t/a=1/15$).....	29
Şekil 2.9. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=5m$, $b/a=3$, $t/a=1/12$).....	29
Şekil 2.10. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=10m$, $b/a=1$, $t/a=1/18$).....	30
Şekil 2.11. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=10m$, $b/a=1$, $t/a=1/15$).....	30

Şekil 2.12. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=10m$, $b/a=1$, $t/a=1/12$).....	30
Şekil 2.13. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=10m$, $b/a=2$, $t/a=1/18$).....	31
Şekil 2.14. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=10m$, $b/a=2$, $t/a=1/15$).....	31
Şekil 2.15. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=10m$, $b/a=2$, $t/a=1/12$).....	31
Şekil 2.16. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=10m$, $b/a=3$, $t/a=1/18$).....	32
Şekil 2.17. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=10m$, $b/a=3$, $t/a=1/15$).....	32
Şekil 2.18. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=10m$, $b/a=3$, $t/a=1/12$).....	32
Şekil 2.19. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=15m$, $b/a=1$, $t/a=1/18$).....	33
Şekil 2.20. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=15m$, $b/a=1$, $t/a=1/15$).....	33
Şekil 2.21. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=15m$, $b/a=1$, $t/a=1/12$).....	33
Şekil 2.22. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=15m$, $b/a=2$, $t/a=1/18$).....	34
Şekil 2.23. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=15m$, $b/a=2$, $t/a=1/15$).....	34
Şekil 2.24. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=15m$, $b/a=2$, $t/a=1/12$).....	34
Şekil 2.25. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=15m$, $b/a=3$, $t/a=1/18$).....	35
Şekil 2.26. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=15m$, $b/a=3$, $t/a=1/15$).....	35
Şekil 2.27. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=15m$, $b/a=3$, $t/a=1/12$).....	35
Şekil 2.28. Yakınsama çalışması için dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($b/a=1$, $t/a=1/18$, $H=5m$).....	36
Şekil 2.29. Farklı sonlu eleman ağları için elastik zemine oturan kalın plağın orta noktasındaki yerdeğiştirmesinin zamana bağlı değişimi	37

Şekil 2.30. Yakınsama çalışması sonucu elde edilen elastik zemine oturan kalın plağın sonlu eleman ağı ($b/a=1$, $t/a=18$, $H=5m$).....	37
Şekil 2.31. Farklı zaman artımları için elastik zemine oturan kalın plağın orta noktasındaki yerdeğiştirmesinin zamana bağlı değişimi	38
Şekil 3.1. Maksimum eşyerdeğiştirme diyagramı ($H=5m$, $b/a=1$, $t/a=1/18$)	40
Şekil 3.2. Maksimum eşyerdeğiştirme diyagramı ($H=5m$, $b/a=1$, $t/a=1/12$)	40
Şekil 3.3. Maksimum eşyerdeğiştirme diyagramı ($H=15m$, $b/a=3$, $t/a=1/18$)	41
Şekil 3.4. Maksimum eşyerdeğiştirme diyagramı ($H=15m$, $b/a=3$, $t/a=1/12$)	41
Şekil 3.5. Elastik zemine oturan plağın orta noktasındaki yerdeğiştirmenin zamana göre değişimi ($H=5m$, $b/a=1$, $t/a=1/18$)	42
Şekil 3.6. Elastik zemine oturan plağın orta noktasındaki yerdeğiştirmenin zamana göre değişimi ($H=5m$, $b/a=1$, $t/a=1/12$)	43
Şekil 3.7. Elastik zemine oturan plağın orta noktasındaki yerdeğiştirmenin zamana göre değişimi ($H=15m$, $b/a=3$, $t/a=1/18$)	43
Şekil 3.8. Elastik zemine oturan kalın plağın orta noktasındaki yerdeğiştirmenin zamana göre değişimi ($H=15m$, $b/a=3$, $t/a=1/12$).....	44
Şekil 3.9. Elastik zemine oturan kalın plağın orta noktasındaki M_x ve M_y momentlerinin zamana göre değişimi ($H=5m$, $b/a=1$, $t/a=1/18$)	45
Şekil 3.10. Elastik zemine oturan kalın plağın orta noktasındaki M_x ve M_y momentlerinin zamana göre değişimi ($H=5m$, $b/a=1$, $t/a=1/12$)	45
Şekil 3.11. Elastik zemine oturan kalın plağın orta noktasındaki M_x momentinin zamana göre değişimi ($H=15m$, $b/a=3$, $t/a=1/18$).....	46
Şekil 3.12. Elastik zemine oturan kalın plağın orta noktasındaki M_y momentinin zamana göre değişimi ($H=15m$, $b/a=3$, $t/a=1/18$).....	46
Şekil 3.13. Elastik zemine oturan kalın plağın orta noktasındaki M_x momentinin zamana göre değişimi ($H=15m$, $b/a=3$, $t/a=1/12$).....	47
Şekil 3.14. Elastik zemine oturan kalın plağın orta noktasındaki M_y momentinin zamana göre değişimi ($H=15m$, $b/a=3$, $t/a=1/12$).....	47
Şekil 3.15. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum yerdeğiştirmenin t/a ve b/a oranı ile değişimi ($H=5m$).....	50
Şekil 3.16. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum yerdeğiştirmenin t/a ve b/a oranı ile değişimi ($H=10m$).....	50
Şekil 3.17. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum yerdeğiştirmenin t/a ve b/a oranı ile değişimi ($H=15m$).....	51

Şekil 3.18. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_x eğilme momentinin t/a ve b/a oranı ile değişimi ($H=5m$).....	51
Şekil 3.19. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_x eğilme momentinin t/a ve b/a oranı ile değişimi ($H=10m$)....	52
Şekil 3.20. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_x eğilme momentinin t/a ve b/a oranı ile değişimi ($H=15m$)....	52
Şekil 3.21. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_y eğilme momentinin t/a ve b/a oranı ile değişimi ($H=5m$).....	53
Şekil 3.22. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_y eğilme momentinin t/a ve b/a oranı ile değişimi ($H=10m$)....	53
Şekil 3.23. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_y eğilme momentinin t/a ve b/a oranı ile değişimi ($H=15m$)....	54
Şekil 3.24. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum yerdeğiştirmenin t/a oranı ve zemin derinliği (H) ile değişimi ($b/a=1$)	55
Şekil 3.25. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum yerdeğiştirmenin t/a oranı ve zemin derinliği (H) ile değişimi ($b/a=2$)	56
Şekil 3.26. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum yerdeğiştirmenin t/a oranı ve zemin derinliği (H) ile değişimi ($b/a=3$)	56
Şekil 3.27. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_x momentinin t/a oranı ve zemin derinliği (H) ile değişimi ($b/a=1$)	57
Şekil 3.28. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_x momentinin t/a oranı ve zemin derinliği (H) ile değişimi ($b/a=2$)	57
Şekil 3.29. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_x momentinin t/a oranı ve zemin derinliği (H) ile değişimi ($b/a=3$)	58
Şekil 3.30. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_y momentinin t/a oranı ve zemin derinliği (H) ile değişimi ($b/a=1$)	58
Şekil 3.31. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_y momentinin t/a oranı ve zemin derinliği (H) ile değişimi ($b/a=2$)	59
Şekil 3.32. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_y momentinin t/a oranı ve zemin derinliği (H) ile değişimi ($b/a=3$)	59

TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 3.1. Elastik zemine oturan deprem etkisindeki kalın plakların mutlak değerce maksimum yerdeğiştirme ve eğilme momentleri	49
--	----

SEMBOLLER DİZİNİ

a	: Plağın x eksenini doğrultusundaki kenar uzunluğu
b	: Plağın y eksenini doğrultusundaki kenar uzunluğu
D	: Plağın eğilme rijitliği
E	: Elastisite modülü
F	: Membran Kuvveti
f	: Doğal frekans
G	: Kayma modülü
H	: Zemin derinliği
k	: Zemin yatak katsayısı
T	: Periyot
t	: Plak kalınlığı
V	: Dış yüklerin meydana getirdiği potansiyel enerji
$[K]$: Rijitlik matrisi
$[M]$: Kütle matrisi
q	: Yayılı yük şiddeti
Q	: Kesme kuvveti
u, v, w	: Plağın x, y ve z eksenini doğrultularındaki yerdeğişirmeleri
$\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}$: Zeminin x, y ve z eksenini doğrultularındaki yerdeğişirmeleri
$2t$: Zeminin kayma parametresi
Π	: Toplam şekil değiştirme enerjisi
Π_p	: Plağın potansiyel enerjisi
Π_s	: Zeminin potansiyel enerjisi
∇	: Laplace operatörü
σ	: Normal gerilme
τ	: Kayma gerilmesi
ν	: Poisson oranı
\ddot{u}_g	: Deprem ivmesi
\dot{w}	: Sistemin hızı
\ddot{w}	: Sistemin ivmesi

Δt : Dinamik analizde zaman artımı
 ω : Açısal frekans

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Plakların uygulama alanlarının geniş olması sebebiyle bu konuda yapılan çalışmalar oldukça fazladır. Elastik zemine oturan plaklar da özel olarak çalışılmış, çeşitli araştırmalara konu olmuştur. Elastik zemine oturan çeşitli geometrideki kiriş, plak ve kabukların lineer ve lineer olmayan analizleri geçen 50 yıl boyunca araştırmacıların ve teorisyenlerin en fazla ilgisini çeken konulardan biri olmuştur. Özellikle 1960'lı yıllardan sonra uçak-uzay sanayisindeki hızlı gelişmeler ve kompozitlerin sektörde kullanılması ile farklı tip ve amaçlar için geliştirilen yapılar ile birlikte elastik zemine oturan yapı türlerinde ve ihtiyaçlarında da bir artış olmuştur.

Plaklar, kalınlığı diğer iki boyutu yanında çok küçük olan, genellikle orta düzlemine dik olarak yüklenen düzlemsel yapı elemanlarıdır. Kullanım amacına ve inşa edileceği yere bağlı olarak çeşitli geometrik şekillere ve çeşitli mesnet koşullarına sahip olabilirler. Geometrik olarak plaklar, kenarları doğrusal ve/veya eğrisel olabilirken, statik olarak serbest uçlu, çökme ve dönmeye karşı elastik mesnet gibi çeşitli sınır şartları içeren basit mesnetli, ankastre mesnetli veya noktasal mesnetli olabilmektedirler.

Plaklar kalınlığının (t), kısa kenar uzunluğuna (a) oranına göre ince ve kalın plaklar adı altında iki gruba ayrılmaktadır. Teknik literatürde (t/a) oranı $1/20$ 'den küçük olanlar ince, büyük olanlar ise kalın plaklar olarak adlandırılmaktadır. İnce plaklar büyük ve küçük yerdeğiştirmeler yapan plaklar olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Kalın plaklar ise küçük yerdeğiştirmeler ile sınırlandırılmaktadırlar.

Elastik zemine oturan plak ve kabuk kavramı pek çok sektörde özellikle; füze ve roket rampaları olarak askeri alanlarda ve uçak-uzay sanayisinde, teknolojide çeşitli uygulamalarda, inşaat ve makine mühendisliği alanlarında, endüstride çeşitli fabrika kren ve makinelerin zemine sabitlenmesinde, kıyı-liman yapılarında, temel ve zemin mühendisliğinde, nükleer enerji santrallerinde, uçak hangarlarında, özel amaçlı (özellikle ağır kargo uçakları ve süpersonik uçakların inebileceği) hava alanı inşasında ve demiryolu uygulamalarında karşılaşırlar (Civalek, 2004).

Daha çok yüksek maliyet gerektiren büyük kapsamlı işlerde ve stratejik yapılarda kullanılan elastik zemine oturan plak ve kabukların her türlü dış etkiye karşı yeter

güvenlikte inşası büyük önem kazanmaktadır. Dolayısı ile, gerek mevcut yükler ve kendi ağırlıkları altındaki gerilme, deformasyon, eğilme ve çeşitli noktalarındaki deplasmanlarının hesaplandığı statik hesap ve gerekse deprem gibi dinamik yükler altındaki dinamik analizleri yeter hassasiyete sahip olarak yapılmalıdır (Civalek, 2004).

Bu tür problemlerde zeminin davranışının yapıya olan etkisi büyük önem taşımaktadır. Çünkü, yapıya gelen yükler zemine iletilecek ve zemin ile yapı bu etkiye karşı birlikte tepki göstereceklerdir. Zeminin yapı üzerinde oluşturacağı etkileri ortaya koyabilmek ve bu etkileri hesaplarda dikkate almak, zemin-yapı etkileşiminin belirlenmesindeki esas amaçtır. Bu etkileşimi belirleyebilmek için zemin ve yapının özelliklerinin iyi tespit edilmesi gerekir. Yapı malzeme özellikleri doğru tespit edilebilirken, zemin davranışının lineer, homojen ve izotrop olduğu kabul edilse bile, zemin ortamının karmaşıklığından dolayı bu etkileşimi belirmemek oldukça güçtür.

1.2. Elastik Zemine Oturan Plaklar

Elastik zemin problemlerinin formülasyonunda çoğu zaman yapılan yaklaşım, plak, kiriş ve kabukların diferansiyel denklemlerine zemin tepkisinin dahil edilmesidir. Elastik zemine oturan plak problemlerin çözümü üç aşamada gerçekleştirilmektedir. Birinci olarak plağın davranışı ve zemin ile ilgili temel kabullerin yapılması, ikincisi zemin parametreleri, eleman kesiti ve malzeme gibi gerekli olan büyüklüklerin tespiti ve son olarak ta gerçek çözümlere yakın sonuçlar elde etmek için bir sayısal çözümleme tekniği seçimi ve kullanımınıdır.

1.2.1. Zemin-Yapı Etkileşim Modelleri

Dış yükler etkisindeki zeminin oluşturacağı tepkinin değerlendirmesini yapabilmek için zemin-yapı etkileşim problemlerinin analizi önemli bir yer tutmaktadır. Zemin gerilme-şekildeğiştirme özellikleri ile ilgili olarak zemin hakkında bir değerlendirme yapılabilir. Bu gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri zeminin mekanik özelliklerini gösteren matematiksel bir ifadedir. Zemin gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi herhangi bir zamanda uygulanan herhangi bir yükleme şartları altında meydana gelen teorik bir ilişkidir. Zeminin gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin genelleştirilmesi tüm zemin davranışları için

gereksinimleri karşılayabilmeli ve özellikle de zemin-yapı etkileşimin analizini sağlayabilecek özellikte olmalıdır.

Bilindiği üzere zeminde karmaşık olan ve homojen olmayan yapısı nedeni ile, bir takım idealleştirmelerin yapılması gerekmektedir. Elastisite ve plastisite teorileri zemin mekaniği problemlerinin analizinde kullanılan iki idealleştirmedir. İdealleştirilmiş zemin veya zeminin gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi genelleştirilmiş olsa bile bunlar zeminin gerçek özelliklerini göstermek açısından yeterli olmamaktadır. Herhangi bir zemin modeli ve malzeme davranışı açısından söylenebilecek en iyi şey, faydalanılabilecek kesin bir takım özelliklere, limit durumunda olan bir takım işlemlerimizde olduğu gibi, ulaşabilmemizdir. Zemin davranışının matematiksel ve fiziksel idealleştirmeleri sayesinde, zemin mekaniğindeki birçok karmaşık sınır değer problemlerinin çözümünü iyileştirmek mümkün olabilmektedir.

Zemin-yapı etkileşim problemlerinin analizinde idealleştirilmiş zemin modelleri kullanılabilir. Bir zemin-yapı etkileşim problemi için idealleştirilmiş zemin davranış seçimi tek değildir. Bu durum, zemin durumu ve dış yükler gibi birçok etkene bağlıdır.

Sonuç olarak elastik zemine oturan kiriş ve plak problemlerinin matematik metotlarla çözümü zeminin oldukça karmaşık bir yapıya sahip olması sebebiyle bir takım idealleştirmeler gerektirmektedir. Bu idealleştirmeler genellikle zeminin davranışıyla ilgili olmaktadır. Zemin-yapı etkileşimini temsil eden modeller kabaca üç ana başlık altında toplanabilmektedir. Bunlar sırasıyla bir parametrelili, iki parametrelili ve üç parametrelili modeller olarak isimlendirilebilirler.

1.2.1.1. Bir Parametrelili Model

Zemin ile yapı arasındaki ilişki ilk olarak en basit haliyle 1867 yılında Winkler tarafından modellenmiştir. Bu model Winkler modeli olarak adlandırılmaktadır. Bu modelde; zeminin birbirine sonsuz yakın, lineer ve elastik yaylardan meydana geldiği ve zemin düşey yerdeğiştirmesinin (w) sadece o noktaya etki eden taban basıncına (p) ve idealleştirilmiş zemindeki yay sabitine (k) bağlı olduğu kabul edilmektedir. Yayların sadece doğrudan doğruya yüklendiklerinde şekildeğiştirmeleri ve bir karşı tepki oluşturdukları ancak her yayın komşu yayın yükleme durumundan etkilenmediği kabul

edilmektedir. Bunun sonucunda zemin tamamen süreksiz bir ortam şeklinde dikkate alınmış olmaktadır (Özgan ve Daloğlu, 2005).

Bu modelde taban basıncı,

$$q(x, y) = kw(x, y) \quad (1.1)$$

ifadesiyle verilmektedir (Selvaduari, 1979).

Burada k elastik yay katsayısıdır. Uygulamada “zemin parametresi” veya “yatak katsayısı” olarak da adlandırılmaktadır. Bu parametre düşey yerdeğiştirme bir birim olduğunda birim genişlikteki birim alana gelen tepki kuvvetini ifade etmektedir.

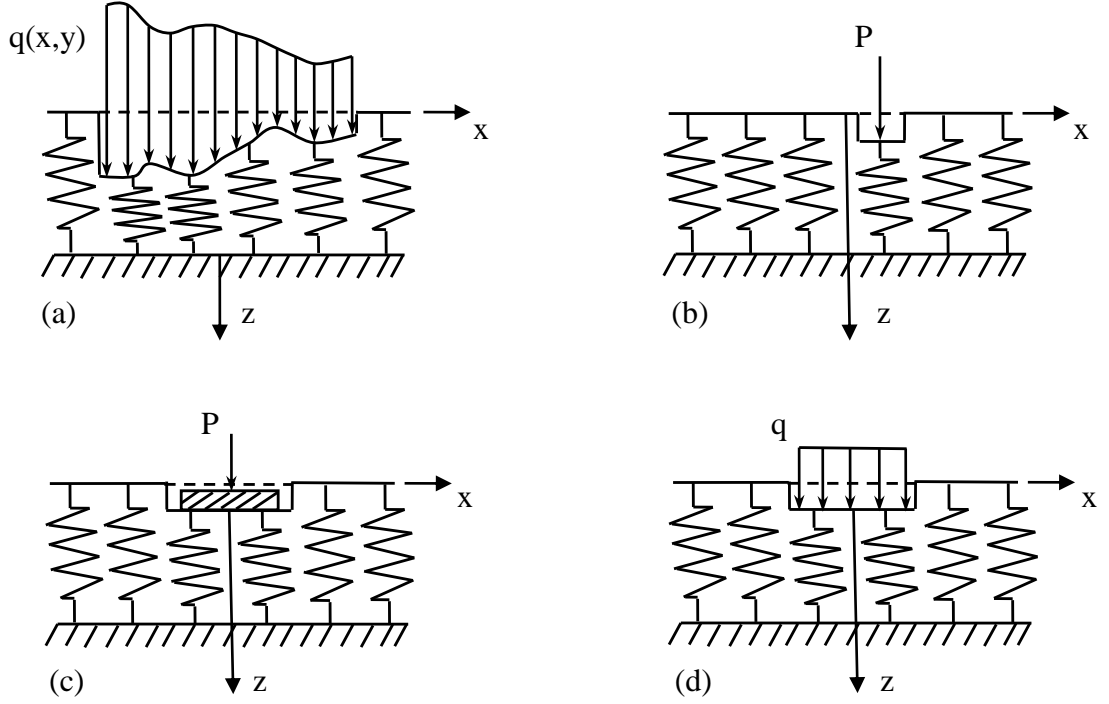
Winkler modelinde zemini temsil eden yaylar arasındaki etkileşim dikkate alınmamaktadır. Diğer bir deyişle, herhangi bir yüke maruz kalan zeminin sadece yük doğrultusunda yerdeğiştirme yaptığı kabul edilir. Yük dışındaki noktalarda herhangi bir yerdeğiştirme meydana gelmez (Şekil 1.1). Oysaki, elastik tabakanın yüzeyindeki bir noktada oluşan yerdeğiştirme sadece o noktaya etki eden kuvvetten değil aynı zamanda diğer noktadaki kuvvetlerden de etkilenmektedir.

Diğer bir sorun yatak katsayısı olarak tanımlanan parametrenin nasıl hesaplanacağı sorusudur. Bu amaçla kullanılan ancak farklı sonuçlar veren çeşitli bağıntılar mevcuttur. Aynı zamanda model her ne kadar tekil yük durumunda tatminkar sonuçlar verse de düzgün yayılı yük durumunda gerçekçi olmayan sonuçlara götürmektedir. Yaylar arasındaki etkileşimi dikkate almadığından, düzgün yayılı yük durumunda, plağın her noktasındaki yerdeğiştirmeler eşit çıkmakta dolayısıyla dönme ve eğilme momenti oluşmamaktadır (Özgan, 2007).

1.2.1.2. İki Parametrelili Model

Winkler modelinin zeminin gerçek davranışını yansıtmadığını, bazı idealleştirmelerin gerektiğini, zemin ortamının daha karmaşık matematiksel ifadeler içerdiğini savunan birçok araştırmacı yaylar arasındaki etkileşimi de dikkate alan yeni modeller üzerinde çalışmışlardır. Bu modellerin bazıları aşağıda verilmiştir.

- a) Filonenko-Borodich Modeli
- b) Hetenyi Modeli
- c) Pasternak Modeli
- d) Vlasov Modeli



- (a) Düzgün yayılı olmayan yük altında zemini yerdeğiştirme durumu
- (b) Tekil yük altında zeminin yerdeğiştirme durumu
- (c) Rijit bir tabaka ile aktarılan yük altında zeminin yerdeğiştirme durumu
- (d) Düzgün yayılı yük altında zeminin yerdeğiştirme durumu

Şekil 1.1. Bir parametrelili zemin modeline göre yerdeğiştirme durumları (Selvaduria, 1979)

Bu modellerin ortak yanı zemin tabakasındaki kayma şekildeğiştirmelerini ve plakta oluşacak kesme kuvvetini dikkate almalarıdır. Bu modellerin tamamı temelde aynıdır. Sadece zeminin ikinci parametresinin belirlenmesi konusunda birbirinden ayrılırlar.

Filonenko-Borodich (1940, 1945), geliştirdikleri modelde, Winkler zemininde yaylar üzerinde elastik bir zar olduğunu varsaymışlardır. Bu sayede etki eden yüke bağlı olarak

yüzeyde gerilmeler oluşmaktadır (Şekil 1.2). Bu modelde zemin tepki fonksiyonu, F membran kuvvetini, ∇^2 Laplace operatörünü göstermek üzere;

$$q(x, y) = kw(x, y) - F\nabla^2 w(x, y) \quad (1.2)$$

ifadesi ile elde edilir. Buradaki Laplace operatörü

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \quad (1.3)$$

şeklindedir. Bir boyutlu problemlerde (1.2) nolu bağıntı,

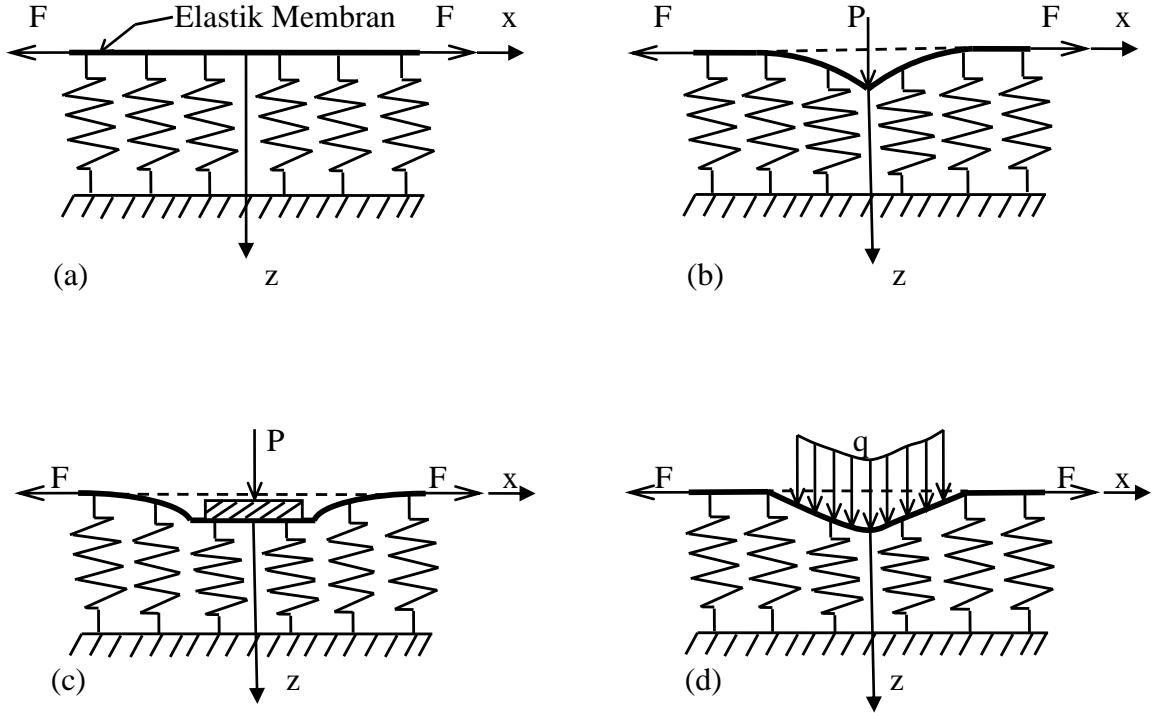
$$q(x, y) = kw(x, y) - F \frac{d^2 w(x)}{dx^2} \quad (1.4)$$

şeklini almaktadır.

Hetenyi (1946, 1950), çalışmasında, bağımsız yaylar üzerinde, eğilme rijitliği D olan bir plak olduğu kabulünü yapmıştır. Bu çalışmaya göre tepki fonksiyonu;

$$q(x, y) = kw(x, y) - D\nabla^4 w(x, y) \quad (1.5)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Fakat burada, k 'nın belirlenmesiyle ilgili olarak bir yöntem belirtilmemiştir.



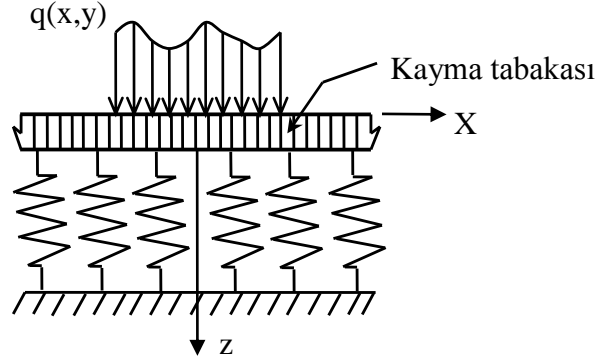
- (a) Yüksüz durum
 (b) Tekil yük altında zeminin yerdeğiştirme durumu
 (c) Rijit bir tabaka ile aktarılan yük altında zeminin yerdeğiştirme durumu
 (d) Yayıllı yük altında zeminin yerdeğiştirme durumu

Şekil 1.2. Filenonko-Borodich modeline göre yerdeğiştirme durumları (Selvaduria, 1979)

Pasternak (1954), ortaya sürdüğü modelde, Winkler zemini üzerinde sıkışmayan bir kayma tabakası olduğu kabulünü yapmıştır (Şekil 1.3). Bu dikkate alınan tabaka düşey elemanlardan oluşan, sadece düşey yönde yerdeğiştirme yapabilen ve kesme etkisinde deformasyona uğrayan bir tabakadır. Bu modele göre zeminin tepki fonksiyonu,

$$q(x, y) = kw(x, y) - G\nabla^2 w(x, y) \quad (1.6)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada G zeminin kayma modülünü göstermektedir.



Şekil 1.3. Pasternak Modeli (Selvadurai, 1979)

Vlasov ve Leontiev (1966), daha önce konuyla ilgili yapılan çalışmalardaki uygulama zorlukları ve olumsuzlukları sebebiyle, yeni bir teorik çalışma ortaya koyarak, plaklar için iki parametrelili modeli geliştirmişlerdir. Bu model genellikle Vlasov modeli olarak bilinmektedir. Bu modele göre zemin tepki fonksiyonu,

$$q(x, y) = kw(x, y) - 2t\nabla^2 w(x, y) \quad (1.7)$$

bağıntısı ile ifade edilmektedir. Bu bağıntıda $2t$ zeminin kayma parametresini temsil etmektedir.

Yukarıdaki bağıntılarda bulunan k , F , D ve G parametrelerini hesaplamada kesin bir yöntem bulunmadığından, bu parametreler zeminin elastik özelliklerinden doğrudan elde edilmektedir.

1.2.1.3. Üç Parametrelili Model

Literatürde bulunan iki parametrelili modellerinde bazı olumsuz yönleri vardır. Bunlar aşağıda verilmiştir (Oğuzhan, 2001).

- i. Statik modellerdir, zemindeki dinamik etkileri dikkate almamaktadırlar.
- ii. Sadece zeminin düşey yöndeki direncini tanımlamaktadırlar.
- iii. Zemin içerisindeki değişimi dikkate almamaktadırlar. Zemin tabakasının homojen yarı sonsuz olması durumunda ya da rijit bir kayaya oturan tek bir tabaka olduğunda zeminin elastik davranışını temsil etmemektedir.

- iv. Modeldeki parametreler gerçek olmayan kurumsal ifadelerdir. Bu parametrelerin alabileceği değerlerle zemin özellikleri arasında kesin bir ilişkiyi gösteren ifade bulunmamaktadır.

Oysaki yapı mühendisleri gerek ekonomik gerekse emniyetli projelendirmeler gerçekleştirebilmek için kullanacakları bilgisayar programlarında zemin parametrelerin ne alınacağı konusunda kesin ve somut bilgilere ihtiyaç duymaktadırlar. Bu eksikliklerin bilincinde olan araştırmacılar tarafından yapıdaki ve zemindeki kayma etkilerini dikkate alan Vlasov modeli üzerinde zemin parametrelerinin hesabında izlenecek yol ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaları iki parametrelili modellerden ayıran özellik zemin yatak katsayısı ve zemin kayma parametresi olarak adlandırılan parametrelerin bir veri olarak kabulü yerine zeminin elastik özelliklerinden faydalanarak hesaplanması için bir takım yöntemlerin geliştirilmeye çalışılmasıdır. Bu modellerden en bilineni *Değiştirilmiş Vlasov Modeli* olarak adlandırılan modeldir. Bu tür modellerde zemin parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan üçüncü bir parametre karşımıza çıkmaktadır (Özgan, 2007).

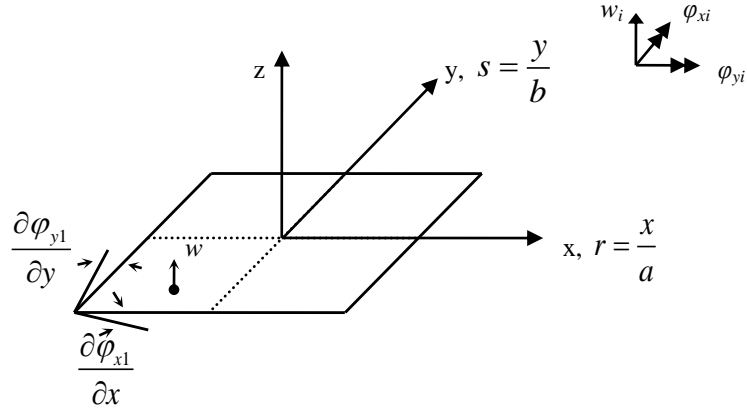
1.2.2. Mindlin Plak Teorisi

Kirchoff (1980) tarafından geliştirilen plak teorisi yaygın olarak kullanılmaktadır. İnce plakların çözümünde yeterli bir yaklaşıklıkla kullanılan Kirchoff teorisinde düzleme dik kayma şekildeğiştirmelerinin etkisi ihmal edilmektedir. Oysa plak kalınlığı arttıkça söz konusu etkinin hesaba katılması zorunlu olmaktadır. Bu doğrultuda geliştirilen teorilerin başında Reissner (1944, 1945, 1947)'in çalışmaları gelmektedir. Bu çalışmada da kullanılan ve araştırmacılar arasında yaygın olarak kullanılan bir diğer kalın plak teorisi de Mindlin (1951) tarafından geliştirilmiştir. Bu teoride yapılan başlıca temel kabuller aşağıda verilmiştir.

1. Malzeme homojen, izotrop ve lineer elastiktir.
2. Eğilme esnasında plağın orta yüzeyinde şekildeğiştirme meydana gelmemektedir.
3. Düşey doğrultudaki düşey gerilmeler diğer gerilmeler ile kıyaslandığında çok küçük kalmaktadır. Bu nedenle σ_z gerilmeleri ihmal edilmektedir.

4. Lagrange'in klasik plak denklemlerinden farklı olarak τ_{xz} ve τ_{yz} gerilmeleri ihmal edilmemektedir.
5. Denge denklemlerinde hacim kuvvetleri ihmal edilmektedir.
6. Şekil değiştirmeden önce düzlem ve orta yüzeye dik olan kesitler şekil değiştirmeden sonra düzlem kalırlar, ancak dik olmazlar.

Bu kabullerden ilk üçü aynı zamanda Kirchoff plak teorisinde de kullanılan kabullerdir. Mindlin plak teorisi son kabul ile Kirchoff plak teorisinden ayrılmaktadır. Bu kabul düzleme dik kayma şekil değiştirmelerinin etkisini hesaba katmaktadır. Kalınlık arttıkça söz konusu etkinin hesaba katılması zorunlu olmaktadır. Bu çalışmada kullanılan plakta dikkate alınan serbestlikler şeması Şekil 1.4'de verilmektedir.



Şekil 1.4. Bu çalışmada kullanılan kalın plakta dikkate alınan serbestlikler şeması

1.2.2.1. Yerdeğiştirme Bileşenleri

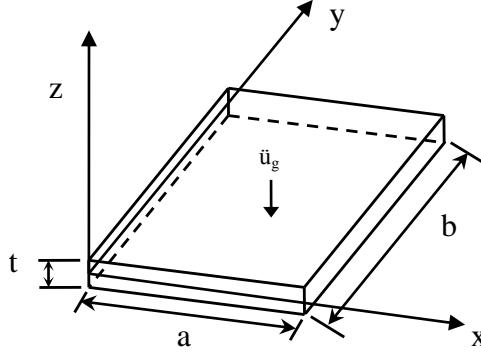
Şekil 1.4'ten görüldüğü gibi, plağın her düğüm noktasında üç serbestlik tanımlanmaktadır. Burada u ve v 'nin z ile orantılı ve w 'nın z 'den bağımsız olduğu kabul edilirse plak yerdeğiştirmeleri, w plağın düşey yerdeğiştirmesini, φ_x , φ_y sırasıyla x ve y doğrultusundaki dönmeleri göstermek üzere,

$$\begin{aligned}
w &= w \\
v &= z\varphi_y \\
u &= -z\varphi_x
\end{aligned}
\tag{1.8}$$

şeklinde ifade edilebilmektedir (Mindlin, 1951).

1.2.2.2. Şekildeğiştirme-Yerdeğiştirme Bağlılıları

Bu çalışmada kullanılan koordinat eksenleri ve şematik plak Şekil 1.5'de verilmektedir.



Şekil 1.5. Bu çalışmada dikkate alınan koordinat eksenleri ve plak şeması ile dış etki

Bir plakta yerdeğiştirmeler cinsinden normal ve kayma birim şekildeğiştirme bağıntıları, u , v ve w sırasıyla x , y ve z doğrultularındaki yerdeğiştirmeleri göstermek üzere,

$$\begin{aligned}
\varepsilon_x &= \frac{\partial u}{\partial x} & \gamma_{xy} &= \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \\
\varepsilon_y &= \frac{\partial v}{\partial y} & \gamma_{xz} &= \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \\
\varepsilon_z &= \frac{\partial w}{\partial z} & \gamma_{yz} &= \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z}
\end{aligned}
\tag{1.9}$$

ifadeleriyle verilmektedir. Yukarıda yapılan üçüncü kabul dikkate alınarak (1.8) bağıntısında verilen yerdeğiştirme bileşenlerinin şekildeğiştirme-yerdeğiştirme bağıntılarında yerine konulması ile,

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_x &= -z \frac{\partial \varphi_x}{\partial x} & \gamma_{xz} &= \frac{\partial w}{\partial x} - \varphi_x \\
 \varepsilon_y &= z \frac{\partial \varphi_y}{\partial y} & \gamma_{yz} &= \frac{\partial w}{\partial y} + \varphi_y \\
 \varepsilon_z &= \frac{\partial w}{\partial z} & \gamma_{xy} &= z \frac{\partial \varphi_y}{\partial x} - z \frac{\partial \varphi_x}{\partial y} = z \left(-\frac{\partial \varphi_x}{\partial y} + \frac{\partial \varphi_y}{\partial x} \right)
 \end{aligned} \tag{1.10}$$

ifadeleri elde edilmektedir.

1.2.2.3. Gerilme-Şekildeğiştirme Bağıntıları

Genelleştirilmiş Hooke yasası gereğince bir plak elemanda gerilme ifadeleri şekildeğiştirmelere bağlı olarak, E , G , ν , σ ve τ sırasıyla elastisite modülünü, kayma modülünü, Poisson oranını, normal gerilmeleri ve kayma gerilmelerini göstermek üzere,

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_x &= \frac{1}{E_x} (\sigma_x - \nu_{xy} \sigma_y - \nu_{xz} \sigma_z) & \gamma_{xy} &= \frac{\tau_{xy}}{G_{xy}} \\
 \varepsilon_y &= \frac{1}{E_y} (\sigma_y - \nu_{yx} \sigma_x - \nu_{yz} \sigma_z) & \gamma_{xz} &= \frac{\tau_{xz}}{G_{xz}} \\
 \varepsilon_z &= \frac{1}{E_z} (\sigma_z - \nu_{zx} \sigma_x - \nu_{zy} \sigma_y) & \gamma_{yz} &= \frac{\tau_{yz}}{G_{yz}}
 \end{aligned} \tag{1.11}$$

şeklinde verilmektedir. İzotrop plaklar için bu ifadelerde

$$\begin{aligned}
 E_x &= E_y = E_z = E \\
 G_{xy} &= G_{xz} = G_{yz} = G \\
 \nu_{xy} &= \nu_{xz} = \nu_{yx} = \nu_{yz} = \nu_{zx} = \nu_{zy} = \nu
 \end{aligned} \tag{1.12}$$

olmaktadır.

1.2.2.4. Gerilme-Yerdeğiştirme Bağıntıları

Gerilme değerlerini veren genel ifade matris formunda

$$\{\sigma\} = [E]\{\varepsilon\} \quad (1.13)$$

şeklindedir. Burada $[E]$ elastisite matrisini göstermektedir ve izotrop kalın plaklar için 5x5 boyutunda bir matris ile ifade edilmektedir. Bu matris, 3x3 ve 2x2 olarak üst ve alt matrislere ayrıldığında,

$$[E] = \begin{bmatrix} E_\kappa & 0 \\ 0 & E_\gamma \end{bmatrix} \quad (1.14)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Burada E_κ ve E_γ sırasıyla plağın eğilme matrisini ve kayma elastisite matrisini göstermek üzere;

$$[E_\kappa] = \begin{bmatrix} D_p & \nu D_p & 0 \\ \nu D_p & D_p & 0 \\ 0 & 0 & G \end{bmatrix} \quad (1.15)$$

$$[E_\gamma] = \begin{bmatrix} kG & 0 \\ 0 & kG \end{bmatrix}$$

bağıntılarıyla gösterilmektedirler (Chen ve Cheung, 2000; Cai vd., 2002). Burada D_p plağın eğilme rijitliği parametresini, G , kayma modülünü ifade etmektedir ve

$$D_p = \frac{E}{(1-\nu^2)} \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (1.16)$$

bağıntılarıyla belirlenmektedirler. Kalınlık doğrultusundaki kayma gerilmesi dağılımı parabolik olduğundan hesaplarda basitleştirme sağlaması bakımından bu gerilme dağılımı üniform kabul edilmektedir. Bu kabulün neticesinde parabolik dağılım üniforma çevrilirken bir kayma düzeltme katsayısı kullanılmaktadır. Reissner (1945) teorisinde bu düzeltme katsayısı 5/6 olarak dikkate alınmaktadır.

Denklem (1.10)'teki ifade ile verilen şekildeğiştirme-yerdeğiştirme bağıntılarının Denklem (1.11)'daki ifade ile verilen gerilme-şekildeğiştirme bağıntılarında kullanılmasıyla gerilme-yerdeğiştirme bağıntıları izotrop bir plak için

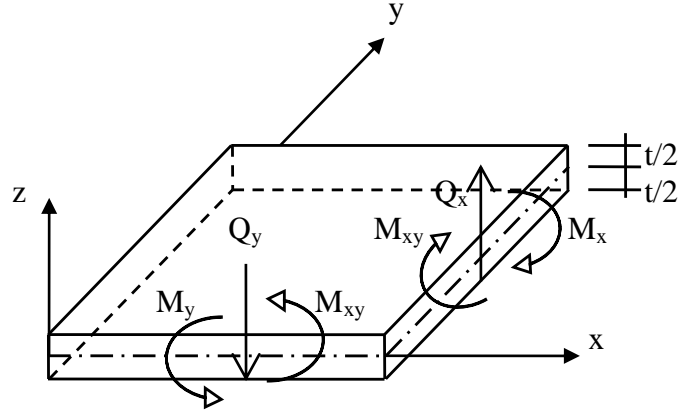
$$\begin{aligned}
 \sigma_x &= D \left(-\frac{\partial \varphi_x}{\partial x} + \nu \frac{\partial \varphi_y}{\partial y} \right) \\
 \sigma_y &= D \left(-\nu \frac{\partial \varphi_x}{\partial x} + \frac{\partial \varphi_y}{\partial y} \right) \\
 \tau_{xy} &= G \left(-\frac{\partial \varphi_x}{\partial y} + \frac{\partial \varphi_y}{\partial x} \right) \\
 \tau_{xz} &= \kappa G \left(\frac{\partial w}{\partial x} - \varphi_x \right) \\
 \tau_{yz} &= \kappa G \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \varphi_y \right)
 \end{aligned} \tag{1.17}$$

şeklinde elde edilmektedir.

1.2.2.5. Moment ve Kesme Kuvveti Bağıntıları

Pozitif yönleri Şekil 1.6'da gösterilen, gerilme bağıntılarından elde edilen moment ve kesme kuvvetleri ifadeleri aşağıda verilmektedir (Uğural, 1981).

$$\begin{aligned}
 M_x &= \int_{-t/2}^{+t/2} \sigma_x z dz & M_y &= \int_{-t/2}^{+t/2} \sigma_y z dz & M_{xy} &= \int_{-t/2}^{+t/2} \sigma_{xy} z dz \\
 Q_x &= \int_{-t/2}^{+t/2} \tau_{xz} dz & Q_y &= \int_{-t/2}^{+t/2} \tau_{yz} dz
 \end{aligned} \tag{1.18}$$



Şekil 1.6. Dış kuvvetler ve momentlerin pozitif yönleri

Denklem (1.17) ile verilen gerilme-yerdeğiştirme bağıntıları Denklem (1.18)'deki ifadelerde yerlerine yazılarak plağın kalınlığı boyunca integrali alınırsa plağın herhangi bir noktasındaki moment ve kesme kuvvetlerini veren bağıntılar,

$$\begin{aligned}
 M_x &= D \frac{t^3}{12} \left(-\frac{\partial \varphi_x}{\partial x} + \nu \frac{\partial \varphi_y}{\partial y} \right) \\
 M_y &= D \frac{t^3}{12} \left(\frac{\partial \varphi_y}{\partial y} - \nu \frac{\partial \varphi_x}{\partial x} \right) \\
 M_{xy} &= G \frac{t^3}{12} \left(-\frac{\partial \varphi_x}{\partial y} + \frac{\partial \varphi_y}{\partial x} \right) \\
 Q_x &= \kappa G t \left(\frac{\partial w}{\partial x} - \varphi_x \right) \\
 Q_y &= \kappa G t \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \varphi_y \right)
 \end{aligned} \tag{1.19}$$

şeklinde elde edilmektedir.

1.2.2.6. Plak Denklemleri

Deprem etkisine maruz plaktan çıkarılan çok küçük bir plak üzerinde moment ve kesme kuvvetlerinin her bir yüzdeki dağılımından faydalanarak dinamik denklemler,

$$\begin{aligned}
\frac{\partial M_x}{\partial x} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} - Q_x &= -\frac{mt^3}{12} \ddot{\varphi}_x \\
\frac{\partial M_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial M_y}{\partial y} - Q_y &= \frac{mt^3}{12} \ddot{\varphi}_y \\
\frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} - m\ddot{u}_g &= mt\ddot{w}_0
\end{aligned} \tag{1.20}$$

şeklinde verilmektedir. Bir plağın hareket denklemleri, (1.19) ifadelerinin (1.20) ifadelerinde yerine yazılmasıyla,

$$\begin{aligned}
D \frac{t^3}{12} \left(-\frac{\partial^2 \varphi_x}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 \varphi_y}{\partial x \partial y} \right) + G \frac{t^3}{12} \left(-\frac{\partial^2 \varphi_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi_y}{\partial x \partial y} \right) - \kappa G t \left(\frac{\partial w}{\partial x} - \varphi_x \right) &= -\frac{mt^3}{12} \frac{\partial^2 \varphi_x}{\partial h^2} \\
D \frac{t^3}{12} \left(\frac{\partial^2 \varphi_y}{\partial y^2} - \nu \frac{\partial^2 \varphi_x}{\partial x \partial y} \right) + G \frac{t^3}{12} \left(-\frac{\partial^2 \varphi_x}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \varphi_y}{\partial x^2} \right) - \kappa G t \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \varphi_y \right) &= \frac{mt^3}{12} \frac{\partial^2 \varphi_x}{\partial h^2} \\
\kappa G t \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \frac{\partial \varphi_x}{\partial x} \right) + \kappa G t \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial \varphi_y}{\partial y} \right) - m\ddot{u}_g &= mt \frac{\partial^2 w_0}{\partial h^2}
\end{aligned} \tag{1.21}$$

şeklinde elde edilir.

1.3. Plaklar Konusunda Yapılan Bazı Çalışmalar

Elastik zemine oturan plakların uygulamada geniş yer tutmasından ötürü bu konuda yapılan çalışmalar oldukça fazladır. Bu başlık altında sadece bu çalışmada referans alınan elastik zemin üzerine oturan kalın plakların dinamik analizi ve statik analizi ile ilgili yapılan bazı çalışmalar çözüden geçirilmiştir.

Elastik zemine oturan ince plaklar ile ilgili yapılan bazı çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

Vallabhan ve Das (1988), yaptıkları çalışmada Vlasov'un geliştirdiği 2-parametrelili modelin zemin ve kirişler arasındaki etkisini Winkler modelinden daha iyi göstermesine rağmen, 2-parametrelili model zemin içindeki deplasman dağılımını gösteren γ denilen üçüncü bir parametreyi geliştirmeye yönelik parametrik çalışma yapmışlardır. γ değerinin kiriş, zemin ve yükleme modunun boyutsuz ($k, 2t$) fonksiyonu olduğunu göstermişlerdir. İteratif süreç kullanılarak kabul edilebilir bir γ değeri hesaplanmıştır. Yine bu çalışma

kapsamında düzgün yayılı yükü taşıyan bir kiriş örneği çözümlenerek sonuçlar sonlu eleman çözümü ile karşılaştırılmıştır.

Vallabhan, Straughan ve Das (1991) yaptıkları çalışmada tabakalı zemin üzerine oturan dikdörtgen plağın çözümü için varyasyon prensibini ve Vlasov ve Leont'ev tarafından geliştirilen modelin kullanıp, sayısal yöntem olarak da sonlu farklar yönteminin dikkate almışlardır. Zemin yatak katsayısı yerine zemin malzeme özelliklerini kullanmışlardır. Yapı ve zemin malzeme özellikleri ile geometrisinden analiz için gerekli olan temel parametreleri içine alan bir program hazırlamışlardır. Yaptıkları bu çalışmada klasik Winkler modelinin temel tutarsızlıklarını ortaya çıkarmışlardır. Bir çok örneklerle de bu savlarını desteklemişlerdir.

Vallabhan ve Das (1991), yine yaptıkları çalışmada Vlasov ve Leont'ev'in elastik zemin üzerindeki kirişler için geliştirdikleri 2-parametrelili modeli baz alarak zemindeki gerilme azalmasını kontrol eden bir γ parametresi kabulünü yapmışlardır. Bu γ parametresini değerini belirlemek için daha önceden geliştirdikleri iteratif süreçle beraber oluşturdukları yeni modele "*Değiştirilmiş Vlasov Modeli*" adını vermişlerdir. Dördüncü derecede diferansiyel denklemi çözmek için sonlu farklar yöntemini kullanmışlardır. Geliştirdikleri modeli kullanarak çözdükleri problemlerden elde ettikleri sonuçları birçok sonlu elemanlar yöntemiyle çözdükleri örnek sonuçları ile karşılaştırmışlardır.

Kalın plakların statik analizi ile ilgili yapılan bazı çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

Chonan (1980), uzayda birbirleri ile ilişkisi olmayan durağan rastgele düzgün yayılı yüklerin etkisindeki basit mesnetli dikdörtgen kalın plakların eğilme momentlerini incelemiştir. Chonan bu çalışmasında Mindlin plak teorisini kullanmıştır.

Cheung ve Chan (1981), çalışmalarında daire dilimi şeklindeki kalın ve ince plakların statik ve dinamik analizini yapmışlardır. Bunun için sonsuz şerit metodunu kullanmışlar ve analiz için iki ve üç boyutlu şeritler geliştirmişlerdir. Çalışmalarında plakları izotrop ya da ortotrop; sabit veya değişken kalınlıklı ve değişik sınır koşullarına sahip olarak dikkate almışlardır.

Yuan ve Miller (1988), kalın plakların çözümü için eleman köşelerinde birer, kenarlarının ortasında birer ve elemanın ortasında bir olmak üzere 21 serbestlik dereceli 9 düğüm noktalı dikdörtgen sonlu plak eleman geliştirmişlerdir. Bu eleman kullanıldığı takdirde plak kalınlığının kısa kenar açıklığına oranının 0.0001 veya daha büyük olması durumunda kayma kilitlenmesi ile karşılaşılmadığını ifade etmişlerdir.

Kalın plakların dinamik analizleri ile ilgili yapılan bazı çalışmaları aşağıda sunulmaktadır.

Reddy ve Chao (1981), tabakalı kompozit malzemeli plakların büyük genlikli serbest titreşimini incelemişlerdir. Yang-Norris-Stavsky teorisini temel alan dikdörtgen sonlu eleman kullanmışlardır.

Roufael ve Dawe (1982), membrane gerilmesine maruz dikdörtgen Mindlin plakların titreşim analizini Rayleigh-Ritz yöntemini kullanarak yapmışlardır. Bu sayısal yöntemin ince ve orta kalın plaklar için yeterli olduğunu belirtmişlerdir.

Yamada vd. (1986), silindirik eğik plakların serbest titreşim analizini yapmışlardır. Bu çalışmada Timoshenko teorisini kullanmışlardır.

Chang ve Chiang (1988), kalın plakların dinamik analizi üzerinde çalışmışlardır. Bunun için 9 düğüm noktalı bir sonlu eleman modeli oluşturmuşlardır. Mindlin plaklarındaki denklemi elde etmek için Hamilton prensibini ve potansiyel teoriyi kullanmışlardır.

Ayvaz (1992), sonlu farklar yöntemi ile deprem yükleri etkisindeki betonarme plakların analizini gerçekleştirdiği çalışmasının bir bölümünde Reissner plak teorisini kullanarak ankastre döşemeleri incelemiştir.

Elastik zemine oturan kalın plakların statik analizleri ile ilgili yapılan bazı çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

Henwood vd. (1981), Winkler tipi elastik zemine oturan kalın plakların çözümünü sonlu farklar yöntemi kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçları sonlu eleman çözümleri ile kıyaslamışlardır.

Voyiadjis ve Kattan (1986), Winkler tipi elastik zemine oturan kalın plakları dikkate alarak, zemin parametresinin ve plak kalınlığının artmasının kayma şekildeğiştirmelerinin plağın davranışına etkisini arttırdığını göstermişlerdir.

Daloğlu ve Vallabhan (2000), tekil yük etkisindeki Winkler tipi elastik zemine oturan plak problemlerinde zemin yatak katsayısının tespit edilmesi için çeşitli grafikler ortaya koymuşlardır. Bu grafikler yardımıyla yapı-zemin özelliklerine ve yükleme durumuna göre hesaplarda kullanılacak zemin yatak katsayısı belirlemişlerdir.

Daloğlu (2004), elastik zemine oturan plakların analizinde kullanılmak üzere boyutsuz parametreler tanımlamıştır. Elastik zemine oturan, tekil yüke maruz plak problemini Winkler modeliyle çözmek için gerekli olan zemin yatak katsayısını, k , elde etmek için bir yöntem geliştirmiştir. Tekil yükün merkezde, köşede ve kenar ortasında etkimesi hallerini

incelemiştir. Winkler modelinde kullanılacak olan zemin yatak katsayısı elde edilmesi için grafikler sunmuştur. Yapının ve zeminin özellikleri ve yükleme durumu bilindiği anda zemin yatak katsayısını belirlemede kullanılacak grafikler hazırlamıştır. Sayısal örnekler vererek yöntemin kullanılabilirliğini göstermiş ve Vlasov yönteminden elde edilen sonuçlarla karşılaştırma yapmıştır.

Özgan ve Daloğlu (2005), plağın yüküne, boyutlarına ve zemin cinsine bağlı olarak belirlenecek olan gerilme dağılımını elde ederek yükten etkilenen zemin derinliğini hesaplamışlardır. Bu doğrultuda plağın oturduğu zemin etkili derinliğini hesaplayan bir iteratif yöntem geliştirmişlerdir. Literatürde mevcut olan iki örnek alınarak geliştirdikleri yeni yöntem yardımıyla çözülmüş ve elde edilen yerdeğiştirmeler, momentler ve kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Sonuçta, geliştirdikleri metod ile elde edilen parametrelerin daha gerçekçi dolayısıyla hesaplanan yerdeğiştirme ve iç kuvvet değerlerinin daha güvenli olduklarını savunmuşlardır.

Elastik zemine oturan kalın plakların dinamik analizleri ile ilgili yapılan bazı çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

Yokoyama (1996), 2-parametrelilik elastik zemine oturan düzgün bir Timoshenko kiriş-kolonun titreşim parametrelerini belirlemek için sonlu elemanlar yöntemini kullanmıştır. Kiriş-kolon çözümünde 4 serbestlik dereceli basit bir eleman kullanmıştır. Elastik zemine oturan kiriş-kolonun serbest titreşimini ifade eden matris denklemini Hamilton prensibinden türetmiştir. Elastik zemine oturan Timoshenko kiriş-kolonun mod şekli ve doğal frekans sonuçlarını sunmuş, gerçek sonuçlarla karşılaştırmıştır.

Ayvaz ve Daloğlu (1997), *Değiştirilmiş Vlasov Modeli*'ni kullanarak elastik zemine oturan kirişlerin deprem analizi üzerine çalışmışlardır. Bu çalışma çerçevesinde zemin derinliği, kiriş boyu ve oranlarının davranışa etkileri üzerinde durmuşlardır. Çalışmalarında sonlu elemanlar yöntemini ve Newmark- β yöntemini kullanmışlardır.

Ayvaz , Daloğlu ve Doğançün (1998), yine Ayvaz ve Daloğlu (1997) tarafından gerçekleştirilen çalışmaya benzer bir çalışmayı plakların çözümü için gerçekleştirmişlerdir.

Shen, Yang ve Zhang (1999), termomekanik yükleme altında elastik zemin üzerindeki Reissner-Minlin teorisine göre formülasyonu yapılmış plakların dinamik tepkileri üzerinde çalışmışlardır.

Huang ve Thambiratham (2002), sonlu şerit yöntemi ile bir yay sistemini birleştiren bir prosedür geliştirmişler ve dinamik çözüm için elastik zemin üzerindeki plağa hareketli yük uygulamışlardır. İlk olarak tekil hareketli yük uygulanarak çözüm yapmışlardır. Sonra

hız etkisi, elastik zemin yatak katsayısı, hareket yolu ve bir çok hareketli yük arasındaki mesafeler üzerine çalışmışlardır. Sabit hızla hareket eden harmonik bir yük altındaki tepkisi ve hareketli yükün frekansının rezonans hızı ve plağın dinamik tepkileri üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermişlerdir.

Kim ve McCullough (2003), değişken genlikle hareket eden aks yüklerine maruz viskoz Winkler zemin üzerine oturan plağın dinamik yerdeğiştirmelerini ve gerilmelerini çalışmışlardır.

1.4. Plakların Zorlanmış Titreşimi

Deprem etkisindeki plakların hareket denklemi, $[M]$ plağın kütle matrisini, $[C]$ plağın sönüm matrisini, $[K]$ plağın rijitlik matrisi, w plağın düşey yerdeğiştirmesini, \dot{w} plağın hızını, \ddot{w} plağın ivmesini ve \ddot{u}_g de deprem ivmesini göstermek üzere

$$[M]\{\ddot{w}\} + [C]\{\dot{w}\} + [K]\{w\} = -[M]\{\ddot{u}_g\} \quad (1.22)$$

şeklindedir. Bu denklemin zamana göre integrasyonunda sayısal çözüm yöntemlerinden biri olan Newmark- β yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin esası aşağıda verilmektedir.

1.5. Newmark- β Yöntemi

Bu yöntemle yapı tepkisinin tespitinde, tepki parametreleri olan yerdeğiştirme, hız ve ivmeyi, verilen bir zamanda ve bu zamandan bir önceki zamandaki kendi değerleri ile ilişkilendirerek çözen ifadeler kullanılmaktadır. Bu tür bir ifadeye ait genel denklem, A_1 , B_1 ve C_1 sabitleri ve R hatayı göstermek üzere (Ayvaz, 1992),

$$w_{n+1} = \sum_{l=n-k}^n A_1 w_l + \sum_{l=n-k}^{n+1} B_1 \dot{w}_l + \sum_{l=n-k}^{n+1} C_1 \ddot{w}_l + R \quad (1.23)$$

şeklindedir.

Newmark- β yönteminde, w , 1 , t , t^2 değerlerini almaktadır. Genel hız denklemi

$$\dot{w}_{n+1} = a_1 \dot{w}_n + a_2 \ddot{w}_n + a_3 \ddot{w}_{n+1} \quad (1.24)$$

şeklindedir (Ayvaz, 1992).

w için 1 , t , t^2 değerleri kullanılarak Denklem (1.24)'deki üç bilinmeyen a_1 , a_2 ve a_3 sabitleri, Δt zaman artımını, γ bir sayıyı göstermek üzere (Ayvaz, 1992),

$$a_1 = 1 \quad a_2 = (1 - \gamma)\Delta t \quad a_3 = \gamma\Delta t \quad (1.25)$$

olarak belirlenmektedir. Denklem (1.25) Denklem (1.24)'de yerine yazılırsa hız denklemi (Ayvaz, 1992),

$$\dot{w}_{n+1} = \dot{w}_n + (1 - \gamma)\Delta t \ddot{w}_n + \gamma\Delta t \ddot{w}_{n+1} \quad (1.26)$$

olarak elde edilmektedir.

Bu yöntemle yerdeğiştirme ifadesi de b_1 , b_2 , b_3 ve b_4 sabit olmak üzere

$$w_{n+1} = b_1 w_n + b_2 \dot{w}_n + b_3 \ddot{w}_n + b_4 \ddot{w}_{n+1} \quad (1.27)$$

bağıntısıyla verilmektedir. Hız ifadesindeki sabitlerin belirlenmesindeki yol izlenirse bu sabitler, β bir sayıyı göstermek üzere (Ayvaz, 1992),

$$b_1 = 1 \quad b_2 = \Delta t \quad b_3 = \left(\frac{1}{2} - \beta\right)\Delta t^2 \quad b_4 = \beta\Delta t^2 \quad (1.28)$$

olarak belirlenmektedir. Denklem (1.28) Denklem (1.27)'de yerine yazılırsa yerdeğiştirme denklemi

$$w_{n+1} = w_n + \Delta t \dot{w}_n + \left(\frac{1}{2} - \beta\right)\Delta t^2 \ddot{w}_n + \beta\Delta t^2 \ddot{w}_{n+1} \quad (1.29)$$

olarak elde edilmektedir. Denklem (1.29)'dan \ddot{w}_{n+1} çekilerek yalnız bırakılırsa, \ddot{w}_{n+1} için

$$\ddot{w}_{n+1} = \frac{1}{\beta\Delta t^2} \left[w_{n+1} - w_n - \Delta t \dot{w}_n - \left(\frac{1}{2} - \beta \right) \Delta t^2 \ddot{w}_n \right] \quad (1.30)$$

denklemini elde edilmektedir. Denklem (1.30) Denklem (1.26)'da yerine yazılırsa, Denklem (1.24)

$$\dot{w}_{n+1} = \frac{\gamma}{\beta\Delta t^2} [w_{n+1} - w_n] + \left(1 - \frac{\gamma}{\beta} \right) \dot{w}_n + \left[(1 - \gamma) \Delta t - \frac{\gamma}{\beta\Delta t} \left(\frac{1}{2} - \beta \right) \Delta t^2 \right] \ddot{w}_n \quad (1.31)$$

şeklini almaktadır.

Denklem (1.30) ve Denklem (1.31), Denklem (1.22)'nin (n+1). zaman adımı için yazılmış halinde yerine yazılırsa (Ayvaz, 1992)

$$\begin{aligned} & \left(\frac{1}{\beta\Delta t^2} [M] + [C] \frac{\gamma}{\beta\Delta t} + [K] \right) \{w\}_{n+1} = \\ & -[M] \{\ddot{u}_s\}_{n+1} + [C] \left(\frac{\gamma}{\beta\Delta t} w_n - \left(1 - \frac{\gamma}{\beta} \right) \dot{w}_n - \left\{ (1 - \gamma) \Delta t - \frac{\gamma}{\beta\Delta t} \left(\frac{1}{2} - \beta \right) \Delta t^2 \right\} \ddot{w}_n \right) \\ & + \frac{1}{\beta\Delta t^2} [M] \left(\{w\}_n + \Delta t \{\dot{w}_n\} + \left(\frac{1}{2} - \beta \right) \Delta t^2 \{\ddot{w}_n\} \right) \end{aligned} \quad (1.32)$$

denklemini elde edilmektedir.

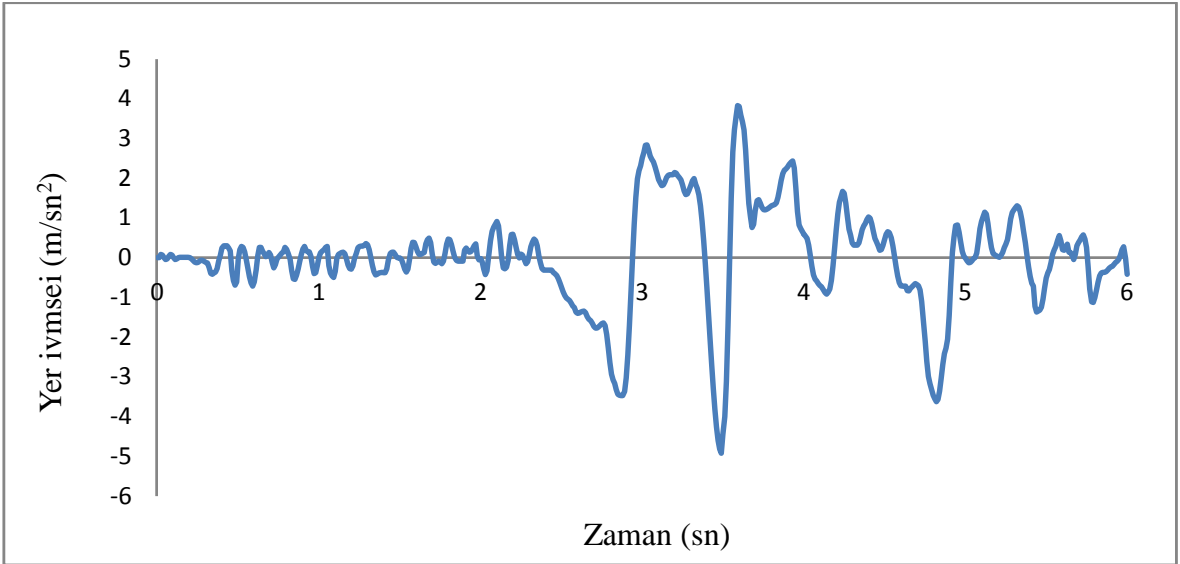
Plağın zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılarak dinamik analizini yapıp her bir düğüm noktasındaki yerdeğişmelerini belirlemek için denklem (1.32), (1.30) ve (1.31) her bir zaman adımı için ardışık olarak çözülür. Bu çalışma çerçevesinde elde edilen sonuçlarda emniyetli tarafta kalmak amacı ile sönüm dikkate alınmamıştır. Belirtilen bu üç denklemin çözümü için γ ve β sabitlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Çözümde ortalama ivme yaklaşımı için $\gamma = \frac{1}{2}$ ve $\beta = \frac{1}{4}$, lineer ivme yaklaşımı için ise $\gamma = \frac{1}{2}$ ve $\beta = \frac{1}{6}$ olarak verilmektedir. Ortalama ivme yaklaşımında çözümlemede sonuca gidilirken Δt için herhangi bir şart bulunmazken, lineer ivme yaklaşımında çözümlemede sonuca gidilirken Δt 'nin (Ayvaz, 1992)

$$\frac{\Delta t}{T} < \frac{\sqrt{3}}{\pi} \quad (1.33)$$

ifadesini sağlaması gerekmektedir. Bu çalışmada ortalama ivme yaklaşımı kullanılmaktadır.

1.6. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, elastik zemine oturan deprem etkisindeki kalın plakların davranışına Mindlin plak teorisi kullanılarak, kenar oranlarının (b/a), kalınlık/kenar oranlarının (t/a) ve zemin derinliğinin etkisini belirlemektir. Bu amaç kapsamında sonlu elemanlar yöntemini içeren ANSYS V11 hazır paket programı kullanılmıştır. Bu programda sonlu eleman olarak plak için 8 düğüm noktalı Shell 281 elemanı ve elastik zemin için 20 düğüm noktalı Solid 95 elemanı kullanılmıştır. Bu çalışmada deprem etkisi olarak 13 Mart 1992’de Erzincan’da meydana gelen depremin Doğu-Batı bileşeninin ilk 6 s.’lik kısmı dikkate alınmıştır (Şekil 1.7). Zamana göre integrasyon için Newmark-β yöntemine göre çözümler yapılmıştır.



Şekil 1.7. 13 Mart 1992 Erzincan Depreminin Doğu-Batı bileşeni

1.7. Sonlu Elemanlar Yöntemi Hakkında Özet Bilgi

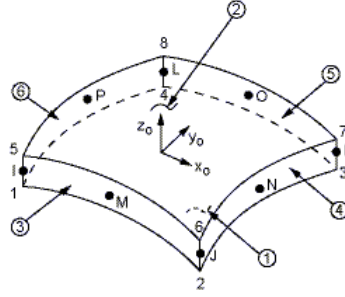
Sonlu elemanlar yöntemi, günümüzde karmaşık mühendislik problemlerinin çözümünde etkin olarak kullanılan bir sayısal yöntemdir. Bu yöntemle, fiziksel bir sistemin dış etkilerle zorlanması durumunda davranışını belirlemeye yönelik problemlerde, kabul edilebilir düzeyde bir hata payı ile çözümlene yoluna gidilmektedir.

Sonlu elemanlar yönteminin tercih edilmesindeki en önemli neden sürekli ortamdan oluşan yapı veya yapı elemanlarında (plak, kabuk, baraj, uçak gövdesi gibi) bir çerçeve iskeletinin aksine kolayca saptanan düğüm noktalarının bulunmamasıdır. Çünkü sayısal yöntemlere bakıldığında çoğunda yapılan çözüm, sistemin düğüm noktaları olarak adlandırılan belirli noktalarında elde edilmektedir. Bu düğüm noktalarının belirlenmesi, kolon-kiriş birleşiminden elde edilen sistemlerin düğüm noktalarının belirlenmesi işleminin aksine sürekli ortamdan oluşan yapı veya yapı elemanlarının düğüm noktalarının belirlenmesi işlemi daha zordur. Böylece sürekli ortama sahip yapı veya yapı elemanlarında yapay düğüm noktaları yerleştirilerek yapının belirli sayıda elemandan meydana geldiği kabulü yapılmakta yani yapı veya yapı elemanı ayrıklaştırılmaktadır. Bu sonlu elemanlar iki veya üç boyutlu olmaktadır. Ancak genelde iki boyutlu üçgen veya dörtgen elemanlar kullanılmaktadır. Sonuç olarak tek bir işlemde yapıyı çözmek yerine çözümler yapıyı meydana getiren her eleman için formüle edilmekte ve bir araya getirildiğinde tüm yapının davranışı elde edilmektedir. Böylelikle analiz yönteminin oldukça basitleştirilmesine karşın, işlem sayısı esas yapıyı oluşturan sonlu eleman sayısına bağlı olarak artmakta ve bu işlemler ancak bilgisayar yardımıyla gerçekleştirilebilmektedir. Bu durum sonlu elemanlar yöntemini temel alarak birçok hazır bilgisayar paket programlarının oluşturulmasına neden olmuştur. Bu çalışmada daha öncede belirtildiği gibi ANSYS V11 hazır paket programı kullanılmıştır.

Çözümlemenin yapıldığı ANSYS V11 hazır paket programında yer alan ve bu çalışmada kalın plak ve elastik zemin için kullanılan sonlu elemanlar sırasıyla *Shell 281* ve *Solid 95* olarak dikkate alınmıştır. Bu elemanların özellikleri kısaca aşağıda açıklanmaktadır.

1.7.1. Shell 281 Elemanının Özellikleri

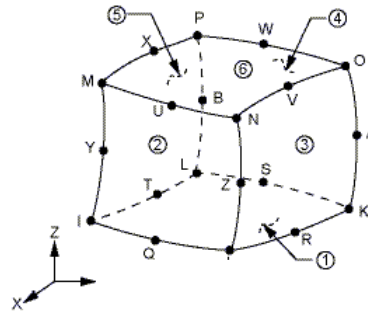
Shell 281 elemanı, her düğüm noktasında 6 serbestlik derecesi bulunan toplam 8 düğüm noktalı bir sonlu elemandır (Şekil 1.8). Şekilde I, J, K, L, M, N, O, P düğüm noktalarını göstermektedir. Her düğüm noktasına karşılık gelen serbestlik dereceleri UX, UY, UZ ile gösterilen ötelenmeler ve ROTX, ROTY, ROTZ olarak ifade edilen dönmelerdir.



Şekil 1.8. Shell 281 Sonlu Elemanının Geometrik Şekli

1.7.2. Solid 95 Elemanının Özellikleri

Solid 95 elemanı, her düğüm noktasında 3 serbestlik derecesi bulunan toplam 20 düğüm noktalı bir sonlu elemandır (Şekil 1.9). Şekilde I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, W, X, Y, Z, A, B düğüm noktalarını göstermektedir. Her düğüm noktasına karşılık gelen serbestlik dereceleri UX, UY, UZ olarak ifade edilen ötelenmelerdir.



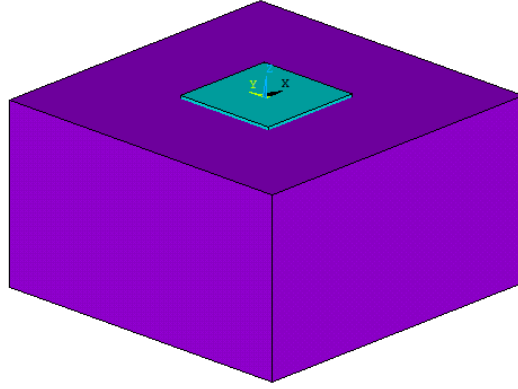
Şekil 1.9. Solid 95 Sonlu Elemanının Geometrik Şekli

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

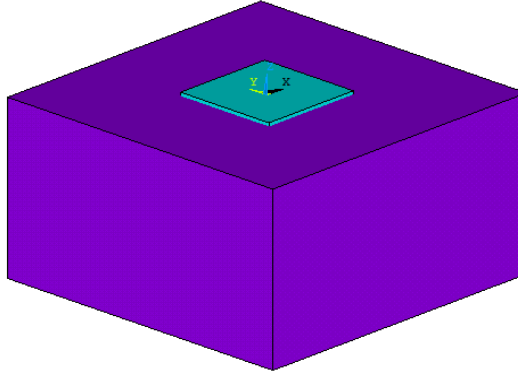
Bu çalışmada, zemin derinliği (H), 5, 10 ve 15 metre, plağın uzun kenarının kısa kenarına oranının (b/a), 1, 2 ve 3, plak kalınlığının plağın kısa kenarına oranının (t/a), 1/18, 1/15 ve 1/12 olduğu durumlar dikkate alınmıştır.

Çalışmada kullanılan elastik zemine oturan kalın plak sistemlerinde plağın kısa kenarı (a) 3m, elastisite modülü $2,8 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$, Poisson oranı 0.2 ve yoğunluğu 2500 kg/m^3 olarak dikkate alınmıştır. Plak altındaki zeminin derinlik boyunca sabit kabul edilen elastisite modülü $2,5 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$, Poisson oranı 0.3 ve yoğunluğu 1800 kg/m^3 olarak kullanılmıştır.

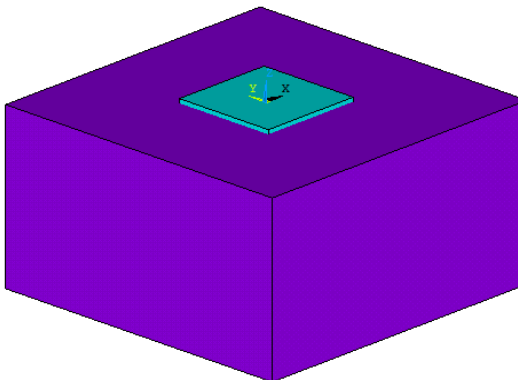
Çalışmada dikkate alınan kalın plaklar H=5m, b/a=1 ve t/a=1/18 için Şekil 2.1'de, H=5m, b/a=1 ve t/a=1/15 için Şekil 2.2'de, H=5m, b/a=1 ve t/a=1/12 için Şekil 2.3'te, H=5m, b/a=2 ve t/a=1/18 için Şekil 2.4'te, H=5m, b/a=2 ve t/a=1/15 için Şekil 2.5'te, H=5m, b/a=2 ve t/a=1/12 için Şekil 2.6'da, H=5m, b/a=3 ve t/a=1/18 için Şekil 2.7'de, H=5m, b/a=3 ve t/a=1/15 için Şekil 2.8'de, H=5m, b/a=3 ve t/a=1/12 için Şekil 2.9'da, H=10m, b/a=1 ve t/a=1/18 için Şekil 2.10'da, H=10m, b/a=1 ve t/a=1/15 için Şekil 2.11'de, H=10m, b/a=1 ve t/a=1/12 için Şekil 2.12'de, H=10m, b/a=2 ve t/a=1/18 için Şekil 2.13'te, H=10m, b/a=2 ve t/a=1/15 için Şekil 2.14'te, H=10m, b/a=2 ve t/a=1/12 için Şekil 2.15'te, H=10m, b/a=3 ve t/a=1/18 için Şekil 2.16'da, H=10m, b/a=3 ve t/a=1/15 için Şekil 2.17'de, H=10m, b/a=3 ve t/a=1/12 için Şekil 2.18'de, H=15m, b/a=1 ve t/a=1/18 için Şekil 2.20'de, H=15m, b/a=1 ve t/a=1/15 için Şekil 2.21'de, H=15m, b/a=1 ve t/a=1/12 için Şekil 2.22'de, H=15m, b/a=2 ve t/a=1/18 için Şekil 2.23'te, H=15m, b/a=2 ve t/a=1/15 için Şekil 2.24'te, H=15m, b/a=2 ve t/a=1/12 için Şekil 2.24'te, H=15m, b/a=3 ve t/a=1/18 için Şekil 2.25'te, H=15m, b/a=3 ve t/a=1/15 için Şekil 2.26'da ve H=15m, b/a=3 ve t/a=1/12 için Şekil 2.27'de verilmektedir.



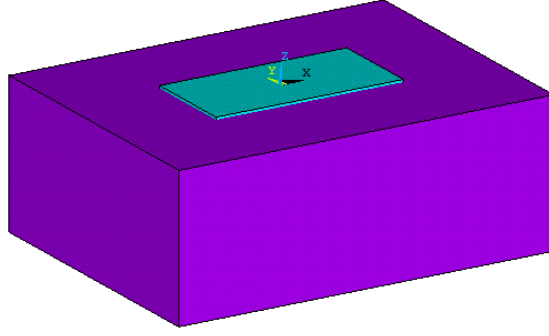
Şekil 2.1. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=5\text{m}$, $b/a=1$, $t/a=1/18$)



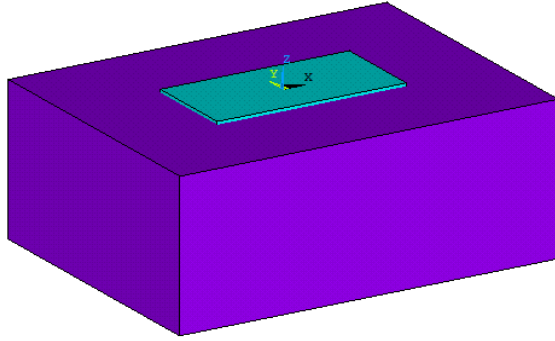
Şekil 2.2. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=5\text{m}$, $b/a=1$, $t/a=1/15$)



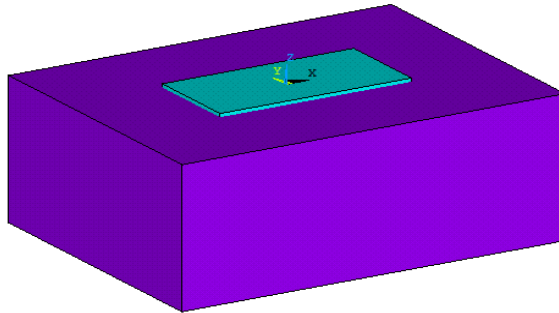
Şekil 2.3. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=5\text{m}$, $b/a=1$, $t/a=1/12$)



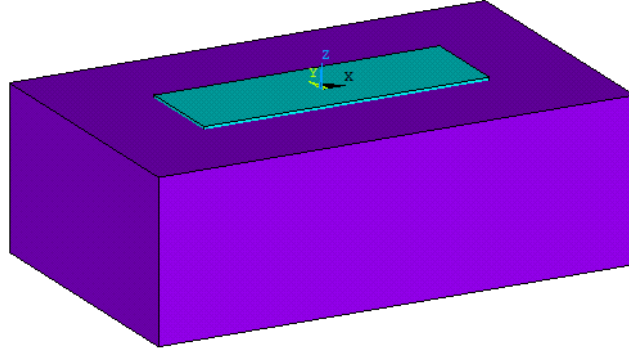
Şekil 2.4. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak
($H=5m$, $b/a=2$, $t/a=1/18$)



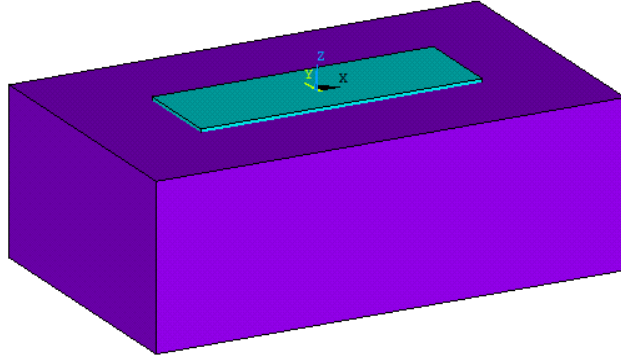
Şekil 2.5. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak
($H=5m$, $b/a=2$, $t/a=1/15$)



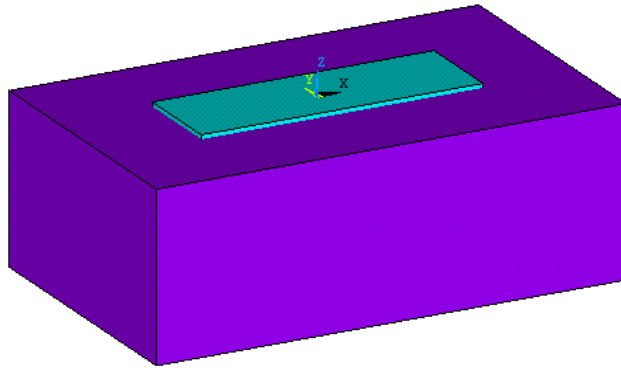
Şekil 2.6. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak
($H=5m$, $b/a=2$, $t/a=1/12$)



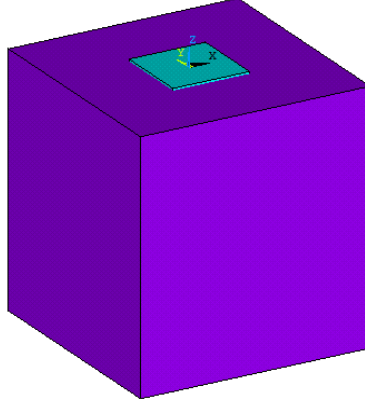
Şekil 2.7. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak
($H=5m$, $b/a=3$, $t/a=1/18$)



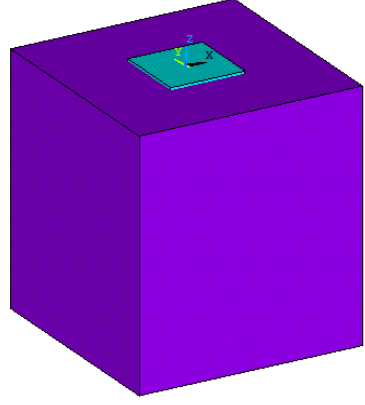
Şekil 2.8. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak
($H=5m$, $b/a=3$, $t/a=1/15$)



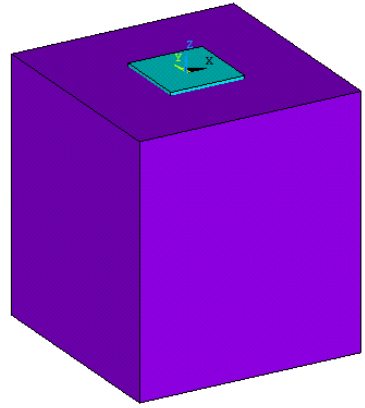
Şekil 2.9. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak
($H=5m$, $b/a=3$, $t/a=1/12$)



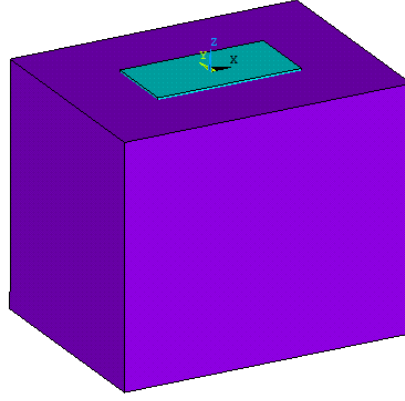
Şekil 2.10. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=10m$, $b/a=1$, $t/a=1/18$)



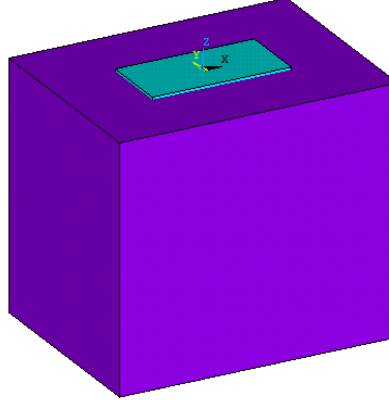
Şekil 2.11. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=10m$, $b/a=1$, $t/a=1/15$)



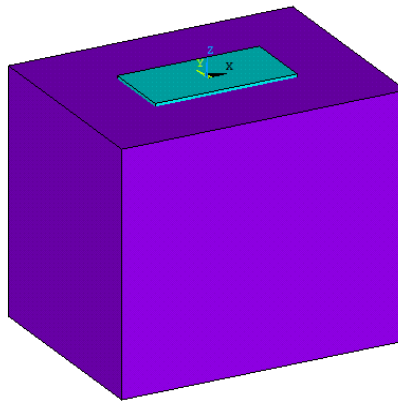
Şekil 2.12. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=10m$, $b/a=1$, $t/a=1/12$)



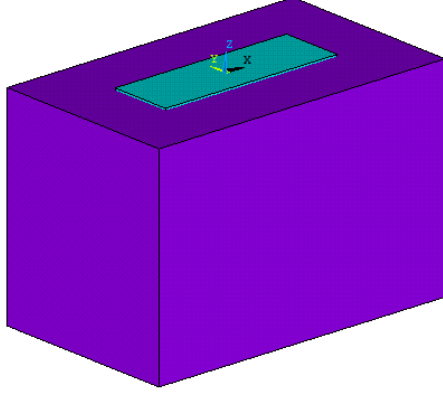
Şekil 2.13. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=10\text{m}$, $b/a=2$, $t/a=1/18$)



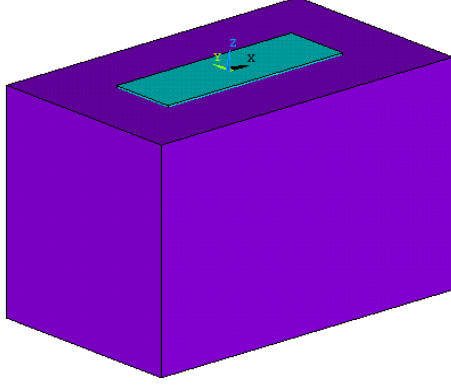
Şekil 2.14. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=10\text{m}$, $b/a=2$, $t/a=1/15$)



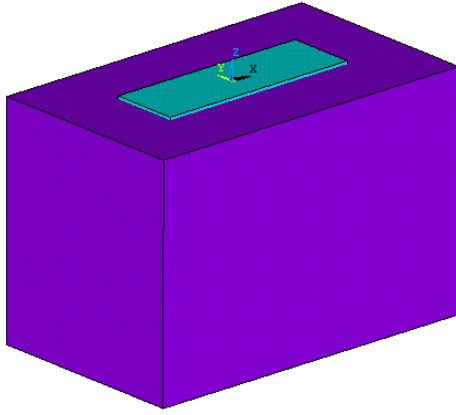
Şekil 2.15. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=10\text{m}$, $b/a=2$, $t/a=1/12$)



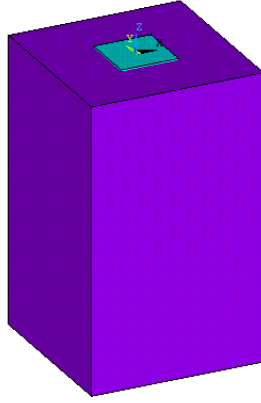
Şekil 2.16. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=10\text{m}$, $b/a=3$, $t/a=1/18$)



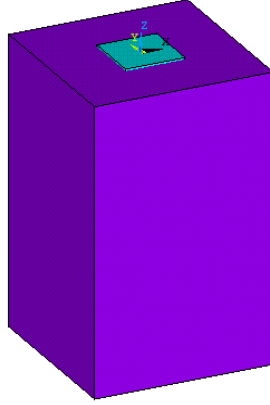
Şekil 2.17. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=10\text{m}$, $b/a=3$, $t/a=1/15$)



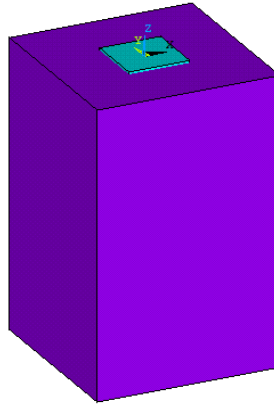
Şekil 2.18. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=10\text{m}$, $b/a=3$, $t/a=1/12$)



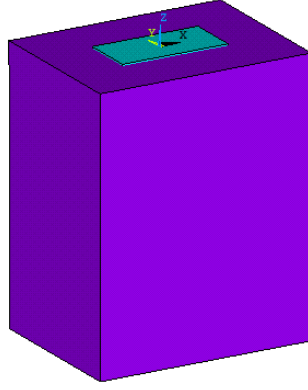
Şekil 2.19. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=15\text{m}$, $b/a=1$, $t/a=1/18$)



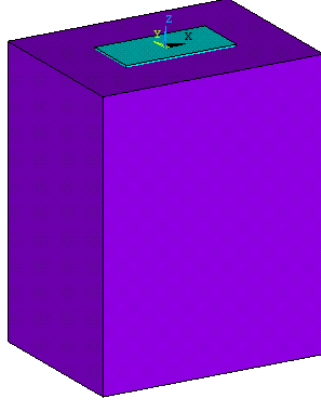
Şekil 2.20. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=15\text{m}$, $b/a=1$, $t/a=1/15$)



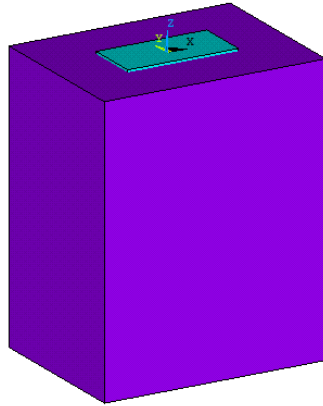
Şekil 2.21. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=15\text{m}$, $b/a=1$, $t/a=1/12$)



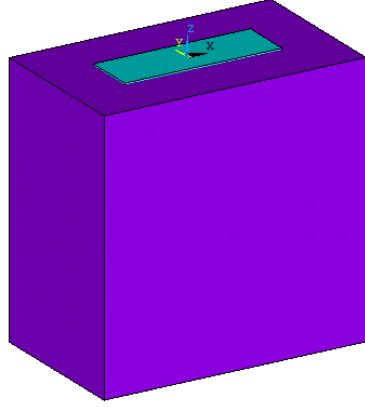
Şekil 2.22. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=15\text{m}$, $b/a=2$, $t/a=1/18$)



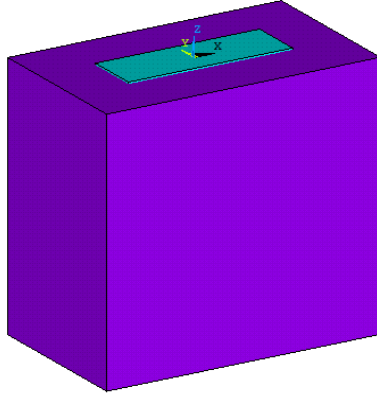
Şekil 2.23. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=15\text{m}$, $b/a=2$, $t/a=1/15$)



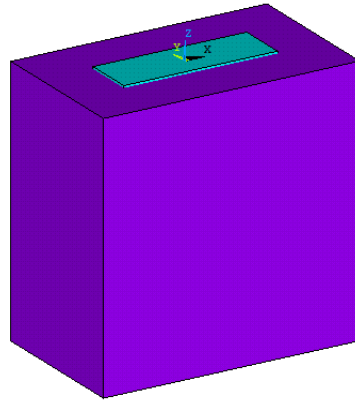
Şekil 2.24. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=15\text{m}$, $b/a=2$, $t/a=1/12$)



Şekil 2.25. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=15\text{m}$, $b/a=3$, $t/a=1/18$)



Şekil 2.26. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=15\text{m}$, $b/a=3$, $t/a=1/15$)

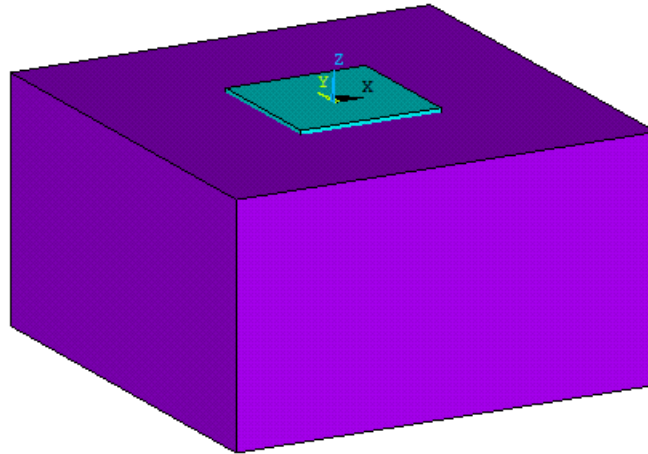


Şekil 2.27. Çalışmada dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($H=15\text{m}$, $b/a=3$, $t/a=1/12$)

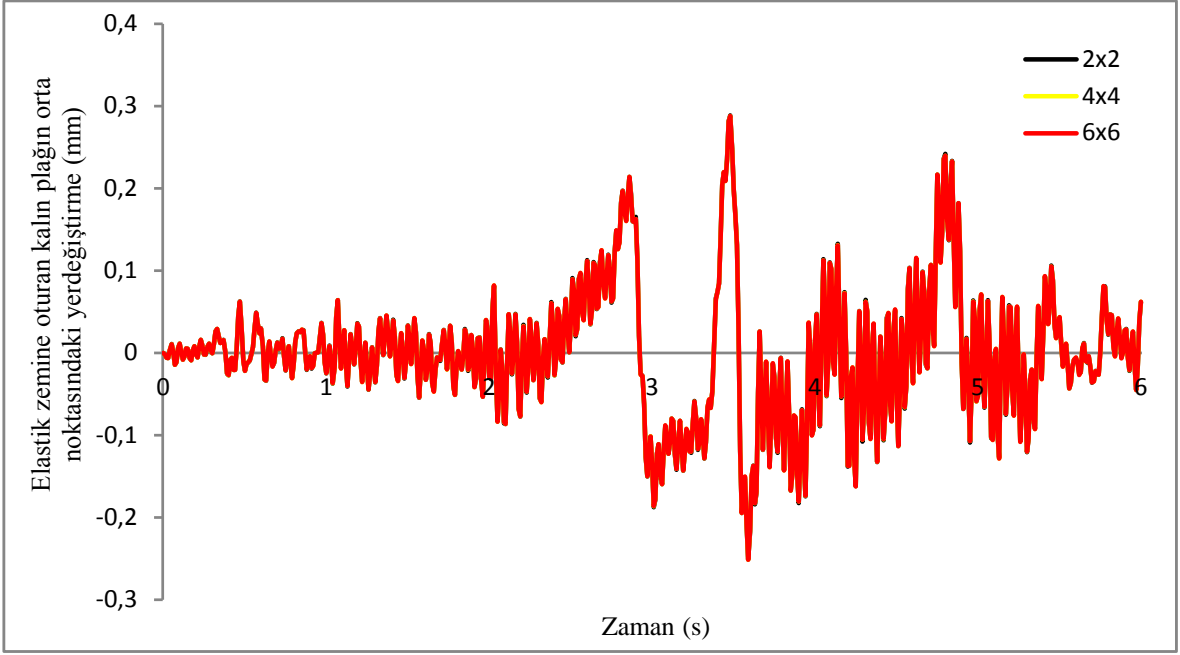
Diğer sayısal yöntemlerde olduğu gibi bu çalışmada kullanılan yapısal çözümlemede dikkate alınan sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen sonuçlarda da bir hata payı bulunmaktadır. Kullanılan sonlu eleman ağına bağlı olan bu hata payının mühendislikte kabul edilebilir olması yanında harcanan bilgisayar zamanının da uygun sınırlar içinde kalması bakımından aşağıda sonlu eleman ağı ve zaman artımı belirlenmektedir.

2.1. Sonlu Eleman Ağına Belirlenmesi

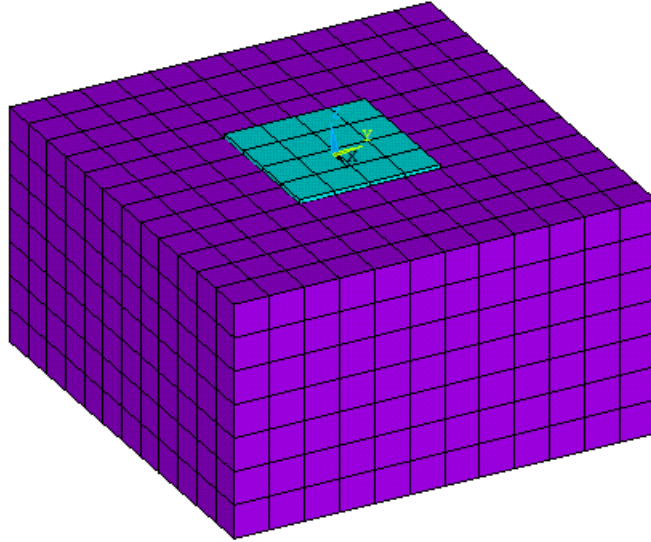
Elastik zemine oturan deprem etkisindeki kalın plak için ağ büyüklüğünün belirlenmesi amacıyla Şekil 2.28'de görülen dört kenarından serbest olarak derinliği (H) 5m olan zemine oturan kalın plak için $\Delta t=0.01$, Poisson oranı 0.2, t/a oranı 1/18 ve b/a oranı 1 alınarak farklı ağ büyüklükleri için yerdeğiştirmenin zamana bağlı değişiminin yakınsaması gözlenmiştir. Bu şekilde 3 farklı eleman ağına bağlı olarak elde edilen yerdeğiştirmenin zamana bağlı değişimi Şekil 2.29'da verilmektedir. Bu şekilden görüldüğü gibi dikkate alınan eleman ağlarından 4x4'lük ve 6x6'lik eleman ağlarının kullanılmasıyla elde edilen değerler arasındaki fark mühendislik açısından kabul edilebilir durumdadır. Bu nedenle yapılacak olan çözümlerde 4x4'lük eleman ağına kullanılması yeterli olacaktır. Dikkate alınacak 4x4'lük eleman ağı $b/a=1$, $t/a=1/18$ ve $H=5m$ için Şekil 2.30'da verilmektedir. Kenar oranları ve zemin derinliği artırıldıkça eleman boyutları sabit kalacak şekilde eleman sayıları artırılmaktadır.



Şekil 2.28. Yakınsama çalışması için dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plak ($b/a=1$, $t/a=1/18$, $H=5$ m)



Şekil 2.29. Farklı sonlu eleman ağları için elastik zemine oturan kalın plağın orta noktasındaki yerdeğiştirmesinin zamana bağlı değişimi

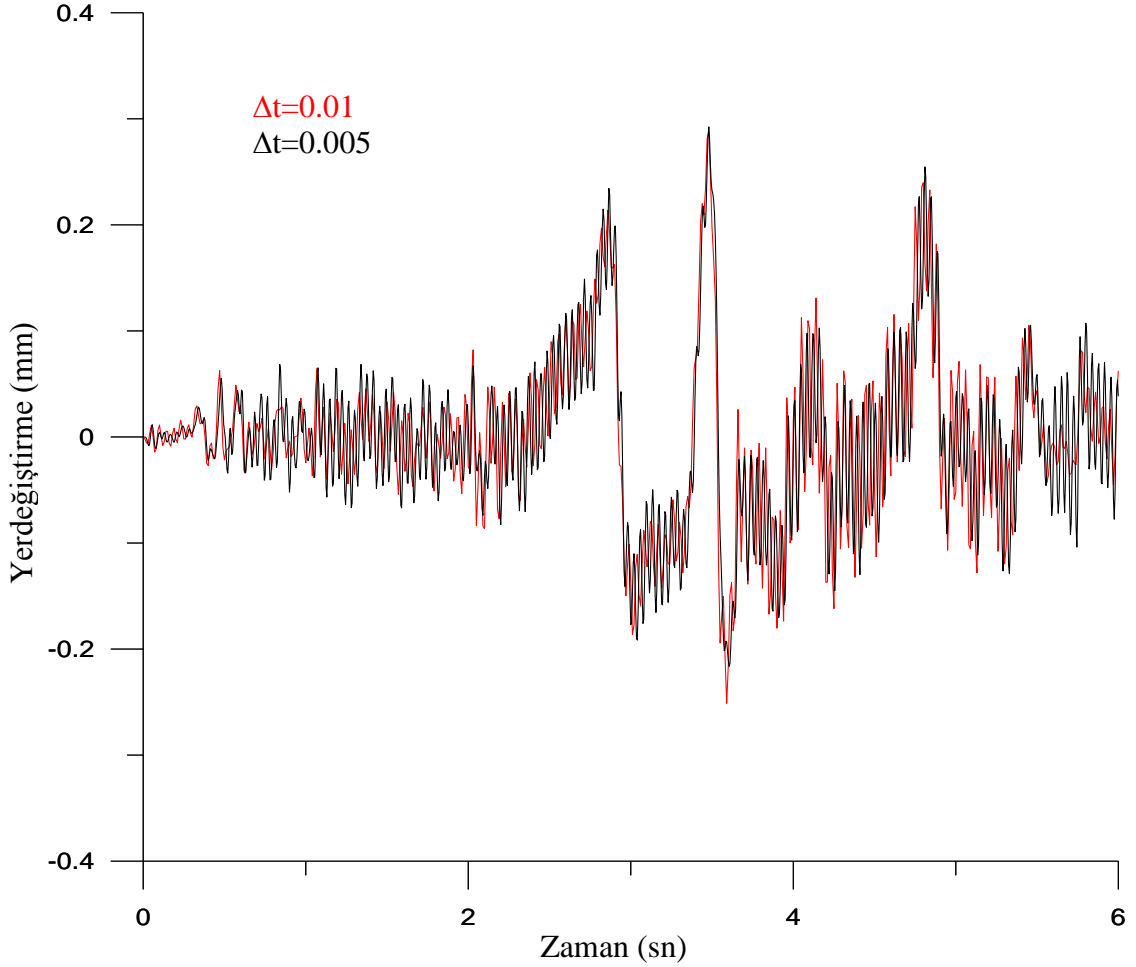


Şekil 2.30. Yakınsama çalışması sonucu elde edilen elastik zemine oturan kalın plağın sonlu eleman ($b/a=1$, $t/a=1/18$, $H=5$ m)

2. 2. Zaman Artımının Belirlenmesi

Daha öncede belirtildiği gibi elastik zemine oturan deprem etkisindeki kalın plak için sonlu eleman ağına ilave olarak zaman artımı değerinin de belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için sabit bir eleman ağına bağlı olarak zaman artımı, Δt , değiştirilerek maksimum yerdeğiştirmenin zamana göre değişiminin yakınsaması gözlemlenmiştir. Bu gözlemde yukarıda belirtilen sonlu eleman ağı dikkate alınarak Δt 'nin 0.01 ve 0.005 değerleri için yapılmış ve elde edilen yerdeğiştirmenin zamana bağlı değişimi Şekil 2.31'de verilmektedir.

Bu şekilden görüldüğü gibi Δt 'nin 0.01sn ve 0.005sn alınmasıyla elde edilen değerlerde mühendislik açısından bir fark bulunmamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada Δt değeri 0.01 alınarak bulgular belirlenecektir.

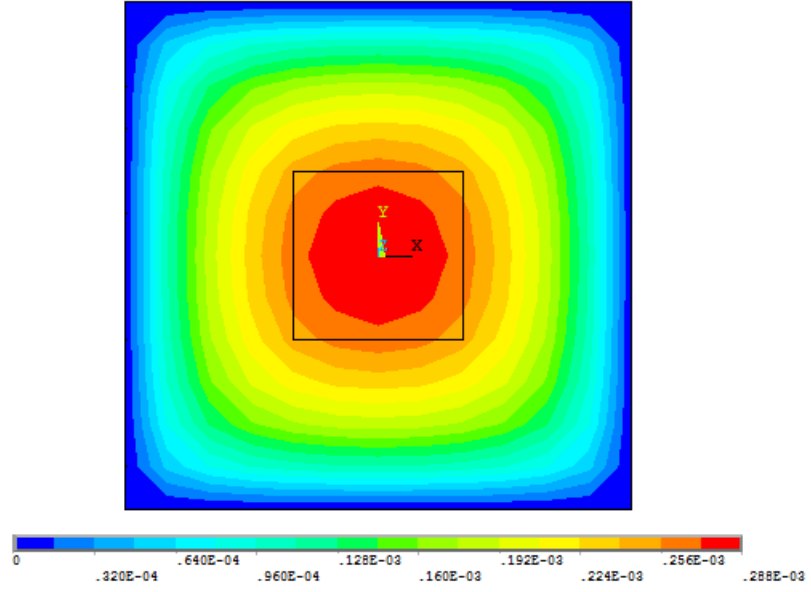


Şekil 2.31. Farklı zaman artımları için elastik zemine oturan kalın plağın orta noktasındaki yerdeğiştirmesinin zamana bağlı değişimi

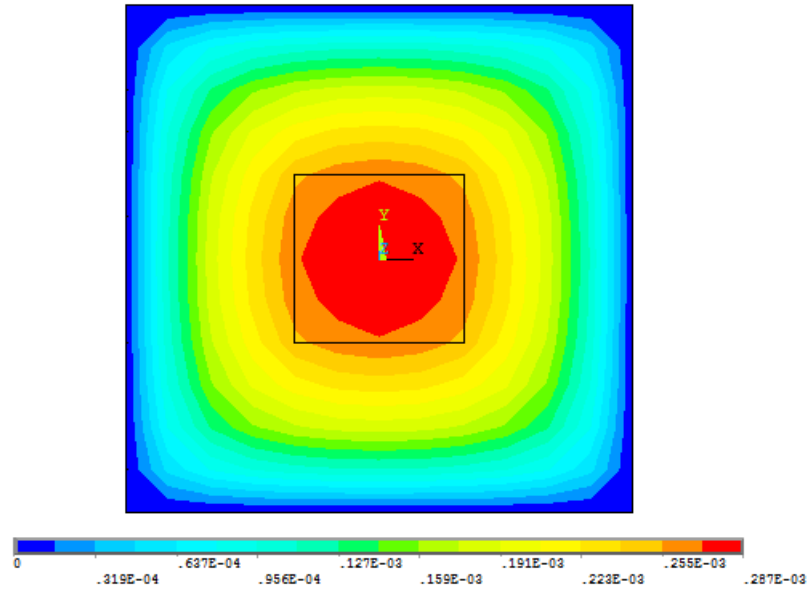
3. BULGULAR VE İRDELEMELER

Daha önce belirtilen ve bu çalışmada dikkate alınan tüm parametreler için belirlenen eşyerdeğiştirme diyagramlarının, yerdeğiştirme ve eğilme momentlerinin zamana bağlı değişimlerinin tümünün sunulması çok yer tutacaktır. Bu nedenle burada sadece, $H=5m$, $b/a=1$ ve $t/a=1/18$; $H=5m$, $b/a=1$ ve $t/a=1/12$; $H=15m$, $b/a=3$ ve $t/a=1/18$; $H=15m$, $b/a=3$ ve $t/a=1/12$ değerlerine karşılık gelen eşyerdeğiştirme diyagramları, plağın orta noktasındaki yerdeğiştirme ve eğilme momentleri (M_x , M_y) sunulduktan sonra çalışmada dikkate alınan tüm parametreler için elastik zemine oturan kalın plaklara ait maksimum değerler sunulacaktır. Zira mühendislikte projelendirmede söz konusu değerlerin maksimumları önem arz etmektedir.

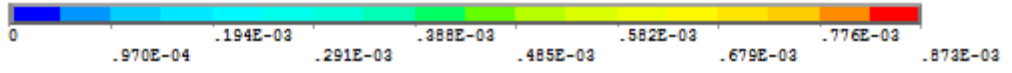
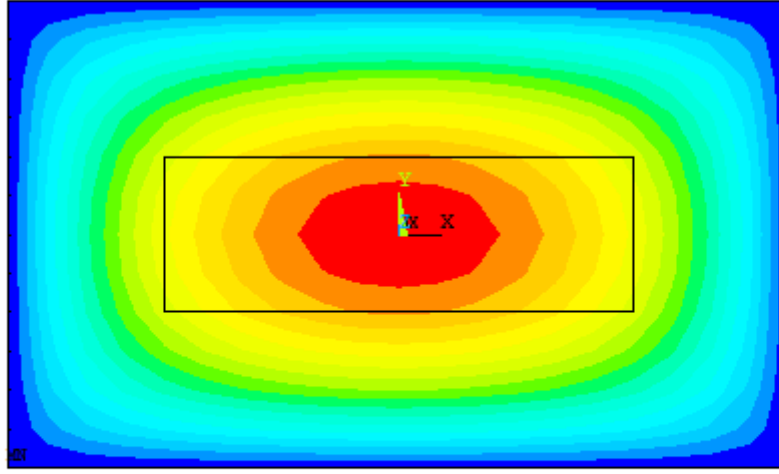
Dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plaklara ait eşyerdeğiştirme diyagramları $H=5m$, $b/a=1$ ve $t/a=1/18$ için Şekil 3.1'de, $H=5m$, $b/a=1$ ve $t/a=1/12$ için Şekil 3.2'de, $H=15m$, $b/a=3$ ve $t/a=1/18$ için Şekil 3.3'te ve $H=15m$, $b/a=3$ ve $t/a=1/12$ için Şekil 3.4'te verilmektedir.



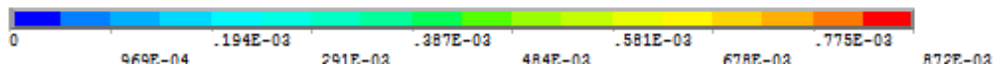
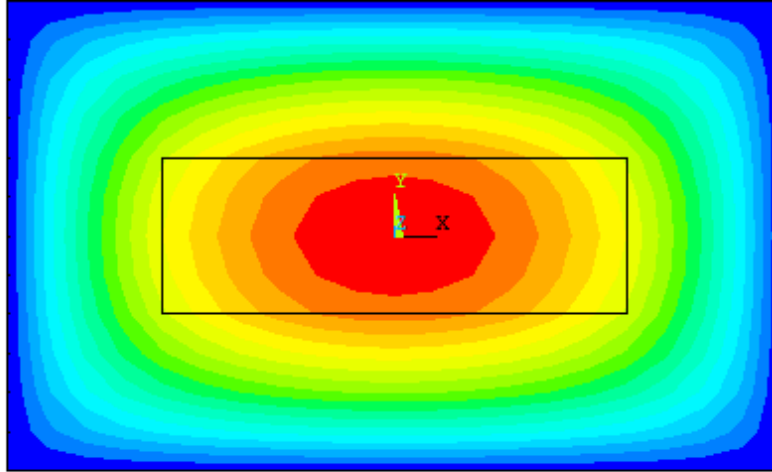
Şekil 3.1. Maksimum eşyerdeğiştirme diyagramı
($H=5m$, $b/a=1$, $t/a=1/18$)



Şekil 3.2. Maksimum eşyerdeğiştirme diyagramı
($H=5m$, $b/a=1$, $t/a=1/12$)



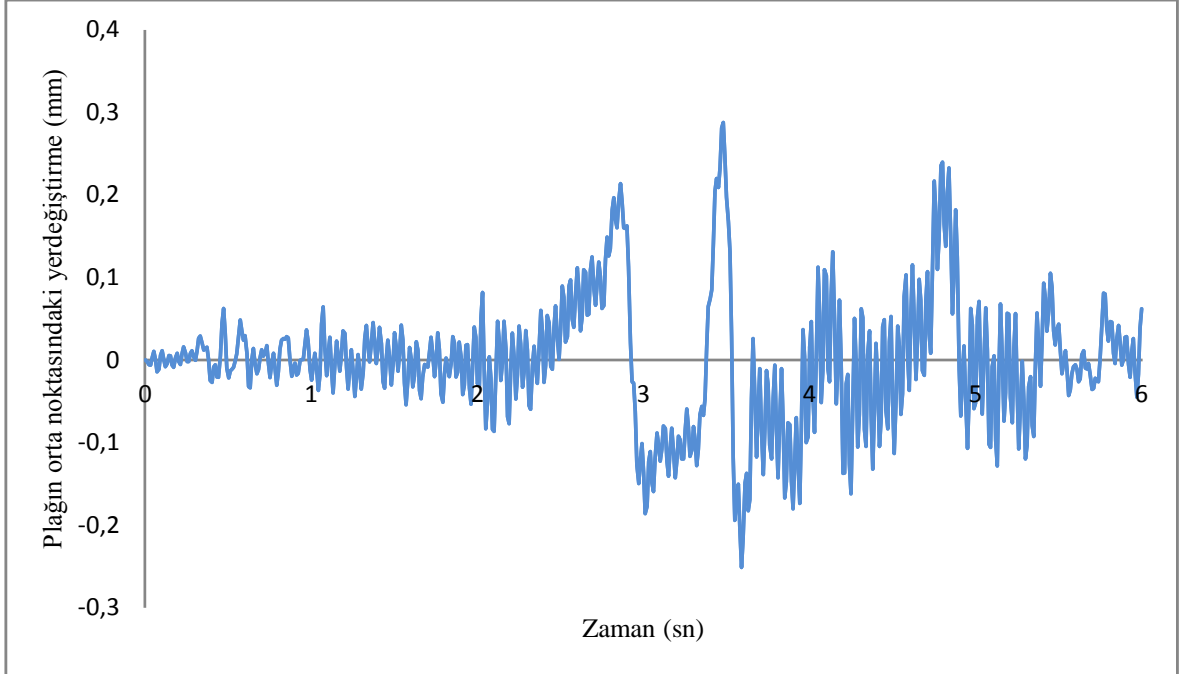
Şekil 3.3. Maksimum eşyerdeğiştirme diyagramı ($H=15\text{m}$, $b/a=3$, $t/a=1/18$)



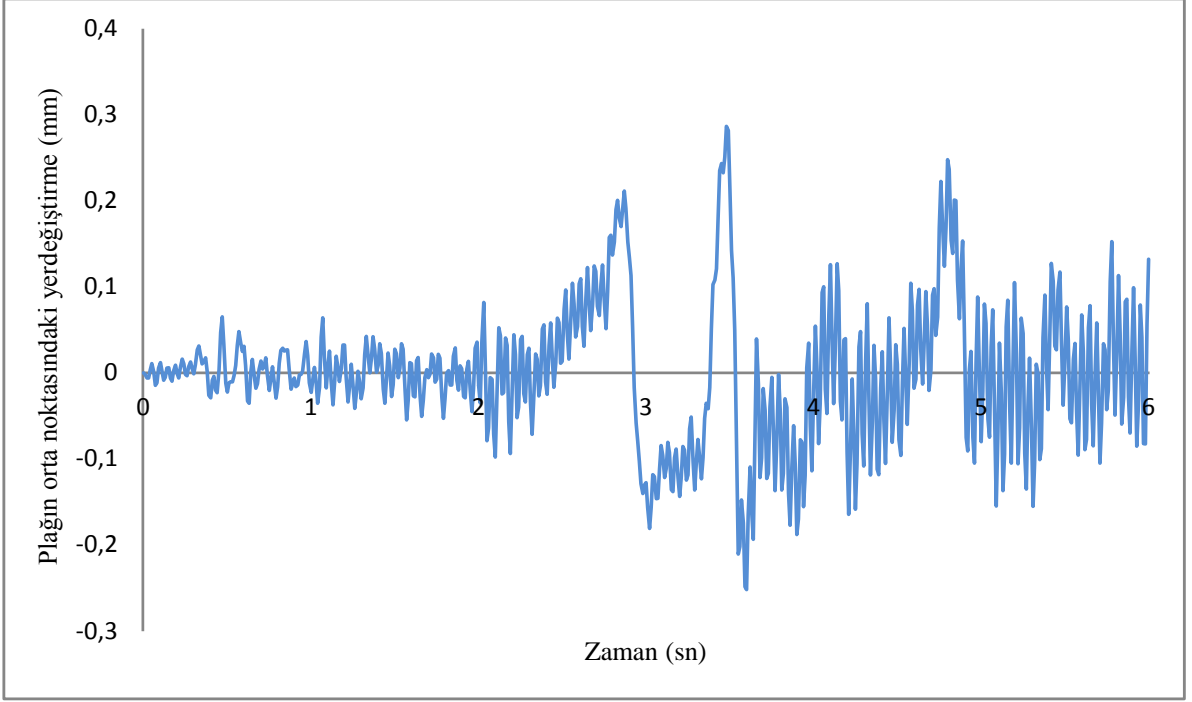
Şekil 3.4. Maksimum eşyerdeğiştirme diyagramı ($H=15\text{m}$, $b/a=3$, $t/a=1/12$)

Şekil 3.1, 3.2, 3.3 ve 3.4'ten görüldüğü gibi zemin kenarına doğru yaklaşık sıfır olan yerdeğişirme değerleri plağa doğru yaklaştıkça artmakta ve plak ortasında maksimum olmaktadır.

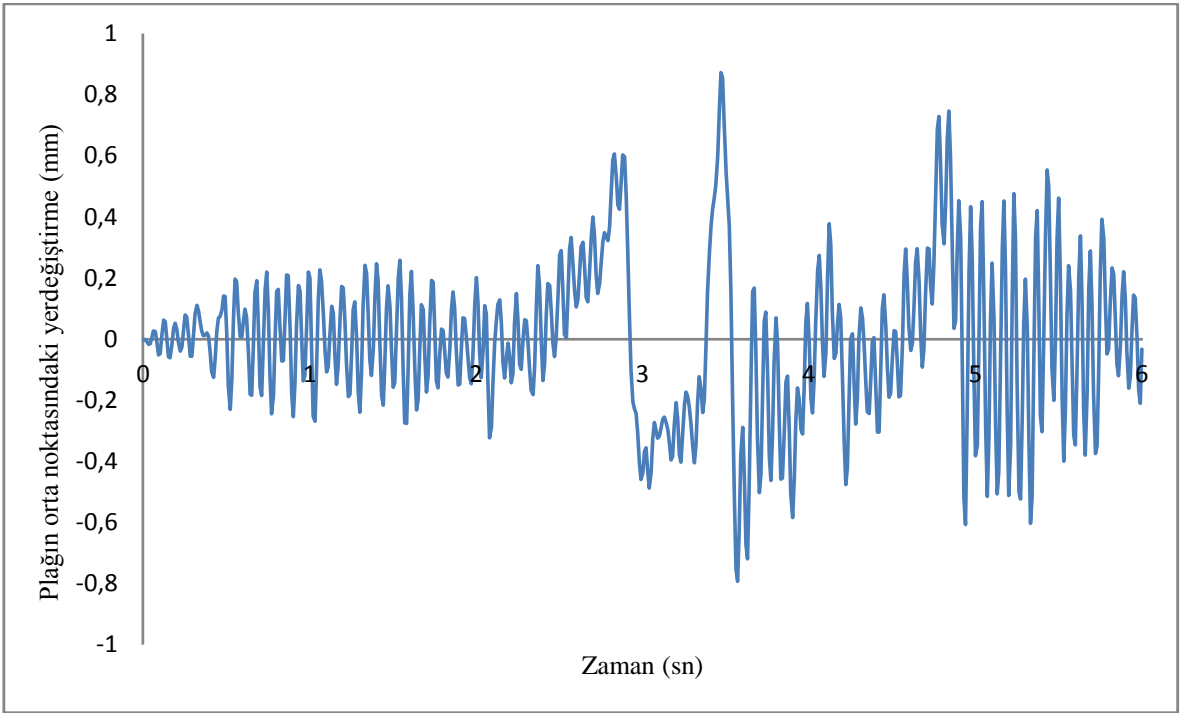
Dikkate alınan elastik zemine oturan kalın plaklara ait maksimum yerdeğişirmelerinin zamana bağlı değişimleri $H=5\text{m}$, $b/a=1$ ve $t/a=1/18$ için Şekil 3.5'te, $H=5\text{m}$, $b/a=1$ ve $t/a=1/12$ için Şekil 3.6'da, $H=15\text{m}$, $b/a=3$ ve $t/a=1/18$ için Şekil 3.7'de ve $H=15\text{m}$, $b/a=3$ ve $t/a=1/12$ için Şekil 3.8'de verilmektedir.



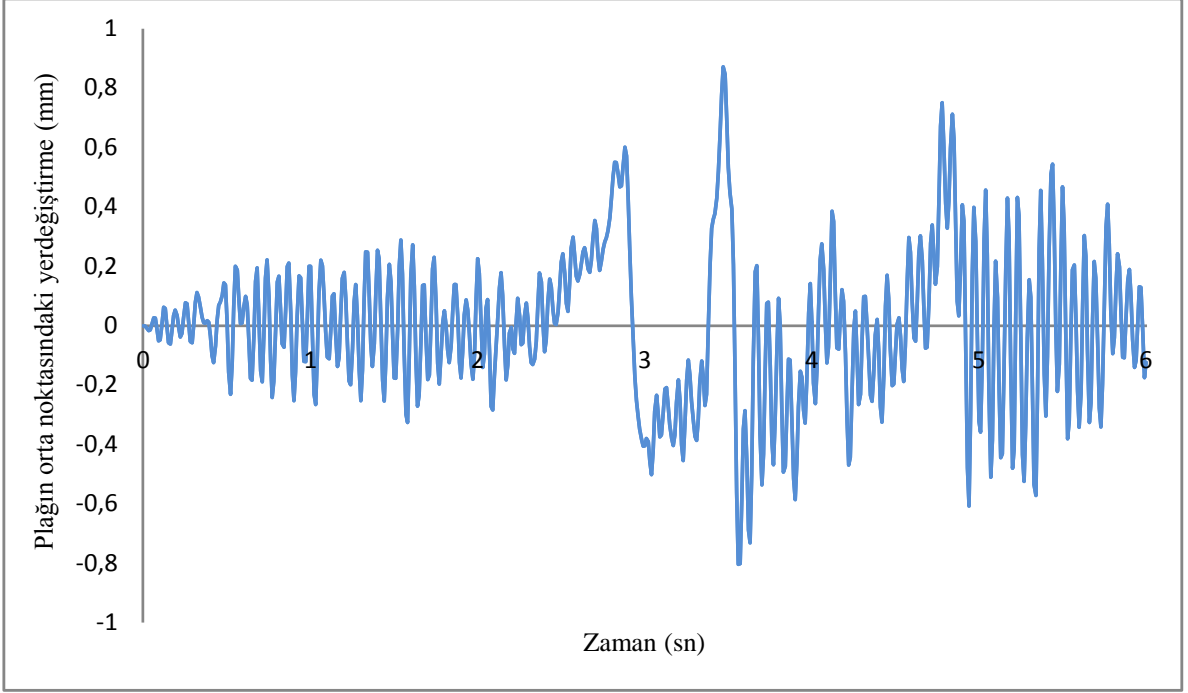
Şekil 3.5. Elastik zemine oturan kalın plağın orta noktasındaki yerdeğişirmenin zamana göre değişimi ($H=5\text{m}$, $b/a=1$, $t/a=1/18$)



Şekil 3.6. Elastik zemine oturan kalın plâğın orta noktasındaki yerdeğiştirmenin zamana göre değişimi ($H=5\text{m}$, $b/a=1$, $t/a=1/12$)



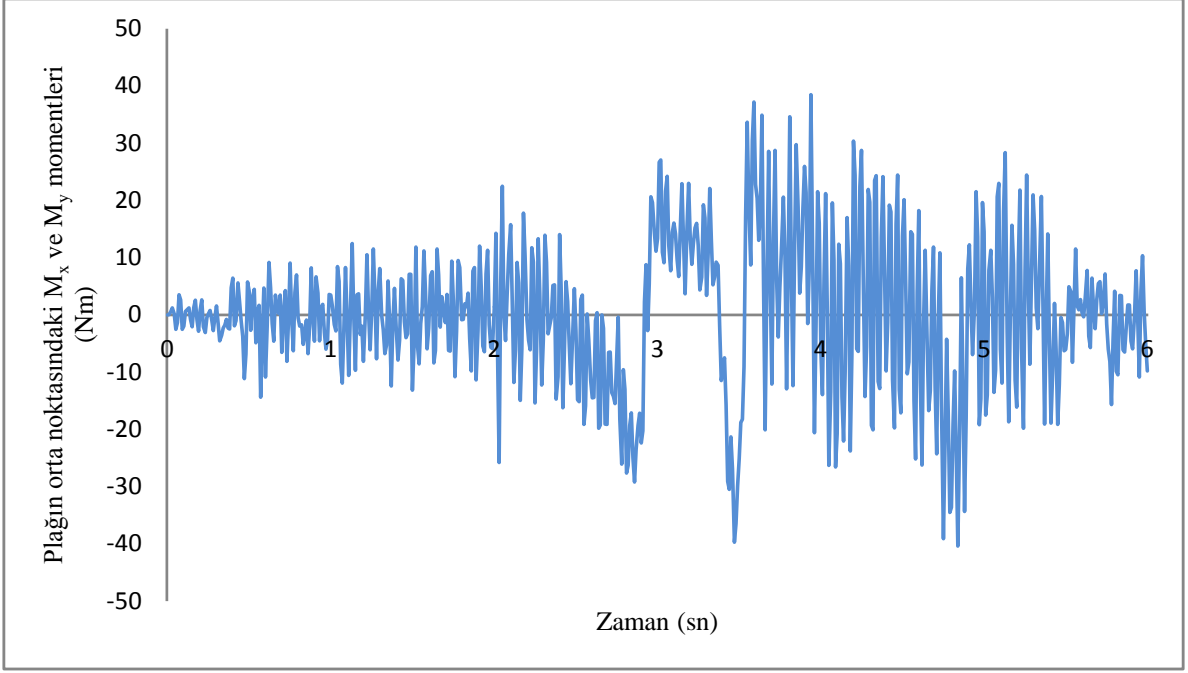
Şekil 3.7. Elastik zemine oturan kalın plâğın orta noktasındaki yerdeğiştirmenin zamana göre değişimi ($H=15\text{m}$, $b/a=3$, $t/a=1/18$)



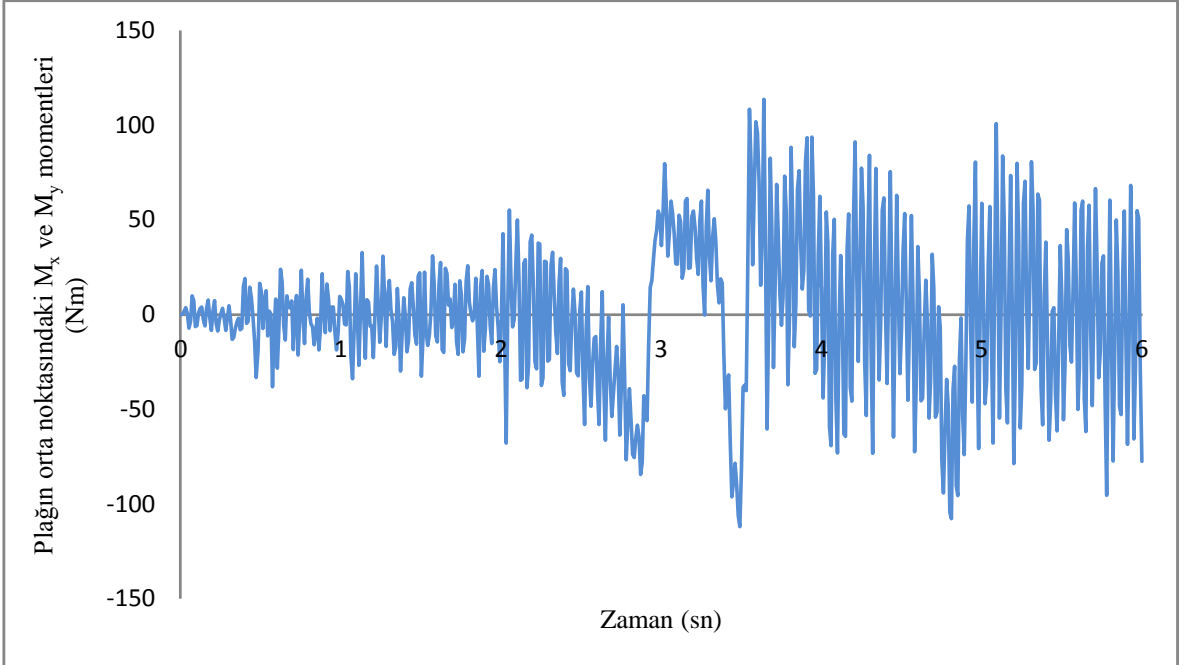
Şekil 3.8. Elastik zemine oturan kalın plağın orta noktasındaki yerdeğiştirmenin zamana göre değişimi ($H=15\text{m}$, $b/a=3$, $t/a=1/12$)

Şekil 3.5'ten görüldüğü gibi $H=5\text{m}$, $b/a=1$ ve $t/a=1/18$ için maksimum yerdeğiştirme $0,2880\text{ mm}$ olarak $3,48.\text{ sn}$ 'de meydana gelmektedir. Şekil 3.6'dan görüldüğü gibi $H=5\text{m}$, $b/a=1$ ve $t/a=1/12$ için maksimum yerdeğiştirme $0,2867\text{ mm}$ olarak $3,48.\text{ sn}$ 'de meydana gelmektedir. Şekil 3.7'den görüldüğü gibi $H=15\text{m}$, $b/a=3$ ve $t/a=1/18$ için maksimum yerdeğiştirme $0,8727\text{ mm}$ olarak $3,47.\text{ sn}$ 'de meydana gelmektedir. Şekil 3.8'den görüldüğü gibi $H=15\text{m}$, $b/a=3$ ve $t/a=1/12$ için maksimum yerdeğiştirme $0,8717\text{ mm}$ olarak $3,47.\text{ sn}$ 'de meydana gelmektedir.

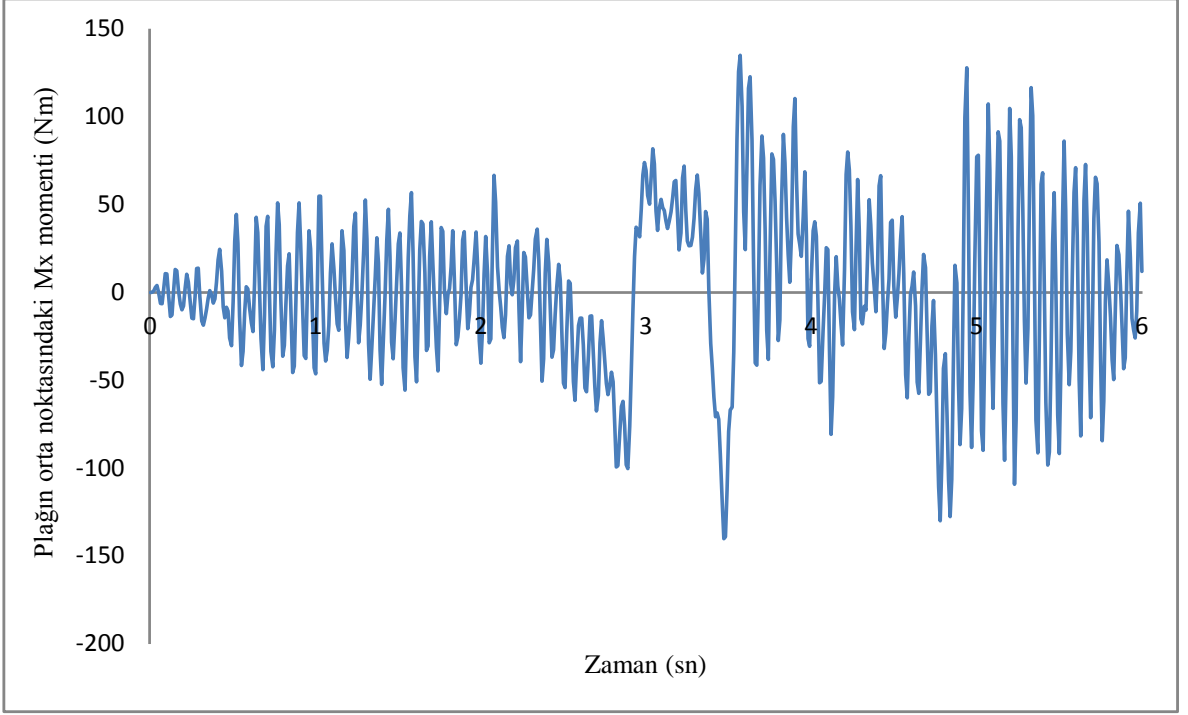
Yukarıda belirtilen elastik zemine oturan kalın plaklara ait eğilme momentlerinin zamana bağlı değişimleri $H=5\text{m}$, $b/a=1$ ve $t/a=1/18$ için Şekil 3.9'da, $H=5\text{m}$, $b/a=1$ ve $t/a=1/12$ için Şekil 3.10'da, $H=15\text{m}$, $b/a=3$ ve $t/a=1/18$ için Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de ve $H=15\text{m}$, $b/a=3$ ve $t/a=1/12$ için Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'te verilmektedir.



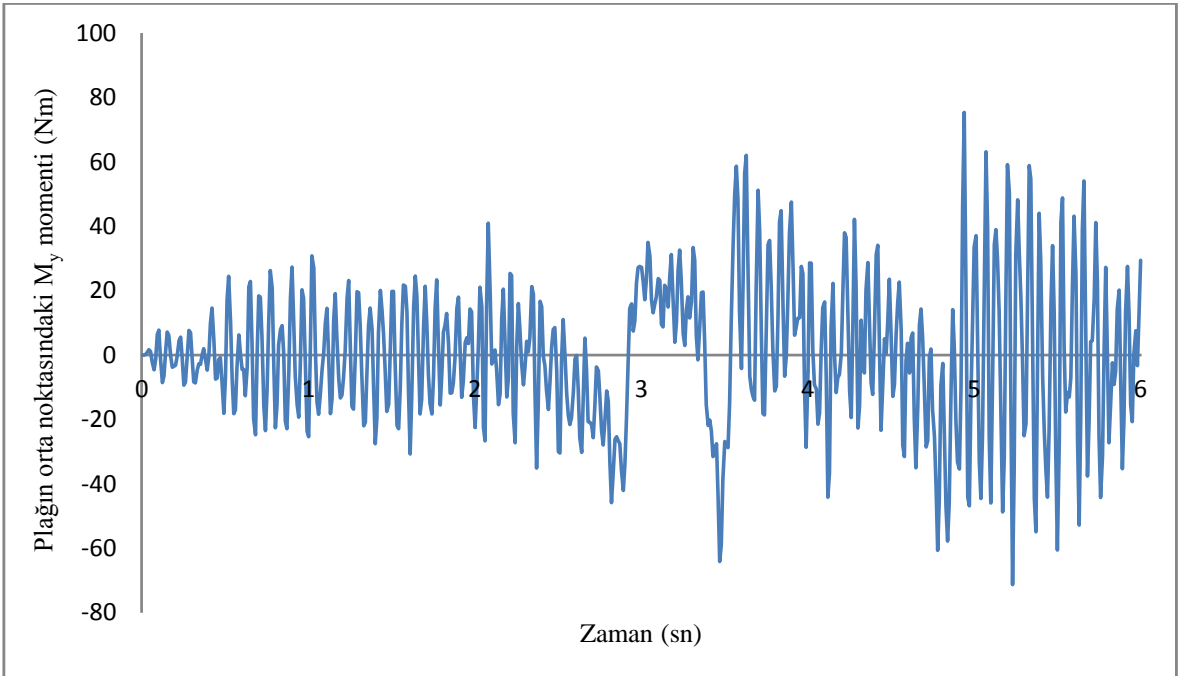
Şekil 3.9. Elastik zemine oturan kalın plâğın orta noktasındaki M_x ve M_y momentlerinin zamana göre değişimi ($H=5\text{m}$, $b/a=1$, $t/a=1/18$)



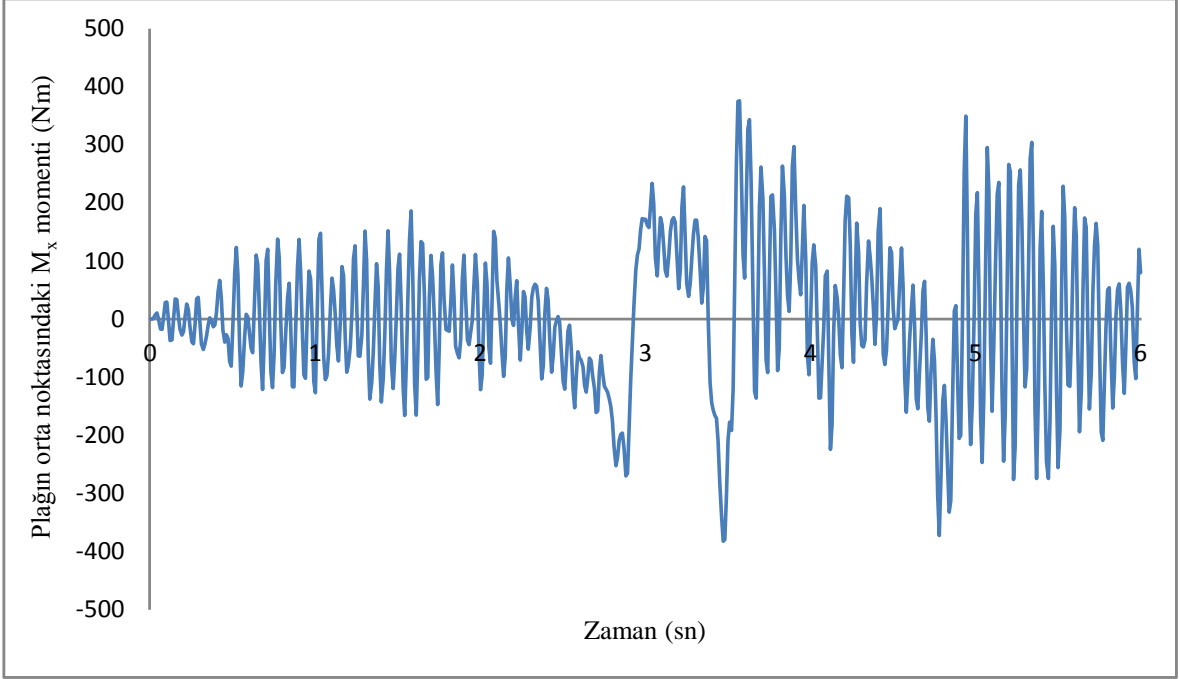
Şekil 3.10. Elastik zemine oturan kalın plâğın orta noktasındaki M_x ve M_y momentlerinin zamana göre değişimi ($H=5\text{m}$, $b/a=1$, $t/a=1/12$)



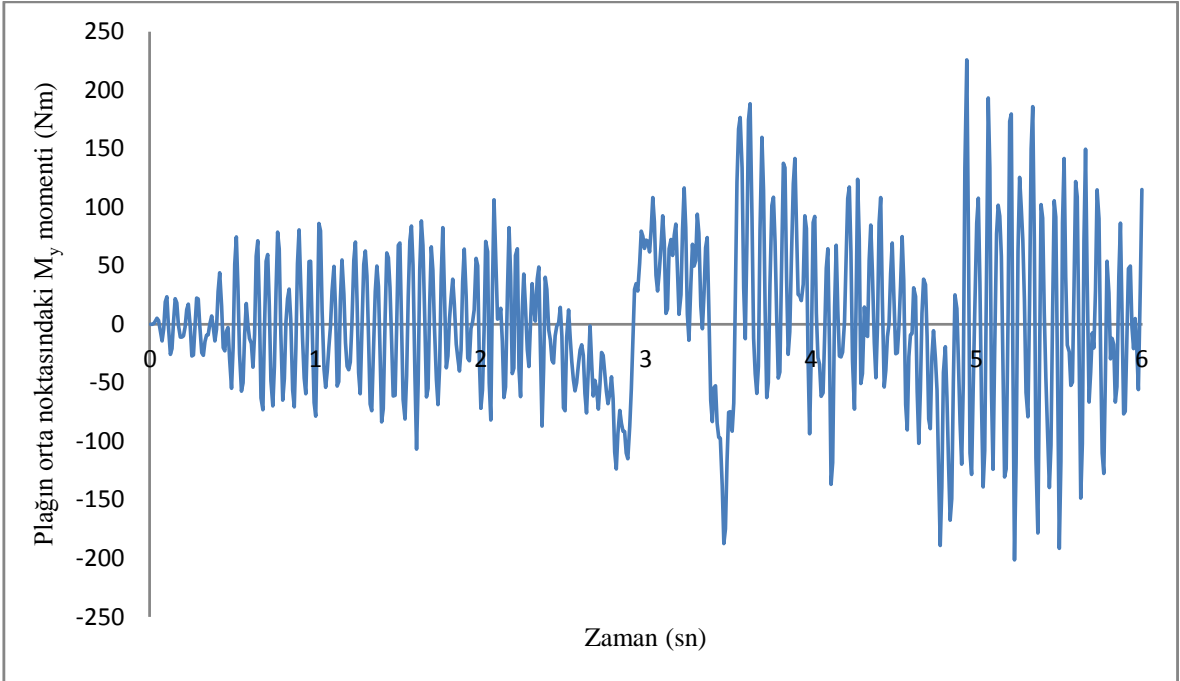
Şekil 3.11. Elastik zemine oturan kalın plağın orta noktasındaki M_x momentinin zamana göre değişimi ($H=15\text{m}$, $b/a=3$, $t/a=1/18$)



Şekil 3.12. Elastik zemine oturan kalın plağın orta noktasındaki M_y momentinin zamana göre değişimi ($H=15\text{m}$, $b/a=3$, $t/a=1/18$)



Şekil 3.13. Elastik zemine oturan kalın plâğın orta noktasındaki M_x momentinin zamana göre değişimi ($H=15\text{m}$, $b/a=3$, $t/a=1/12$)



Şekil 3.14. Elastik zemine oturan kalın plâğın orta noktasındaki M_y momentinin zamana göre değişimi ($H=15\text{m}$, $b/a=3$, $t/a=1/12$)

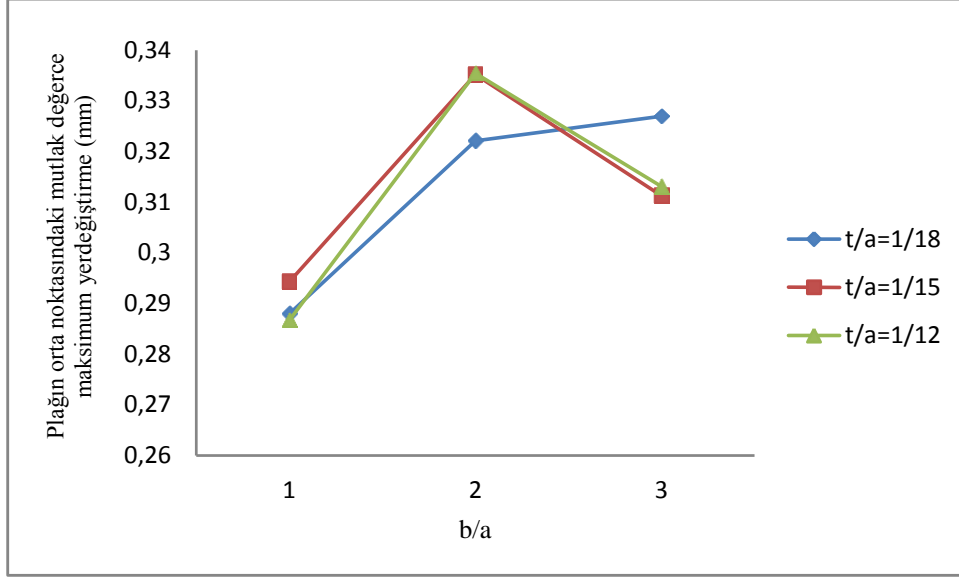
Şekil 3.9'dan görüldüğü gibi $H=5\text{m}$, $b/a=1$ ve $t/a=1/18$ için maksimum M_x ve M_y eğilme momentleri 40,38 Nm olarak 4,84. sn'de meydana gelmektedir. Şekil 3.10'dan görüldüğü gibi $H=5\text{m}$, $b/a=1$ ve $t/a=1/12$ için maksimum M_x ve M_y eğilme momentleri 113,61 Nm olarak 3,64. sn'de meydana gelmektedir. Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'den görüldüğü gibi $H=15\text{m}$, $b/a=3$ ve $t/a=1/18$ için maksimum M_x ve M_y eğilme momentleri sırasıyla 140,05 Nm olarak 3,47. sn'de ve 75,35 Nm olarak 4,94. sn'de meydana gelmektedir. Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'te görüldüğü gibi $H=15\text{m}$, $b/a=3$ ve $t/a=1/12$ için maksimum M_x ve M_y eğilme momentleri sırasıyla 382,31 Nm olarak 3,47. sn'de ve 225,92 Nm olarak 4,94. sn'de meydana gelmektedir.

Bu çalışmada zamanla değişim grafikleri verilen değerlerin zamana bağlı olarak değişimleri, çalışmada dikkate alınan deprem ivme kaydının zamana bağlı olarak değişimine benzemektedir.

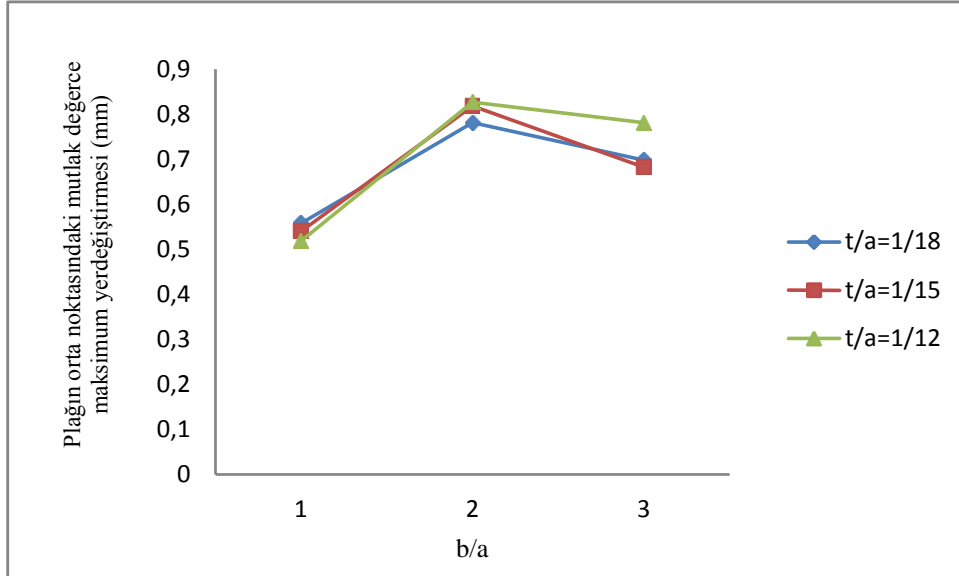
Bu çalışmada dikkate alınan farklı b/a ve t/a oranlarına ve zemin derinliğine sahip elastik zemine oturan deprem etkisindeki kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum yerdeğiştirme ile M_x ve M_y eğilme momentleri Tablo 3.1'de ve b/a ile t/a oranlarının bu değerler üzerindeki etkilerinin zemin derinliği de dikkate alınarak daha iyi görülmesi için sırasıyla Şekil 3.15, 3.16, 3.17, 3.18, 3.19, 3.20, 3.21, 3.22 ve 3.23'te verilmektedir.

Tablo 3.1. Elastik zemine oturan deprem etkisindeki kalın plakların mutlak değerce maksimum yerdeğiştirme ve eğilme momentleri

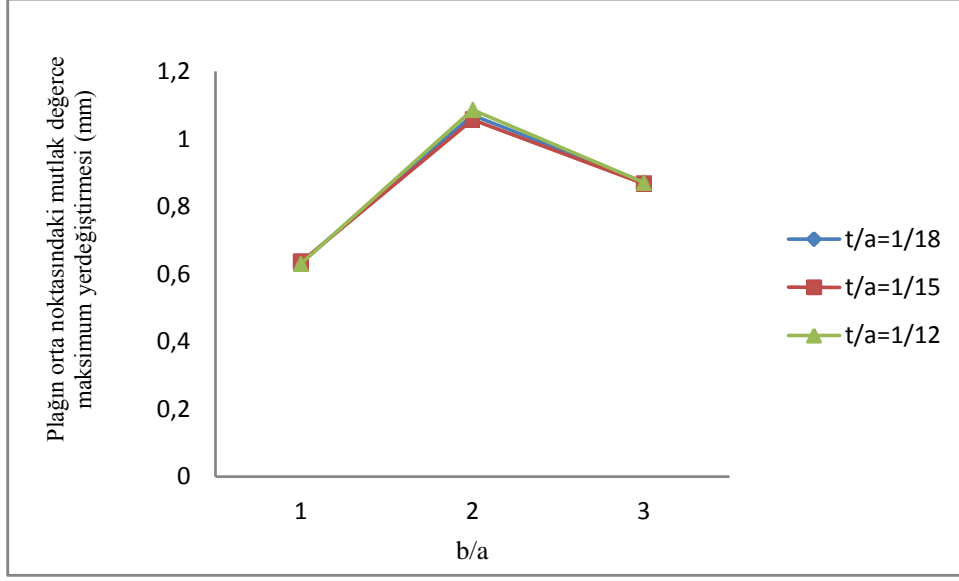
H (m)	b/a	t/a	Orta Noktadaki Yerdeğiştirme, w (mm)	Orta Noktadaki Eğilme Momenti, M_x (Nm)	Orta Noktadaki Eğilme Momenti, M_y (Nm)
5	1	1/18	0,2880	40,3788	40,3788
		1/15	0,2943	64,5536	64,5536
		1/12	0,2867	113,606	113,606
	2	1/18	0,3221	42,4731	24,2247
		1/15	0,3352	74,435	44,0331
		1/12	0,3354	138,986	88,6595
	3	1/18	0,3270	41,6653	21,0368
		1/15	0,3113	65,5528	33,9604
		1/12	0,3132	127,456	67,5291
10	1	1/18	0,5577	99,7159	99,7159
		1/15	0,5403	148,268	148,268
		1/12	0,5186	252,069	252,069
	2	1/18	0,7813	136,715	82,2223
		1/15	0,8182	228,321	144,585
		1/12	0,8265	402,895	282,332
	3	1/18	0,6975	117,599	58,7777
		1/15	0,6825	175,937	95,3763
		1/12	0,7811	357,254	176,488
15	1	1/18	0,6341	116,551	116,551
		1/15	0,6362	183,254	183,254
		1/12	0,6321	314,93	314,93
	2	1/18	1,0704	192,704	118,462
		1/15	1,0572	300,019	189,128
		1/12	1,0866	539,783	375,518
	3	1/18	0,8727	140,049	75,3468
		1/15	0,8679	218,594	113,011
		1/12	0,8717	382,312	225,920



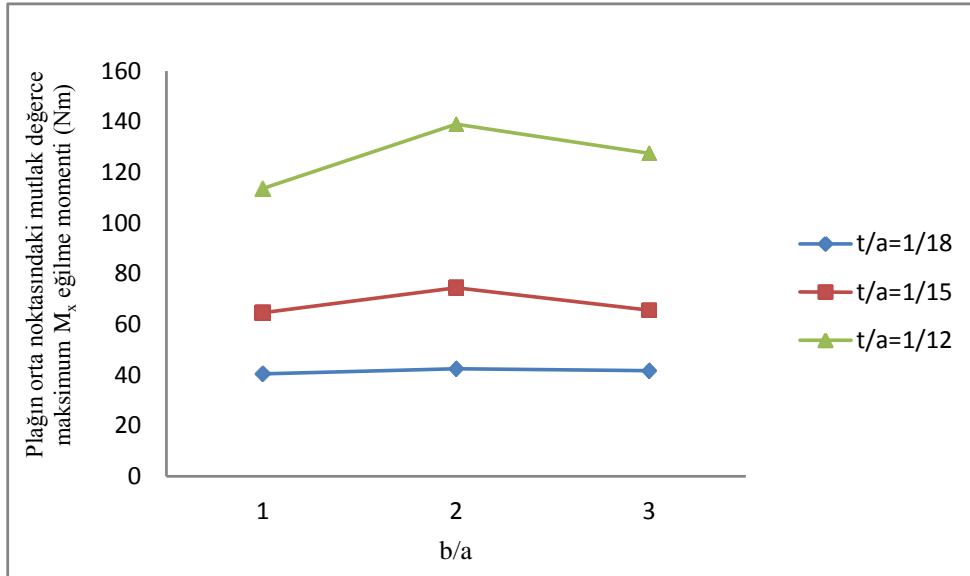
Şekil 3.15. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum yerdeğiştirmenin t/a ve b/a oranı ile değişimi ($H=5m$)



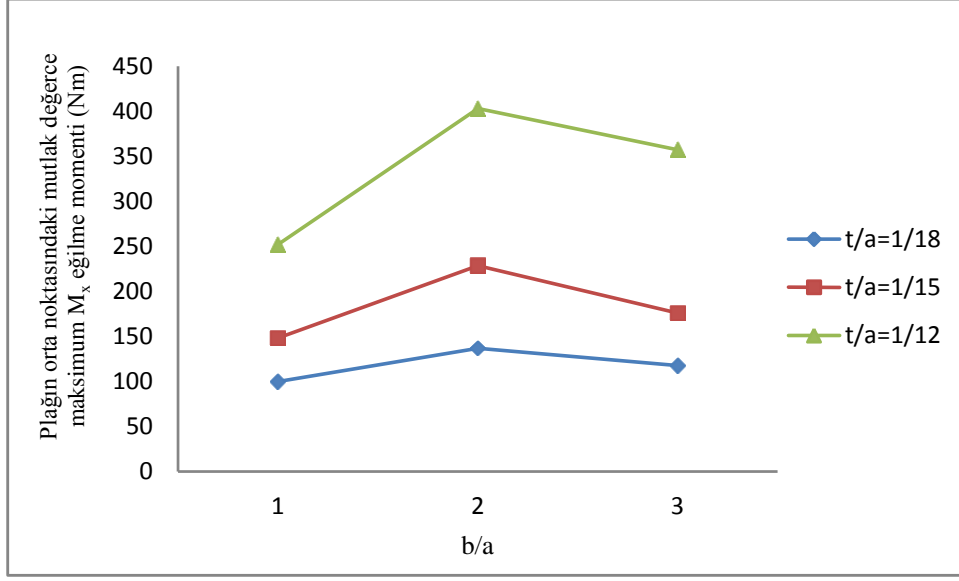
Şekil 3.16. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum yerdeğiştirmenin t/a ve b/a oranı ile değişimi ($H=10m$)



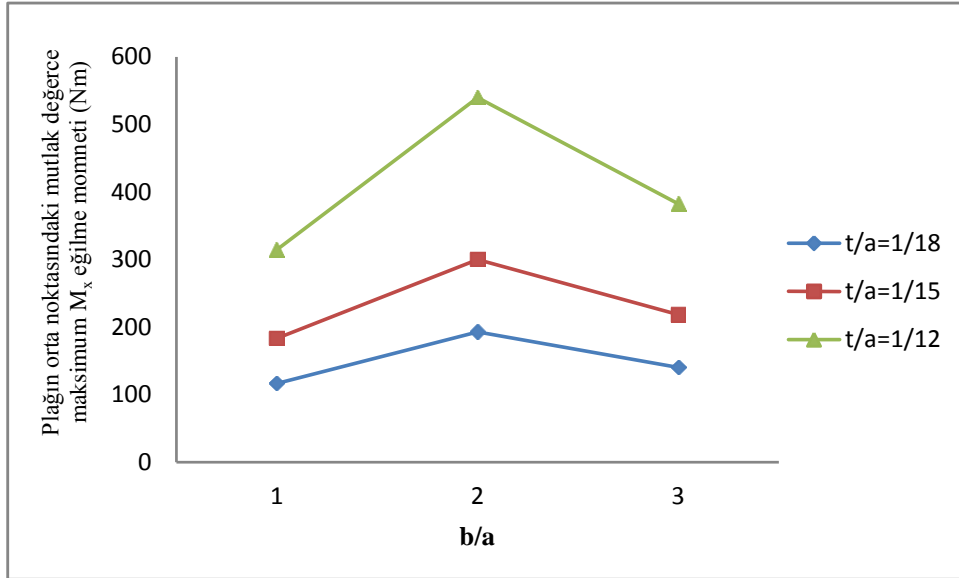
Şekil 3.17. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum yerdeğiştirmenin t/a ve b/a oranı ile değişimi ($H=15m$)



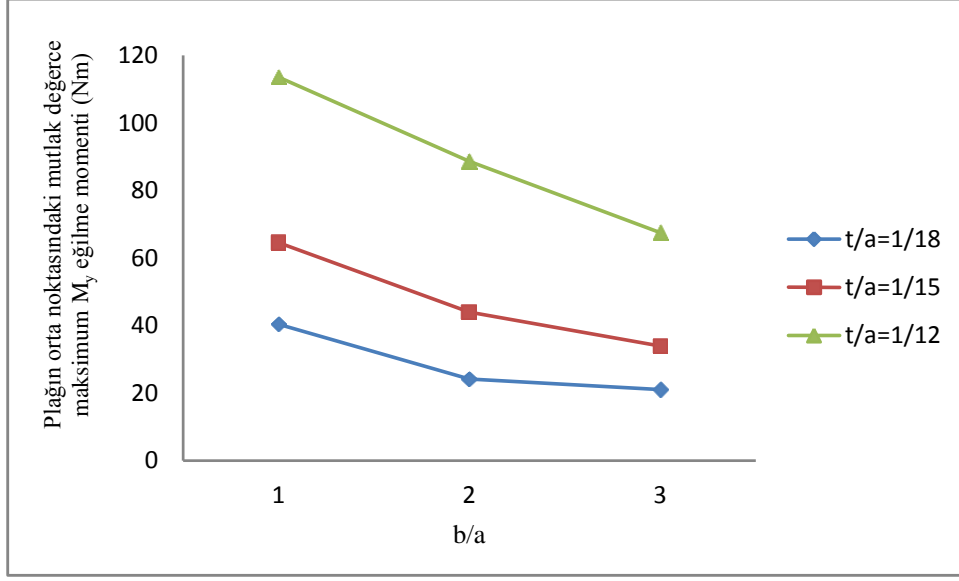
Şekil 3.18. Elastik zemine oturan kalın plakları orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_x eğilme momentinin t/a ve b/a oranı ile değişimi ($H=5m$)



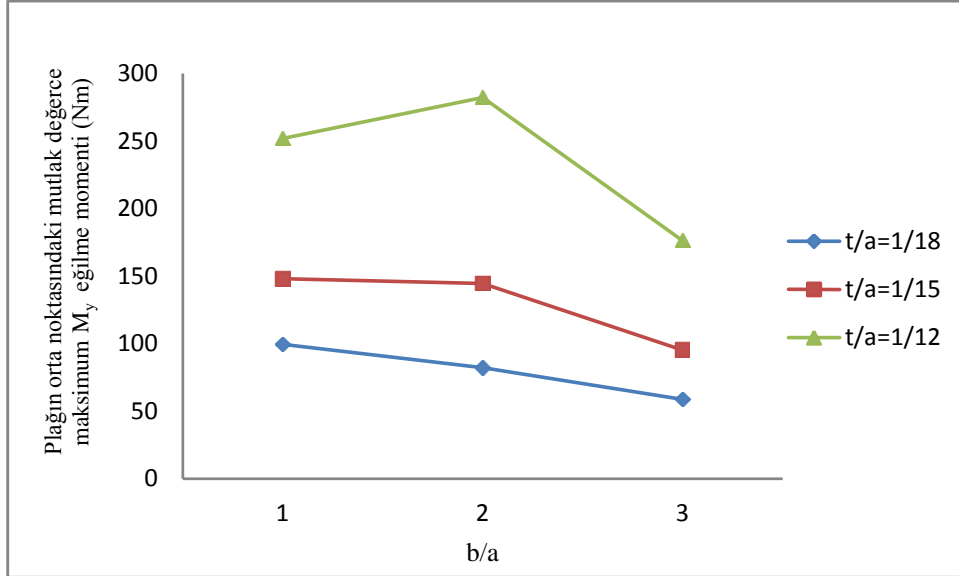
Şekil 3.19. Elastik zemine oturan kalın plakları orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_x eğilme momentinin t/a ve b/a oranı ile değişimi ($H=10m$)



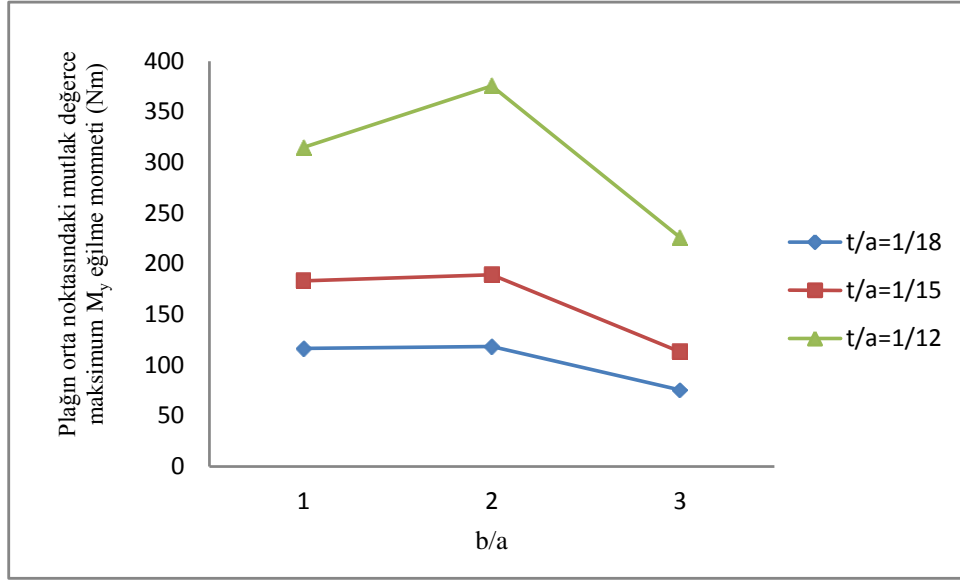
Şekil 3.20. Elastik zemine oturan kalın plakları orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_x eğilme momentinin t/a ve b/a oranı ile değişimi ($H=15m$)



Şekil 3.21. Elastik zemine oturan kalın plakları orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_y eğilme momentinin t/a ve b/a oranı ile değişimi ($H=5m$)



Şekil 3.22. Elastik zemine oturan kalın plakları orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_y eğilme momentinin t/a ve b/a oranı ile değişimi ($H=10m$)



Şekil 3.23. Elastik zemine oturan kalın plakları orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_y eğilme momentinin t/a ve b/a oranı ile değişimi ($H=15m$)

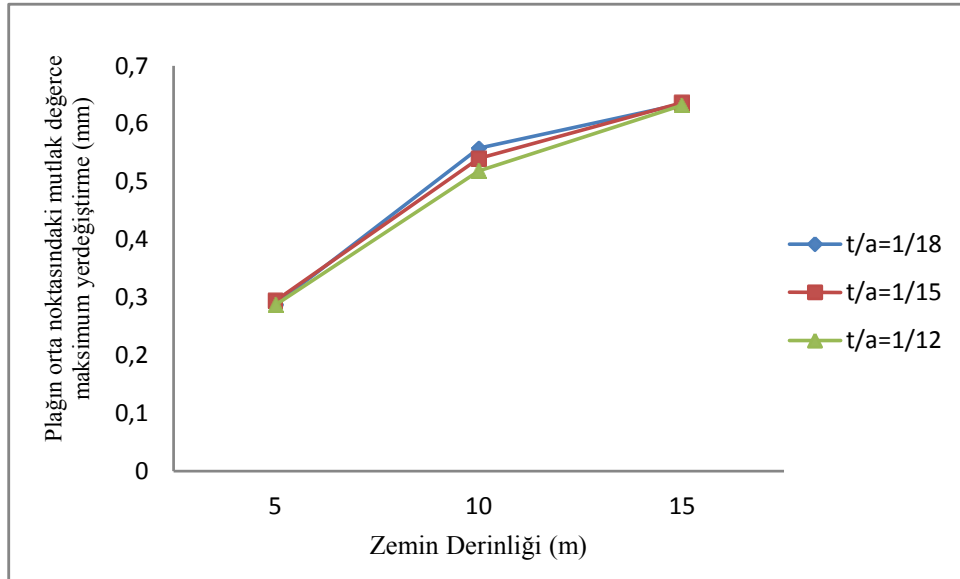
Tablo 3.1, Şekil 3.15, 3.16 ve 3.17'den görüldüğü gibi sabit bir t/a oranı için artan b/a oranına bağlı olarak plağın ortasındaki maksimum yerdeğiştirme değişiklik göstermektedir. Diğer bir deyişle, bu değişiklik b/a oranı 1'den 2'ye geçerken artış, 2'den 3'e geçerken azalma şeklinde olmaktadır. Yine bu tablo ve şekillerden görüldüğü gibi b/a oranının maksimum yerdeğiştirme üzerindeki etkisi t/a oranının etkisinden daha fazla olmaktadır. Ayrıca, zemin derinliği (H) artıkça plağın yaptığı yerdeğiştirme miktarı artmakta ve t/a oranının bu artıma etkisi azalmaktadır. Çünkü, H değeri artıkça t/a oranına göre plağın yaptığı yerdeğiştirme değeri birbirine yaklaşmaktadır. H değerinin 15 m olduğu durum için plağın yaptığı yerdeğiştirme miktarı t/a oranına göre pek fazla değişmemektedir.

Tablo 3.1, Şekil 3.18, 3.19 ve 3.20'den görüldüğü gibi sabit bir t/a oranı için artan b/a oranına bağlı olarak plağın ortasındaki maksimum M_x eğilme momenti değişiklik göstermektedir. Diğer bir deyişle, bu değişiklik b/a oranı 1'den 2'ye geçerken artış, 2'den 3'e geçerken azalma şeklinde olmaktadır. Tablo 3.1 ile Şekil 3.18, 3.19 ve 3.20'den yine görüldüğü gibi sabit bir b/a oranı için plağın orta noktasındaki maksimum M_x eğilme momenti değeri t/a oranı arttıkça artmaktadır. Yani, bu artış miktarı küçük t/a oranında daha az, büyük t/a oranında ise daha fazla olmaktadır. Ayrıca, zemin derinliği (H) artıkça plağın orta noktasındaki M_x eğilme momenti değeri artmaktadır. H değeri ve b/a oranı

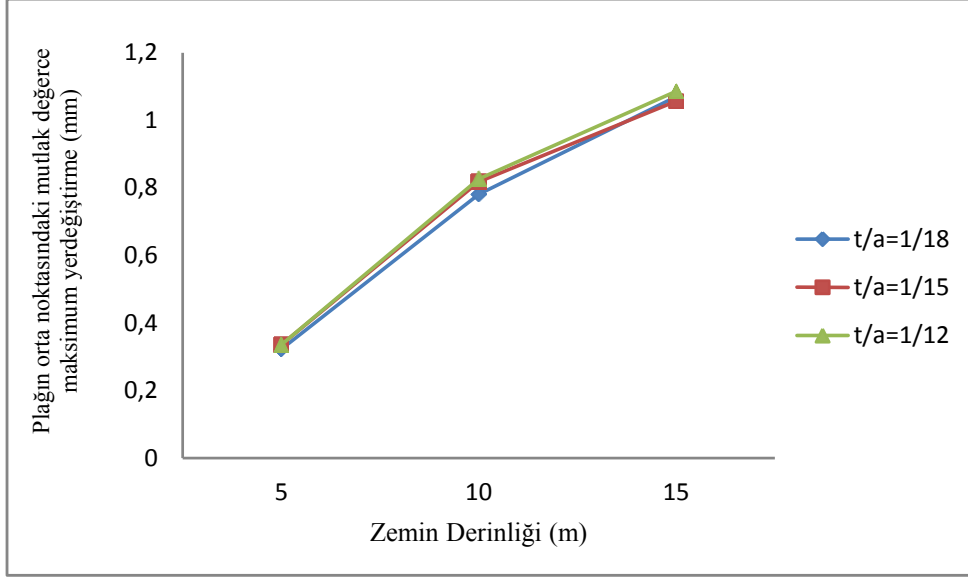
arttikça t/a oranının $1/18$ olduğu durum için M_x eğilme momentinin değerinde pek bir değişim olmamaktadır. Fakat t/a oranı arttikça, bu değişim M_x eğilme momentini b/a oranının 2 olduğu durumda arttırmakta b/a oranının 3 olduğu durumda $b/a=2$ 'ye göre azaltmaktadır.

Tablo 3.1, Şekil 3.21, 3.22 ve 3.23'ten görüldüğü gibi sabit bir t/a oranı için artan b/a oranına bağlı olarak plağın ortasındaki maksimum M_y eğilme momenti genellikle azalmaktadır. Fakat zemin derinliğinin (H) 10 m ve 15 m olduğu durumda t/a oranlarının $1/12$ 'ı için M_y eğilme momenti değeri b/a oranının 2 olduğu durumda en yüksek değerine, b/a oranının 3 olduğu durumda M_y eğilme momenti en düşük değerine ulaşmaktadır. Yine bu tablo ve şekillerden görüldüğü gibi sabit bir b/a oranı için artan t/a oranına bağlı olarak M_y eğilme momentinin değeri artmaktadır. Ayrıca, b/a oranının maksimum M_y eğilme momenti üzerindeki etkisi t/a oranının etkisinden genellikle daha az olmaktadır.

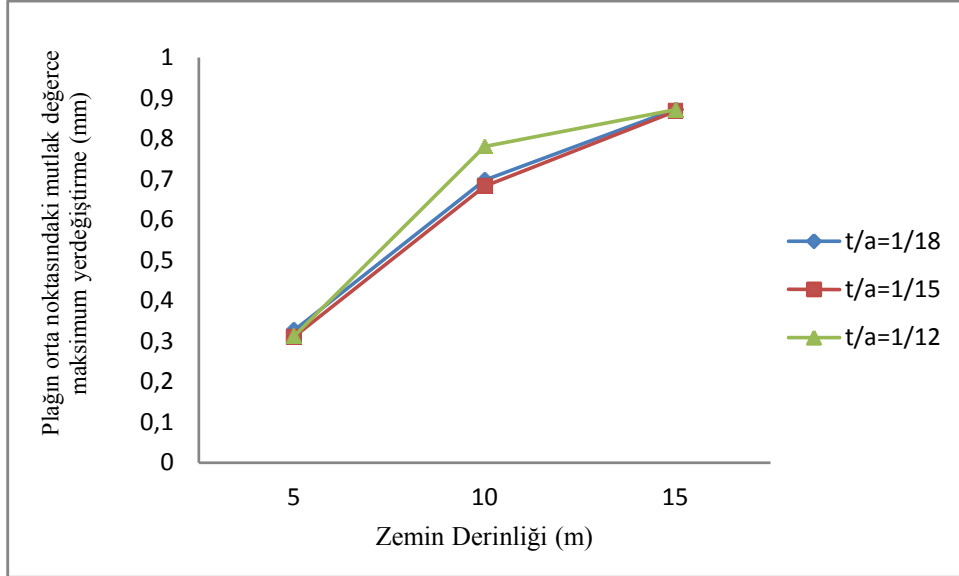
Bu çalışmada dikkate alınan farklı H ve t/a değerlerinin, elastik zemine oturan deprem etkisindeki kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum yerdeğiştirme ile M_x ve M_y eğilme momentleri değerleri üzerindeki etkilerinin b/a oranları dikkate alınarak daha iyi görülmeleri için mutlak değerce maksimum yerdeğiştirme ile M_x ve M_y eğilme momentleri değerleri sırasıyla Şekil 3.24, 3.25, 3.26, 3.27, 3.28, 3.29, 3.30, 3.31 ve 3.32'de verilmektedir.



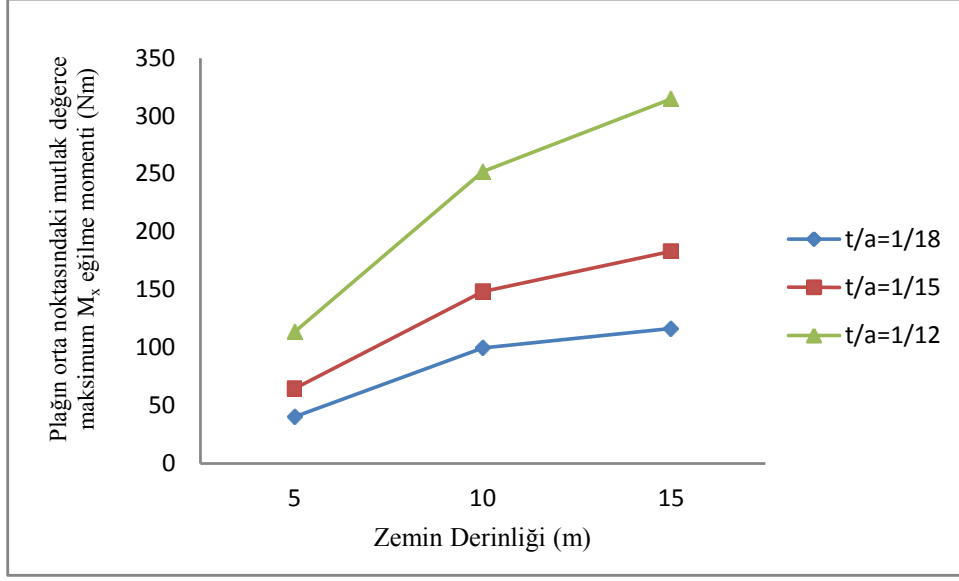
Şekil 3.24. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum yerdeğiştirme t/a oranı ve zemin derinliği (H) ile değişimi ($b/a=1$)



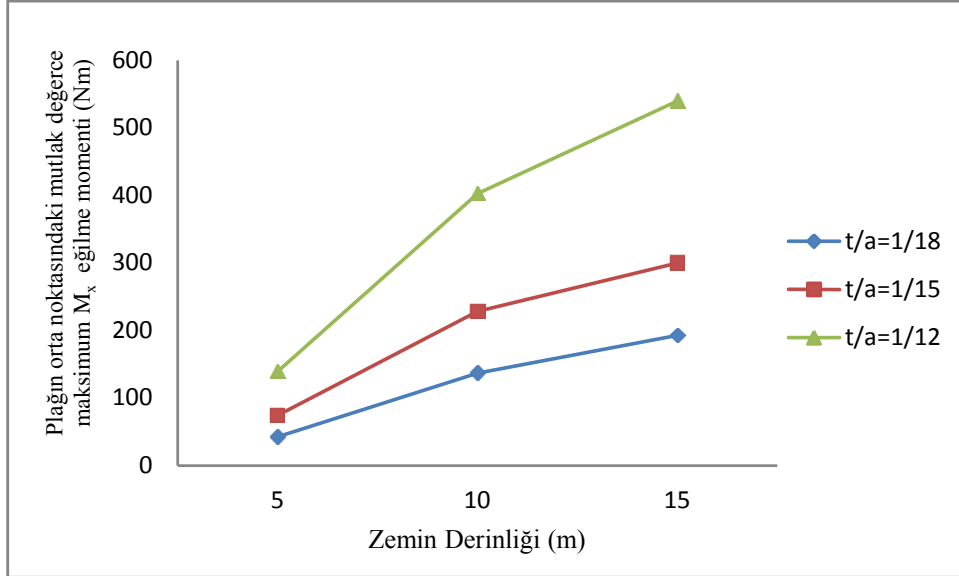
Şekil 3.25. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum yerdeğıştirmenin t/a oranı ve zemin derinliği (H) ile değışimi ($b/a=2$)



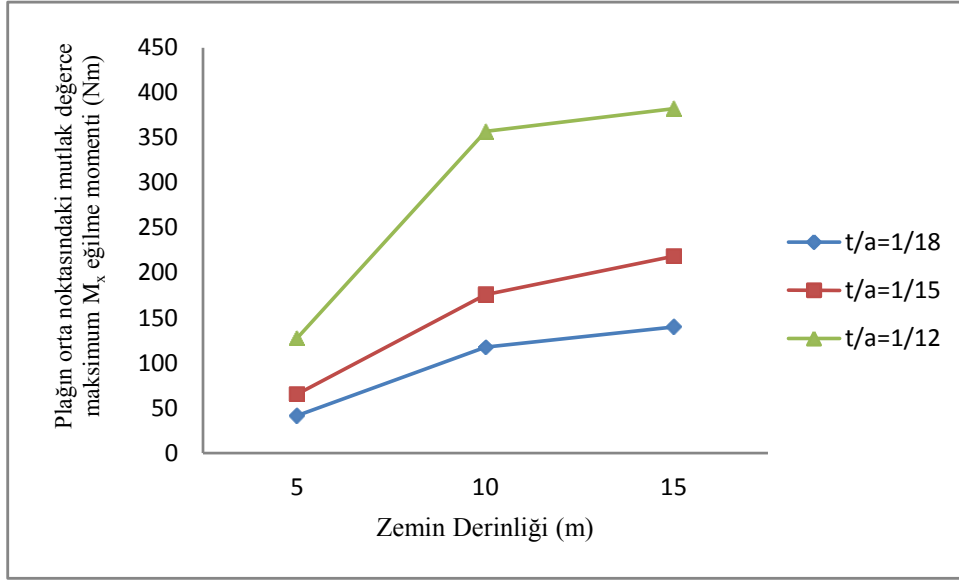
Şekil 3.26. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum yerdeğıştirmenin t/a oranı ve zemin derinliği (H) ile değışimi ($b/a=3$)



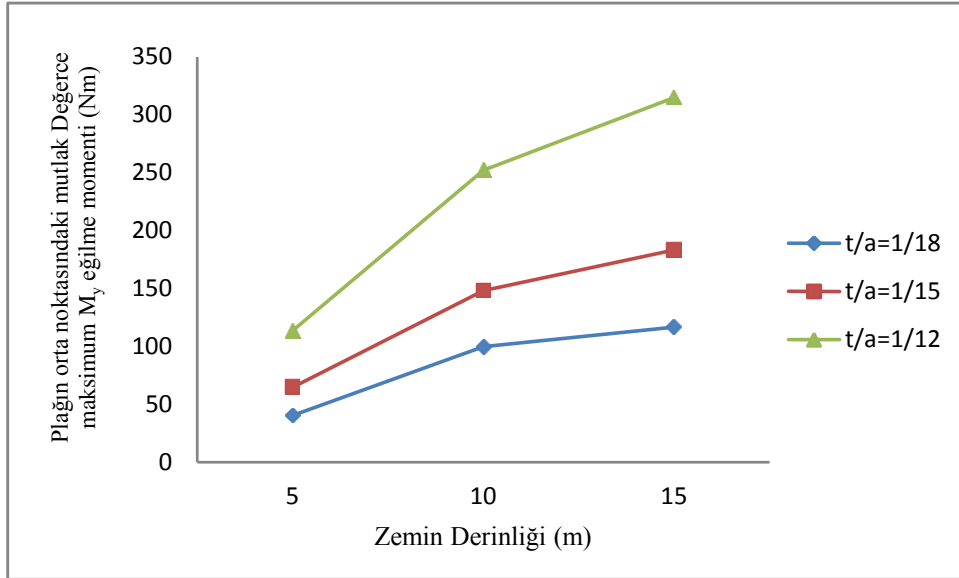
Şekil 3.27. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_x momentinin t/a oranı ve zemin derinliği (H) ile değişimi ($b/a=1$)



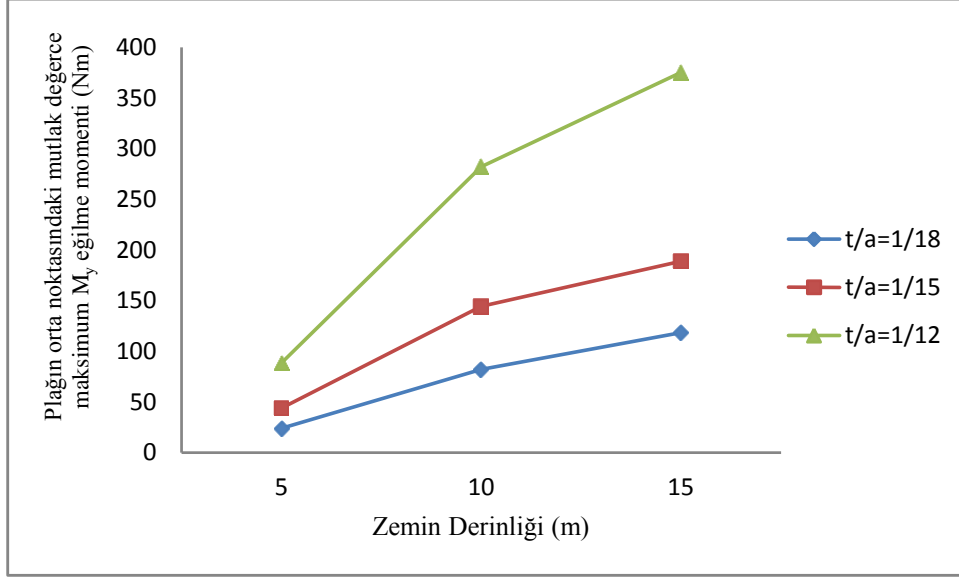
Şekil 3.28. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_x momentinin t/a oranı ve zemin derinliği (H) ile değişimi ($b/a=2$)



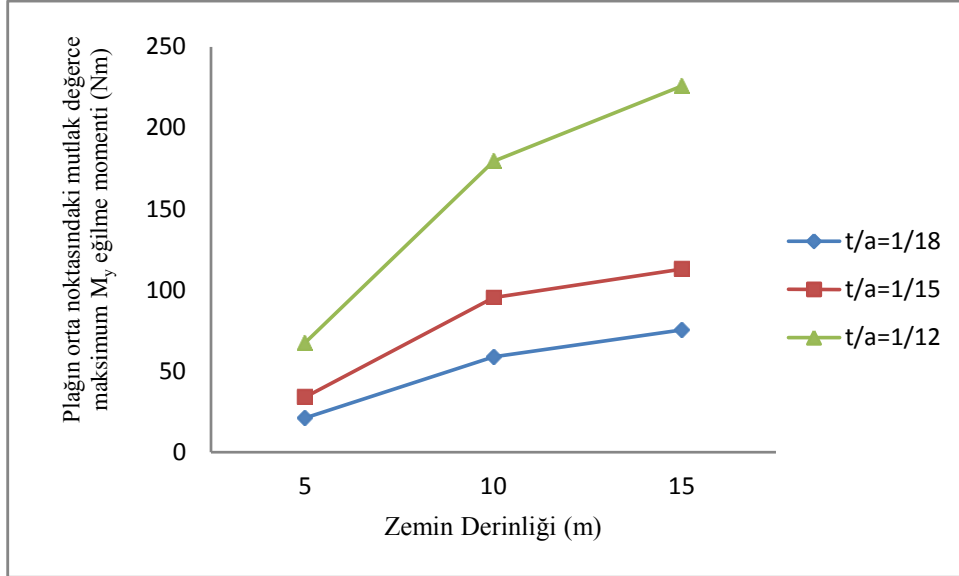
Şekil 3.29. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_x momentinin t/a oranı ve zemin derinliği (H) ile değişimi ($b/a=3$)



Şekil 3.30. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_y momentinin t/a oranı ve zemin derinliği (H) ile değişimi ($b/a=1$)



Şekil 3.31. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_y momentinin t/a oranı ve zemin derinliği (H) ile değişimi ($b/a=2$)



Şekil 3.32. Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_y momentinin t/a oranı ve zemin derinliği (H) ile değişimi ($b/a=3$)

Tablo 3.1, Şekil 3.24, 3.25 ve 3.26'dan görüldüğü gibi sabit bir t/a oranı için artan zemin derinliği (H) değerine bağlı olarak plak ortasındaki maksimum yerdeğiştirme değeri artmaktadır. Farklı t/a oranlarına göre yerdeğiştirmede pek bir değişiklik olmamaktadır. Diğer bir deyişle, bu artışa t/a oranının etkisinin H değerinin etkisinden daha az olduğu görülmektedir. Ayrıca, b/a oranının artışına göre plağın orta noktasındaki yerdeğiştirme değişiklik göstermektedir. Bu değişiklik b/a oranı 1'den 2'ye geçerken artış, 2'den 3'e geçerken azalma şeklinde olmaktadır. Yine bu tablo ve şekillerden görüleceği gibi b/a oranının 3 ve H değerinin 10 olduğu durum için t/a oranının 1/12 olduğu durumda plak t/a oranının 1/18 ve 1/15 olduğu durumlara göre daha fazla yerdeğiştirme yapmaktadır.

Tablo 3.1, Şekil 3.27, 3.28 ve 3.29'dan görüldüğü gibi sabit bir t/a oranı için artan zemin derinliği (H) değerine bağlı olarak plak ortasındaki maksimum M_x eğilme momenti değeri artmaktadır. Yine, sabit zemin derinliği (H) değeri için t/a oranı arttıkça M_x eğilme momentinin değeri artmaktadır. Ayrıca, artan b/a oranına bağlı olarak M_x eğilme momenti değişiklik göstermektedir. Diğer bir deyişle, bu değişiklik b/a oranı 1'den 2'ye geçerken artış, 2'den 3'e geçerken azalma şeklinde olmaktadır.

Tablo 3.1, Şekil 3.30, 3.31 ve 3.32'den görüldüğü gibi sabit bir t/a oranı için artan zemin derinliği (H) değerine bağlı olarak plak ortasındaki maksimum M_y eğilme momenti değeri artmaktadır. Sabit bir H değeri için maksimum M_y eğilme momenti değeri artan t/a oranına bağlı olarak artmaktadır. H değerinin 5m olduğu durumda tüm t/a oranlarında b/a oranı arttıkça M_y eğilme momentinin değeri azalmaktadır. H değeri 10m olduğunda t/a oranının 1/18 ve 1/15 olduğu durumda b/a oranı arttıkça M_y eğilme momentinin değeri azalmaktadır. Tablo 3.1, Şekil 3.30, 3.31 ve 3.32'den yine görüldüğü gibi H değeri 10m olduğunda t/a oranının 1/12 olduğu ve H değerinin 15m olduğunda t/a oranları 1/15 ve 1/12 olduğu durumlarda artan b/a oranına göre M_y eğilme momentinin değeri değişiklik göstermektedir. Diğer bir deyişle, bu değişiklik b/a oranı 1'den 2'ye geçerken artış, 2'den 3'e geçerken azalma şeklinde olmaktadır.

Özetle, bu çalışmaya konu olan elastik zemine oturan deprem etkisindeki kalın plakların maksimum yerdeğiştirme ve eğilme momentleri genellikle b/a, t/a oranları ve zemin derinliği değişikçe bunlara bağlı olarak özel periyotta meydana gelen küçük değişikliklerden önemli derecede etkilenmektedir. Bu nedenle yüklemenin statik olduğu durumdaki gibi maksimum yerdeğiştirme ile eğilme momentlerinin dikkate alınan parametrelere bağlı olarak değişimi her zaman düzgünlük arz etmemektedir. Dolayısıyla da maksimum değerlerde ani değişimler olabilmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı farklı kenar oranlarına (b/a), kalınlık/kenar (t/a) oranlarına ve zemin derinliğine (H) bağlı olarak elastik zemine oturan deprem etkisindeki kalın plakların Mindlin plak teorisini kullanarak incelemek ve bu parametrelerin bu plakların lineer davranışlarına etkilerini belirlemektir. Bu inceleme için yapılan çözümler sonlu elemanlar yöntemini kullanan ANSYS V11 paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Problemin sonlu elemanlar yöntemine göre çözümünde plak için her düğüm noktasında 6 serbestlik derecesi bulunan toplam 8 düğüm noktası olan *Shell 281* ve zemin için de her düğüm noktasında 3 serbestlik derecesi bulunan toplam 20 düğüm noktası olan *Solid 95* sonlu elemanları kullanılmıştır. Bu çalışmada daha önceden belirtildiği gibi herhangi bir dinamik yük etkisindeki bir sistemden elde edilecek tepkiler sistemin periyoduna bağlı olarak değişiklik göstereceğinden genel sonuçlara ulaşmak zor olmaktadır. Bununla birlikte elde edilen bulgulara bağlı olarak çıkartılabilecek başlıca sonuç ve öneriler aşağıda sunulmaktadır.

Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktalarındaki mutlak değerce maksimum yerdeğiştirme artan b/a oranına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu değişiklik miktarı b/a oranının küçük değerlerinde artış, büyük değerlerinde ise azalma şeklinde olmaktadır.

Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum yerdeğiştirme üzerinde b/a oranının etkisi t/a oranının etkisinden daha fazladır. Ancak bu miktar artan b/a oranına bağlı olarak azalma göstermektedir.

Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_x eğilme momenti artan t/a oranına bağlı olarak artış göstermektedir. Bu artış miktarı b/a oranı arttıkça daha fazla olmaktadır.

Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_x eğilme momenti üzerinde b/a oranının etkisi t/a oranının etkisinden daha az olmaktadır. Hatta azalan t/a oranına bağlı olarak b/a oranının etkisi ihmal edilebilecek duruma gelmektedir.

Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_y eğilme momenti artan b/a oranına bağlı olarak genellikle azalmaktadır. Bu azalma miktarı b/a oranının büyük değerlerinde daha fazla olmaktadır.

Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_y eğilme momenti üzerinde b/a oranının etkisi t/a oranının etkisinden daha azdır.

Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum yerdeğiştirme artan zemin derinliğine bağlı olarak artmaktadır. Bu artış miktarı t/a oranından fazla etkilenmemektedir.

Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_x eğilme momenti zemin derinliğine bağlı olarak artmaktadır. Bu artış miktarı artan zemin derinliğine bağlı olarak t/a oranının büyük değerlerinde daha fazla olmaktadır.

Elastik zemine oturan kalın plakların orta noktasındaki mutlak değerce maksimum M_y eğilme momenti zemin derinliğine bağlı olarak artmaktadır. Bu artış miktarı artan zemin derinliğine bağlı olarak t/a oranının büyük değerlerinde daha fazla olmaktadır.

Bu çalışma kapsamında 8 düğüm noktalı ve 20 düğüm noktalı sonlu elemanlar kullanılmıştır. Fazla sayıda düğüm noktaları olan sonlu elemanlar kullanılarak etkileri incelenebilir.

Bu çalışma kapsamında elastik zemine oturan deprem etkisindeki kalın plakların Mindlin plak teorisi kullanılarak lineer davranışları incelenmiştir. Benzer bir çalışma kapsamında elastik zemine oturan deprem etkisindeki kalın plakların lineer olmayan davranışları incelenebilecektir.

5. KAYNAKLAR

- Ayvaz, Y., 1992. Parametric Analysis of Reinforced Concrete Slabs Subjected to Earthquake Excitation, Ph. D. Thesis, The Graduate School of Texas Tech. University, Lubbock, Texas.
- Ayvaz, Y. ve Daloğlu A., 1997. Earthquake Analysis of Beams Resting on Elastic Foundations by Using a Modified Vlasov Model, Journal of Sound and Vibration, 200, 3, 315-325.
- Ayvaz, Y., Daloğlu A. ve Doğangün A., 1998. Application of a Modified Vlasov Model to Earthquake Analysis of Plates Resting on Elastic Foundation, Journal of Sound and Vibration, 212, 3, 499-509.
- Bowles, J. E., 1996. Foundation Analysis and Desing, McGraw-Hill
- Cai, L., Rong, T. ve Chen, D., 2002. Generalized Mixed Variational Methods for Reissner Plate and Its Application, Computational Mechanics, 30, 29-37.
- Chang, C. N. ve Chiang, F. K., 1988. Vibration Analysis of A Thick Plate with An Interior Cut-Out by A Finite Element Method, Journal of Sound and Vibration, 125, 3, 477-486.
- Cheung, M. S. ve Chan, M. Y. T., 1981. Static and Dynamic Analysis of Thin and Thick Sectorial Plates by The Finite Strip Method, Computers & Structures, 14, 1-2, 79-88.
- Chonan, S., 1980. Random Vibration of An Initially Stressed Thick Plate on An Elastic Foundation, Journal of Sound and Vibration, 71, 1, 117-127.
- Civalek, Ö., 2004. Elastik Zemine Oturan Yapıların Hesap Yöntemlerine Genel Bir Bakış, TMH – Türkiye Mühendislik Haberleri, 432, 4.
- Daloğlu, A., 2004. Elastik Zemine Oturan Plaklar İçin Parametreler, İMO Teknik Dergi, 3283-3293.
- Daloglu, A. T. ve Vallabhan, C. V., 2000. Values of k for Slab on Winkler Foundation, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 126, 5, 463-471.
- Filenenko-Borodich, M. M., 1940, Some Approximate Theories of Elastic Foundation, Uchenye Zapiski Moskovskogo Gosurdastvennogo Universiteta Mekhanika, 46, 3-18.
- Henwood, D. J., Whiteman, J. R. ve Yettram, A. L., 1981. Finite Difference Solution of A System First Order Partial Differential Equations, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 17, 1385-1395.

- Hetenyi, M., 1946. Beams on Elastic Foundation, The University of Michigan Press, An Arbor, Michigan.
- Hetenyi, M., 1950. A General Solution for The Bending of Beams on an Elastic Foundation of Arbitrary Continuity, Journal of Applied Physics, 21, 55-58.
- Huang, M. H., Thambiratnam, D. P., 2002. Dynamic Response of Plates on Elastic Foundation to Moving Loads, Journal of Engineering Mechanics, 128, 9, 1016-1022.
- Kim, S. M., McCullough, B. F., 2003. Dynamic Response of Plate on Viscous Winkler Foundation to Moving Loads of Varying Amplitude, Engineering Structures, 25, 1179-1188.
- Mindlin, R. D., 1951. Influence of Rotatory Inertia and Shear on Flexural Motions of Isotropic, Elastic Plates, Journal of Applied Mechanics, 18, 1, 31-38.
- Oğuzhan, C. B., 2001. Değiştirilmiş Vlasov Modelini Kullanarak Elastik Zemine Oturan Plakların Serbest Titreşim Analizi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Özdemir, Y. I., 2007. Deprem Etkisindeki Kalın Plakların Mindlin Teorisi Kullanılarak Parametrik Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Özgan, K., 2007. Geliştirilmiş Vlasov Modelini Kullanarak Elastik Zemine Oturan Kalın Plakların Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi ve Etkin Zemin Derinliğinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Özgan, K., Daloğlu, A. T., 2005. Elastik Zemine Oturan Plaklar İçin Etkili Zemin Derinliği, Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, Eylül, Antalya, Bildiriler Kitabı Cilt-I, 635-647.
- Pasternak, P. L., 1954. On a New Method of Analysis of an Elastic Foundations by means of Two Foundation Constants, Gosudarstvennoe Izdatelstvo Literaturi po Stroitelstvu i Arkhitekture, Moskov, Russia.
- Reddy, J. N. ve Chao, W. C., 1980. Large-Deflection and Large-Amplitude Free Vibration of Laminated Composite-Material Plates, Computers & Structure, 13, 341-347.
- Reissner, E., 1944. On The Theory of Bending of Elastic Plates, J. Math. Phys., 23, 184-191.
- Reissner, E., 1945. The Effect of Transverse Shear Deformation on The Bending of Elastic Plates, Journal of Applied Mechanics, 67, 69-77.
- Reissner, E., 1947. On Bendind of Elastic Plates, Quarterly of Applied Mathematics, 5, 55-68.

- Roufaeil, O. L. ve Dawe, D. J., 1982. Rayleigh-Ritz Vibration Analysis of Rectangular Mindlin Plates Subjected to Membrane Stresses, Journal of Sound and Vibration, 85, 2, 263-275.
- Selvaduari, A. P. S., 1979. Elastic Analysis of Soil-Foundation Interaction, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- Shen, H. S., Yang, J. ve Zhang, L., 2000. Dynamic Response of Reissner-Mindlin Plates Under Thermomechanical Loading and Resting on Elastic Foundations, Journal of Sound and Vibration, 232, 2, 309-329.
- Turhan, A., 1992. A Consistent Vlasov Model for Analysis of Plates on Elastic Foundations Using The Finite Element Method, Ph. D. Thesis, The Graduate School of Texas Tech. University, Lubbock, Texas.
- Ugural, A. C., 1981. Stresses in Plates and Shells, McGraw-Hall, Inc.
- Vallabhan, C. V. G. ve Das, Y. C., 1988. Parametric Study of Beams on Elastic Foundation, Journal of Engineering Mechanics, 114, 12, 2072-2082.
- Vallabhan, C. V. G. ve Das, Y. C., 1991. Modified Vlasov Model for Beams on Elastic Foundation, Journal of Geotechnical Engineering, 117, 6, 956-966
- Vallabhan, C. V. G., Straughan, W. T. ve Das, Y. C., 1991. Refined Model for Analysis of Plates on Elastic Foundation, Journal of Engineering Mechanics, 117, 12, 2830-2844.
- Vlasov, V. Z. ve Leont'ev, N. N., 1966. Beams, Plates, and Shell on Elastic Foundations, Translated from Russian, Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem.
- Voyiadjis, G. Z. ve Kattan, P. I., 1986. Thick Rectangular Plates on Elastic Foundation, Journal of Engineering Mechanics, 112, 11, 1218-1240.
- Yamada, G., Irie, T. ve Shoji, N., 1986. Vibration Characteristics of A Cylindrically Curved Thick Plate, Journal of Sound and Vibration, 110, 2, 337-346.
- Yokoyama, T., 1996. Vibration Analysis of Timoshenko Beam-Columns on Two-Parameter Elastic Foundations, Computers & Structure, 61, 6, 995-1007.
- Yuan, F. G. ve Miller, R. E., 1988. A Rectangular Finite Element for Moderately Thick Flat Plates, Computers & Structures, 30, 6, 1375-1387.

ÖZGEÇMİŞ

Ferhat SEYİS 1982 yılında, Trabzon'un Akçaabat ilçesinde doğdu. 1993 yılında Akçaabat Merkez İlkokulu'nu, 1996 yılında Akçaabat M. Selami Yardım Ortaokulu'nu, 2000 yılında Akçaabat Lisesi (YDA)'ni onur öğrencisi olarak tamamladı. 2002 yılında girdiği Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2006 yılında onur öğrencisi olarak mezun oldu. Aynı yıl bu bölümde yüksek lisans öğrenimine başladı. İyi derecede İngilizce bilen Ferhat SEYİS halen bu öğrenimine devam etmektedir.