

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAYILI TEMEL ANALİZİNDE ÜSTYAPI
RİJİTLİĞİNİN ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Aybars Nafi KILIÇ

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Sedat SERT

Ağustos 2011

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAYILI TEMEL ANALİZİNDE ÜSTYAPI
RİJİTLİĞİNİN ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ


İnş. Müh. Aybars Nafi KILIÇ


Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK

Bu tez 10/08/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.


Yrd. Doç. Dr. Sedat SERT
Jüri Başkanı


Prof. Dr. Akın ÖNALP
Üye


Yrd. Doç. Dr. Aşkın ÖZOCAK
Üye

ÖNSÖZ

Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Geoteknik Bilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada; yayılı temellerde üstyapı rijitliğinin etkisi incelenmiştir.

Lisans ve yüksek lisans eğitimlerim boyunca, çalışmalarına yön veren, bilgi ve tecrübesini paylaşan, zamanını ve güler yüzünü benden esirgemeyen hocam Y. Doç. Dr. Sedat SERT'e teşekkür ederim.

Bu çalışma kapsamında Midas GTS yazılımını kullanmamızı sağlayan ve her zaman örnek aldığımız Prof. Dr. Akın ÖNALP'e teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim süresince farklı aşamalarda yardımlarını gördüğüm Y. Doç. Dr. Ertan BOL, Y. Doç. Dr. Aşkın Özocak, Sakarya Üniversitesi Geoteknik Laboratuvarı'ndan Recep Eyüpler ve Midas GTS yetkilisi Dr. Ahmed Elkadi'ye teşekkür ederim.

Bu tez çalışması kapsamında 2009-50-01-040 nolu proje ile sağladığı destekten dolayı SAÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkür ederim.

Son olarak, hayatımın her aşamasında yanımda olan ve benden desteklerini esirgemeyen değerli aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	1
1.2. Temel Hareketleri.....	1
1.2.1. Oturma kriterleri.....	2
BÖLÜM 2.	
YAYILI TEMELLER.....	3
2.1. Yayılı Temelin Uygulama Koşulları.....	3
2.2. Yayılı Temel Türleri.....	5
2.3. Yayılı Temellerin Tasarımı.....	7
2.4. Yayılı Temellerin Taşıma Gücü.....	7
2.5. Yayılı Temellerde Oturmalar.....	9
2.6. Yayılı Temel Analiz Yöntemleri.....	10
2.6.1. Temel plağını rijit kabul eden yöntemler.....	11
2.6.2. Temel plağını rijit kabul etmeyen yöntemler.....	13
2.6.2.1. Winkler hipotezine dayalı yöntem.....	14

2.6.3. Sayısal analiz.....	17
2.6.3.1. Sonlu farklar yöntemi.....	18
2.6.3.2. Sonlu elemanlar yöntemi.....	19
BÖLÜM 3.	
YAZILIMLAR ve MİDAS GTS.....	22
3.1. Yayılı Temel Analizi için Yazılımlar.....	22
3.2. Midas GTS.....	26
BÖLÜM 4.	
MİDAS GTS ile SAYISAL ANALİZ.....	29
4.1. Midas GTS ile Modelleme.....	29
4.1.1. Model özellikleri.....	39
4.1.2. Yapılan çözüm kombinasyonları.....	40
4.1.3. Geometrinin oluşturulması.....	41
4.1.4. Malzeme özelliklerinin belirlenmesi.....	42
4.1.5. Sonlu eleman ağı oluşturulması.....	43
4.1.6. Sınır koşullarının belirlenmesi.....	44
4.1.7. Yüklemenin yapılması.....	44
4.1.8. Çözüm adımlarının belirlenmesi.....	47
4.2. Yeraltı Suyunun Etkisi.....	47
BÖLÜM 5.	
SAYISAL ÇÖZÜMLER.....	50
5.1. 3D Elemanlı Modele ait Görseller.....	50
5.2. 2D Elemanlı Modele ait Görseller.....	53
5.2.1. Üstyapı eleman boyutlarının değiştirildiği modellere ait görseller.....	57
5.3. Sonuçların Değerlendirilmesi.....	60
5.3.1. Düşey deplasmanların değerlendirilmesi.....	60
5.3.2. Temelde oluşan momentlerin değerlendirilmesi.....	70

5.4. Temel Kesitlerinin İncelemesi.....	74
5.4.1. Enkesit incelemesi.....	74
5.4.2. Boykesit incelemesi.....	76
5.4.3. Diyagonal kesit incelemesi.....	78
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR.....	81
BÖLÜM 7.	
TARTIŞMALAR VE ÖNERİLER.....	83
KAYNAKLAR.....	84
ÖZGEÇMİŞ.....	86

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Alan
B	: Temel genişliği
c	: Kohezyon
D_f	: Gömme derinliği
ε	: Birim boy değiştirme
σ	: Gerilme
G.S.	: Güvenlik sayısı
[K]	: Sonlu eleman çözümünde rijitlik matrisi
K_r	: Rijitlik faktörü
k_s	: Yatak katsayısı
L	: Temel boyu
M	: Moment
N	: Düzeltilmiş standart penetrasyon değeri
OCR	: Aşırı konsolidasyon oranı
{P}	: Sonlu elemanlarda düğümlere uygulanan dış kuvvet
{ δ }	: Sonlu elemanlarda düğümlerin yer değiştirmesi
Q	: Üst yapıdan gelen yükler
U	: Yeraltı su seviyesinden tabana gelen kaldırma kuvveti
q_d	: Son taşıma gücü
$q_{all,net}$: İzin verilebilir net taşıma gücü
Δ	: Toplam oturma
$\delta\Delta$: Farklı oturma
3D	: Üç boyutlu
2D	: İki boyutlu
Y.A.S.S.	: Yeraltı su seviyesi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Yayıllı temelin işlevinin teğet tekil temellerle karşılanması.....	4
Şekil 2.2.	Yayıllı temel tipleri.....	5
Şekil 2.3.	Yayıllı temelde yükler.....	8
Şekil 2.4.	Rijit temel yaklaşımında olası taban basıncı dağılımları.....	11
Şekil 2.5.	Yayıllı temellerin geleneksel tasarımı.....	13
Şekil 2.6.	Winkler zemin-temel etkileşim modeli.....	15
Şekil 2.7.	Yay katsayılarının değişimi.....	16
Şekil 2.8.	Yay katsayıları hesabı için örnek sonlu eleman ağı.....	17
Şekil 3.1.	Plaxis ile modellenmiş bir örnek.....	25
Şekil 3.2.	TNO Diana ile modellenmiş bir örnek.....	25
Şekil 3.3.	Midas GTS örnek modellemeleri.....	26
Şekil 3.4.	Yükleme sonucu temel altında düşey gerilmeler.....	28
Şekil 4.1.	Midas GTS arayüz ekranına ait görüntü.....	29
Şekil 4.2.	Proje özellik penceresine ait görüntü.....	30
Şekil 4.3.	Geometrinin oluşturulduğu ekrana ait görüntü.....	30
Şekil 4.4.	Geometri alt menüsü ve çizim komutları.....	31
Şekil 4.5.	Çizime üçüncü boyutun kazandırılması için izlenen yol.....	31
Şekil 4.6.	Oluşturulan 3 boyutlu modele ait görüntü.....	32
Şekil 4.7.	Model alt menüsü ve malzeme atamak için izlenen yol.....	32
Şekil 4.8.	Malzeme özelliklerinin tanımlandığı pencereye ait görüntü.....	33
Şekil 4.9.	Ağ alt menüsü ve ağ oluşturma.....	33
Şekil 4.10.	Ağ özelliklerinin tanımlandığı pencereye ait görüntü.....	34
Şekil 4.11.	Sonlu eleman ağına ait görüntü.....	34
Şekil 4.12.	Model alt menüsü ve sınır şartlarının belirlenmesinde izlenecek yol.....	35
Şekil 4.13.	Sınır şartlarının oluşturulduğu pencereye ait görüntü.....	35

Şekil 4.14.	Yüklemenin yapılmasında izlenecek yol.....	36
Şekil 4.15.	Yüklemenin tanımlandığı pencereye ait görüntü.....	36
Şekil 4.16.	Çözüm adımlarının tanımlanmasında izlenecek yol.....	37
Şekil 4.17.	Çözüm adımlarının tanımlandığı pencereye ait görüntü.....	37
Şekil 4.18.	Analiz özelliklerinin düzenlendiği pencereye ait görüntü.....	38
Şekil 4.19.	Analiz sonuçlarının görsel olarak verildiği görüntü.....	38
Şekil 4.20.	Yayıllı temel aplikasyon planı.....	39
Şekil 4.21.	Üç boyutlu elemanlardan oluşan model (3D elemanlı).....	41
Şekil 4.22.	İki boyutlu elemanlardan oluşan model (2D elemanlı).....	42
Şekil 4.23.	Zeminde gerilme - şekil değiştirme davranışı modelleri.....	42
Şekil 4.24.	Sonlu eleman ağı görünümü.....	44
Şekil 4.25.	3D elemanlı bina yüklemesi.....	45
Şekil 4.26.	3D elemanlı kolon yüklemesi.....	45
Şekil 4.27.	3D elemanlı yayıllı yükleme.....	46
Şekil 4.28.a	Yeraltı suyunun bulunduğu 3D modeldeki deplasman dağılımı	47
Şekil 4.28.b	Yeraltı suyunun olmadığı 3D modeldeki deplasman dağılımı....	47
Şekil 4.29.a	Yeraltı suyunun bulunduğu 3D modelde temelde oluşan deplasman dağılımı.....	48
Şekil 4.29.b	Yeraltı suyunun bulunmadığı 3D modelde temelde oluşan deplasman dağılımı.....	48
Şekil 4.30.a	Yeraltı suyunun bulunduğu 2D modeldeki deplasman dağılımı.	48
Şekil 4.30.b	Yeraltı suyunun olmadığı 2D modeldeki deplasman dağılımı....	48
Şekil 4.31.a	Yeraltı suyunun bulunduğu 2D modelde temelde oluşan deplasman dağılımı.....	48
Şekil 4.31.b	Yeraltı suyunun bulunmadığı 2D modelde temelde oluşan deplasman dağılımı.....	48
Şekil 5.1.	Üç boyutlu ve iki boyutlu elemanlarla modellenmiş bina yüklemesinde deplasmanlar.....	50
Şekil 5.2.	3D elemanlı modelde oluşan deplasmanlara ait görüntü.....	51
Şekil 5.3.	3D elemanlı modelde enkesit örneği.....	51
Şekil 5.4.	3D elemanlı modelde boykesit örneği.....	52
Şekil 5.5.	3D elemanlı modellerde 50 cm kalınlığındaki temelde oluşan deplasmanlar.....	52

Şekil 5.6.	2D elemanlı modelde oluşan deplasmanlara ait görüntü.....	53
Şekil 5.7.	2D elemanlı modelde enkesit örneği.....	54
Şekil 5.8.	2D elemanlı modelde boykesit örneği.....	54
Şekil 5.9.	2D elemanlı modelde 50 cm kalınlığındaki temelde oluşan deplasmanlar.....	55
Şekil 5.10.	2D elemanlı modelde temelde oluşan M_{xx} momentleri.....	56
Şekil 5.11.	2D elemanlı modelde temelde oluşan M_{yy} momentleri.....	56
Şekil 5.12.	2D elemanlı modelde temelde oluşan M_{xy} momentleri.....	57
Şekil 5.13.	50 cm'lik temelde oluşan düşey deplasmanlar.....	57
Şekil 5.14.	30 cm'lik temelde oluşan düşey deplasmanlar.....	58
Şekil 5.15.	Temelde oluşan M_{xx} momentleri.....	58
Şekil 5.16.	Temelde oluşan M_{yy} momentleri.....	59
Şekil 5.17.	Temelde oluşan M_{xy} momentleri.....	59
Şekil 5.18.	Zemin A'da oluşan toplam oturmaların temel kalınlığına göre değişimi.....	61
Şekil 5.19.	Zemin B'de oluşan toplam oturmaların temel kalınlığına göre değişimi.....	61
Şekil 5.20.	Zemin A'da oluşan farklı oturmaların temel kalınlığına göre değişimi.....	62
Şekil 5.21.	Zemin B'de oluşan farklı oturmaların temel kalınlığına göre değişimi.....	63
Şekil 5.22.	Bina yüklemesi altında oluşan toplam oturmaların temel kalınlığına göre değişimi.....	64
Şekil 5.23.	Bina yüklemesi altında oluşan farklı oturmaların temel kalınlığına göre değişimi.....	64
Şekil 5.24.	Kolon yüklemesi altında oluşan toplam oturmaların temel kalınlığına göre değişimi.....	65
Şekil 5.25.	Kolon yüklemesi altında oluşan farklı oturmaların temel kalınlığına göre değişimi.....	65
Şekil 5.26.	Yayıllı yükleme altında oluşan toplam oturmaların temel kalınlığına göre değişimi.....	66
Şekil 5.27.	Yayıllı yükleme altında oluşan farklı oturmaların temel kalınlığına göre değişimi.....	66

Şekil 5.28.	3D elemanlı modelde oluşan toplam oturmaların temel kalınlığına göre değişimi.....	67
Şekil 5.29.	3D elemanlı modelde oluşan farklı oturmaların temel kalınlığına göre değişimi.....	67
Şekil 5.30.	2D elemanlı modelde oluşan toplam oturmaların temel kalınlığına göre değişimi.....	68
Şekil 5.31.	2D elemanlı modelde oluşan farklı oturmaların temel kalınlığına göre değişimi.....	68
Şekil 5.32.	Temelerde oluşan toplam oturmalar.....	69
Şekil 5.33.	Temelerde oluşan farklı oturmalar.....	70
Şekil 5.34.	2D elemanlı modelde oluşan M_{xx} momentlerinin temel kalınlığına göre değişimi.....	71
Şekil 5.35.	2D elemanlı modelde oluşan M_{yy} momentlerinin temel kalınlığına göre değişimi.....	71
Şekil 5.36.	2D elemanlı modelde oluşan M_{xy} momentlerinin temel kalınlığına göre değişimi.....	72
Şekil 5.37.	Temelde oluşan M_{xx} momentlerinin üstyapı eleman boyutuna göre değişimi.....	73
Şekil 5.38.	Temelde oluşan M_{yy} momentlerinin üstyapı eleman boyutuna göre değişimi.....	73
Şekil 5.39.	Temelde oluşan M_{xy} momentlerinin üstyapı eleman boyutuna göre değişimi.....	74
Şekil 5.40.	Enkesit noktalarının temel üzerinde gösterimi.....	74
Şekil 5.41.	Bina yüklemesi altındaki 50 cm'lik temelin enkesit noktalarında oluşan deplasmanlar.....	75
Şekil 5.42.	Kolon yüklemesi altındaki 50 cm'lik temelin enkesit noktalarında oluşan deplasmanlar.....	75
Şekil 5.43.	Yayıllı yük altındaki 50 cm'lik temelin enkesit noktalarında oluşan deplasmanlar.....	76
Şekil 5.44.	Boykesit noktalarının temel üzerinde gösterimi.....	76
Şekil 5.45.	Bina yüklemesi altındaki 50 cm'lik temelin boykesit noktalarında oluşan deplasmanlar.....	77

Şekil 5.46.	Kolon yüklemesi altındaki 50 cm'lik temelin boykesit noktalarında oluşan deplasmanlar.....	77
Şekil 5.47.	Yayıllı yük altındaki 50 cm'lik temelin boykesit noktalarında oluşan deplasmanlar.....	78
Şekil 5.48.	Diyagonal kesit noktalarının temel üzerinde gösterimi.....	78
Şekil 5.49.	Bina yüklemesinde 50 cm'lik temelin diyagonal kesit noktalarında oluşan deplasmanlar.....	79
Şekil 5.50.	Kolon yüklemesinde 50 cm'lik temelin boykesit noktalarında oluşan deplasmanlar.....	79
Şekil 5.51.	Yayıllı yük altındaki 50 cm'lik temelin boykesit noktalarında oluşan deplasmanlar.....	80

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Yayılı temelli yapılar için oturma kriterleri.....	2
Tablo 2.1. Yay katsayılarının örnek hesabı.....	17
Tablo 4.1. Modellemede kullanılan malzeme özellikleri.....	43
Tablo 4.2. Kolonlara gelen yükler ve kolon boyutları.....	46
Tablo 4.3. Yeraltı suyu na bağlı olarak deplasmanlardaki değişim.....	49
Tablo 5.1. Birinci çalışmaya ait çözümlerdeki toplam ve farklı oturmalar.....	60
Tablo 5.2. İkinci çalışmaya ait çözümlerdeki toplam ve farklı oturmalar.....	69
Tablo 5.3. Birinci çalışmaya ait temellerdeki momentler.....	70
Tablo 5.4. İkinci çalışmaya ait temellerdeki momentler.....	72

ÖZET

Anahtar kelimeler: Yayılı temel, 3 boyutlu sonlu eleman çözümü, Midas GTS

Bu çalışmanın amacı yayılı temelerde üstyapı rijitliğinin etkilerinin sonlu elemanlar yöntemiyle çalışan bir yazılım yardımıyla incelenmesidir.

Bu çalışmada yayılı temeller incelenmiş, yayılı temel türleri, işlevleri, kullanıldıkları durumlar ve hesap metodları hakkında bilgiler verilmiştir. Yayılı temellerin hesabında kullanılan bilgisayar yazılımları hakkında bilgiler verilmiş, bu yazılımlardan Midas GTS ile modellemeden bahsedilerek örnek bir uygulama yapılmıştır.

Yayılı temelerde üstyapı rijitliğinin etkilerini göstermek ve değerlendirmek amacıyla Midas GTS yazılımıyla farklı modelleme şekillerinde, farklı temel kalınlıklarında ve iki farklı zemin koşulunda modeller oluşturularak birbiriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları şekiller, tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur.

Üst yapı rijitliğinin temelde oluşan deplasmanlarda önemli rol oynadığı ve gözardı edilmesinin artık doğru bir yaklaşım olmadığı gösterilmektedir.

THE EFFECT OF SUPERSTRUCTURE RIGIDITY ON THE ANALYSIS OF MAT FOUNDATIONS

SUMMARY

Key Words: Mat foundation, three dimensional finite elements, Midas GTS

The aim of this study is to investigate the effect of superstructure rigidity on the analysis of mat foundations bu using a finite element method software: Midas GTS.

In this study, mat foundations have been investigated; types, functions, using conditions and calculation methods of mat foundatios have been explained. Some softwares related to mat foundations have been also presented and Midas GTS software has been used to go on to this study.

Much number of models have been set up to show the effect of superstructure rigidity. Superstructure loads have been modelled in different types such as distributed loads, column loads and modelling all building and results have been presented in figures and tables.

It has been founded that the superstructure rigidity has effect on the results and it must be taken into account.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı

Sayısal analiz yöntemlerinde görülen gelişmeler ile zemin - yapı etkileşiminin ve zeminlerin doğrusal olmayan yük - şekil değiştirme davranışlarının üç boyutlu modellenmesi sağlanmaktadır. Bu gelişmeler ışığında, ileri bilgisayar yazılımlarıyla üstyapı - temel - zemin etkileşimleri dikkate alınarak daha gerçekçi ve ekonomik çözümler yapılabilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, sonlu elemanlar yöntemini kullanan bir yazılımla farklı temel kalınlıkları ve yükleme koşullarındaki yayılı temellerdeki üstyapı katılığının (rijitliğinin) etkilerini göstermektir. Söz konusu yüklemeler; düzgün yayılı yükleme, kolon yüklemesi ve tüm binanın modellenerek yükleme yapılmasıdır.

1.2. Temel Hareketleri

Geleneksel yöntemlerle yayılı temellerin hesabında temel rijit kabul edilmekte, temel hareketleri göz önüne alınmamaktadır. Günümüzün gelişmiş yazılımlarında zemin, temel, üstyapı birlikte modellenebilmekte, dolayısıyla her türlü temel hareketi hesaba katılabilmektedir.

Toplam oturma (Δ), yük altında yapı temelinin herhangi bir noktasında zeminin elastik ve plastik hareketleri sonucunda oluşan yer değiştirmedir. Toplam oturmalar yapıya önemli zarar vermemekle birlikte kanal, su ve gaz bağlantılarının kesilmesine sebep olabilirler (Önalp, 1983).

Farklı oturma ($\delta\Delta$), yapının eğilmesine sebep olan, yapının kullanımına engel olabilen, görüntü kadar içerideki hassas alet ve makinaların düzenini bozan, temelin değişik yerlerinde farklı miktarlarda oturmasıdır (Önalp, 1983).

Bir yapının oturmalarını kabul edilebilir limitlerde tutmak için, zemin özellikleri ve yapı yüklerini kullanarak her temelin oturmasını ayarlamak olduğu düşünülebilir. Ancak zemin özellikleri ve yükler tam olarak ölçülse bile hesaplanan gerçek oturmaların önemli farklar gösterdiği bilinmektedir. Birçok elemandan meydana gelen üst yapının farklı temel hareketlerini katılığının (rijitliğinin) etkisiyle temeller arasında “yük aktarması yaparak” kendiliğinden ayarlamasının buna neden olduğu belirtilmektedir (Meyerhof, 1947).

1.2.1. Oturma kriterleri

Estetik açıdan rahatsızlık veriyor olmalarına rağmen yapı temellerinde meydana gelen toplam veya farklı oturmalar yapısal hasara yol açmayabilirler.

Bowles (1988), farklı oturmaların oluşan en büyük toplam oturmanın $\frac{3}{4}$ 'ü oranında gerçekleşeceğini belirtmiştir.

Tablo 1.1’de Mc Donald ve Skempton (1955) tarafından yayılı temeller için yapıların dayanabileceği ve kullanılması önerilen toplam oturma ve farklı oturma değerleri verilmiştir.

Tablo 1.1. Yayılı temelli yapılar için oturma kriterleri (Mc Donald ve Skempton, 1955)

Kriter	Zemin Türü	Yapıların Dayanabileceği	Önerilen
$\delta\Delta_{\max}$ (mm)	Kil	45	38
	Kum	32	25
Δ_{\max} (mm)	Kil	76-127	64-102
	Kum	51-76	38-64

Yayılı temellerde Türkiye uygulaması için uygun olacağı düşünülen toplam oturma sınırları, Önalp (1983) tarafından kilde 100 mm, kumda 60 mm olarak verilmiştir. Bu değerler yapıların tahammül edebileceği üst değerler olarak belirtilmiştir. Tasarım sırasında yayılı temellerde 40 mm’ye göre hesap yapılması önerilmiş ve bu durumda farklı oturmaların toplam oturmaların yarısı civarında gerçekleşeceği belirtilmiştir.

BÖLÜM 2. YAYILI TEMELLER

Yayılı temel, yapı alanının tümünü kapsayan ve çok sayıda kolon yükü taşıyan bir tür birleşik temel olarak tariflenebilir. Mühendisler ve halk arasında sıklıkla Fransızca adıyla radyejeneral veya radye temel olarak kullanılmaktadır.

Yayılı temeller İngilizce literatürde “mat foundation” ve “raft foundation” olarak isimlendirilmektedir. Birinci tür yüzeye oturan, ikinci tür belli bir gömme derinliğine sahip yayılı temeli ifade etmektedir (Budhu, 2007). Taşıma gücü veya oturma problemlerinin olduğu durumlarda bina yükünün bir kısmının karşılanması amacıyla yayılı temelin gömme derinliği ayarlanabilmektedir.

Yayılı temel, son yıllarda hazır beton sektöründeki gelişmeler ile kütle betonunun ucuz ve kolayca sağlanabilmesi, diğer temel türlerine göre donatı miktarlarındaki maliyet farklarının çok büyük olmaması, ve su yalıtımının kolay bir şekilde yapılabilmesi nedeniyle özellikle deprem bölgelerinde en çok kullanılan temel tipi olarak görülmektedir (Önalp ve Sert, 2010).

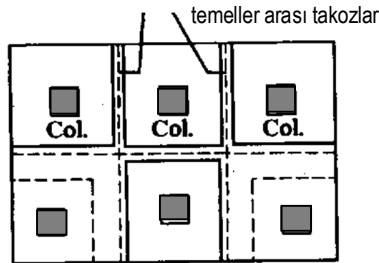
Bir temelin yayılı olarak tanımlanabilmesi için aynı eksende üçten fazla kolon yükü taşınması ve bu eksenlerin de iki veya daha fazla olması gerekir.

2.1. Yayılı Temelin Uygulama Koşulları

Yayılı temel kullanımı geleneksel olarak bazı koşullara bağlanmıştır (Önalp ve Sert, 2010). Bunlar;

- 1) Zemin özelliklerinin bina yüklerini tekil veya birleşik/sürekli temellerle taşıyamayacak kadar kötü olması,
- 2) Yapı yüklerinin fazla olması sebebiyle tekil veya birleşik/sürekli temellerin boyutlarının aşırı artması,
- 3) Alandaki zeminin değişken özelliklerine bağlı olarak binanın ayırık temel yükleri altında farklı oturma gösterme olasılığı,
- 4) Bina yüklerinin değişken ve belirsiz olması,
- 5) Yanal yüklerin değişkenliği,
- 6) Y.A.S.S.'nden kaynaklanan kaldırma kuvvetlerinin büyüklüğü,
- 7) Su yalıtma gereksinimleri,

olarak özetlenebilir. Genel kural olarak, bir binada yayılı temelin kullanılabilmesi için hesaplanmış ayırık temeller toplam alanının, bina oturma alanının en az yarısından fazla olması gerekir (Budhu, 2007). Bowles (1988), maliyetleri düşük tutma amacıyla, gerekli temel alanı bina kalıbının %50'sinden daha fazla olsa da tekil temel kullanımının tercih edilmesini, temellerin Şekil 2.1'de gösterilen biçimde teğet yapılmasını ve araya sürtünmeyi azaltan ahşap veya polistiren tabakalar yerleştirilmesini önermiştir. Bunun nedeni, plakta hem alt hem de üstte kullanılması gereken ağır donatıdan kaçınılmasıdır.

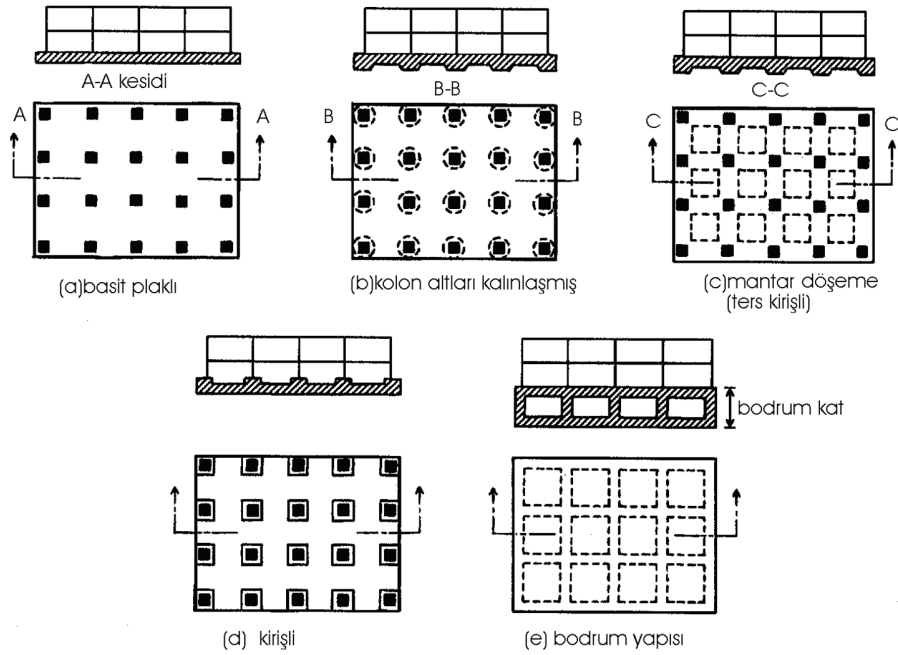


Şekil 2.1. Yayılı temelin işlevinin teğet tekil temellerle karşılanması

Binadan gelen yüklerin tekil ve ayrıık temellerle zemine aktarılması yerine yayılı temellerle aktarılması yapı - zemin etkileşimini tümüyle değiştirir. Yayılı temel altında taban basınçları düşer, yüzdürme (telafi) etkisi sağlanır, rijitliği ve üst yapıya etkisi zeminde olası boşluklarda köprüleme görevi yapar, izin verilen toplam oturmalar (Δ) tekil temele göre daha yüksektir, ancak plak farklı oturmalara daha duyarlı hale gelir.

2.2. Yayılı Temel Türleri

Yayılı temellerde aldıkları yüklerle, buldukları zemin koşullarına ve kullanım amaçlarına göre farklı tiplerde uygulanabilmektedirler. Şekil 2.2 kullanılan farklı yayılı temel tiplerini göstermektedir.



Şekil 2.2. Yayılı temel tipleri (Bowles, 1988)

Düz plaklı yayılı temel yapım kolaylığı ve bodrumda tam düz bir alan sağlaması nedeniyle tercih edilir. Diğer tiplerden daha kalın çıkmasına karşın sonuçta en

ekonomik tip olarak belirlemektedir (Şekil 2.2.a). Fransa'da bir nükleer reaktörün 3.8 metre kalınlığındaki düz plaklı yayılı temeli (29 x 36 m) bu tipe örnek olarak gösterilebilir (L'Herminier vd., 1957). Riyad'daki 40 katlı Al Faisaliah binasının temelleri farklı kalınlıktaki düz plaklı yayılı temellerden oluşmaktadır. Yükün çoğunu oluşturan merkez kulenin altında yayılı temel kalınlığı 4 metre iken yükün azaldığı kenar kısımlarda temel kalınlığı 3 metre olarak inşa edilmiştir (Morrison, 2000).

Kolon yüklerinin aşırı artması altlarında yüksek kesme kuvvetleri oluşturur. Bu etki düz plaklarda zımbalamayı önlemek için kalınlıkların kabul edilemez düzeye çıkması sonucuna yönelttiğinden sadece kolon altlarına gelen bölgeleri kalınlaştırma yolu seçilebilir (Şekil 2.2.b).

Daha ekonomik çözüm düz ve ters kirişli (omurgalı) plaklarla sağlanabilir (Şekil 2.2c ve d). Plak kalınlığı kolonlar arasına sistematik olarak yerleştirilmiş kirişlerin sağladığı rijitlik nedeniyle büyük ölçüde azalır.

Bina yüksekliği ve ağırlığı arttıkça yukarıda belirtilen yayılı temel tipleri taşıma gücü ve oturmalar açısından yetersiz kalabilmekte, bu durumlarda yayılı temel yeterince derine indirilerek yani bodrumlu yapılarak kazılan toprak derinliği eşdeğeri bir gerilme temel taşıma gücüne ilave edilebilmektedir.

Temel sisteminin bodrumlu seçilmesi de bazen taşıma gücü ve oturma kriterlerini sağlayamamaktadır. Bu durumlarda geleneksel kazıklı temellere geçmeden az sayıda kazığın yayılı temelin altına stratejik olarak yerleştirilmesiyle oluşturulan kazıklı yayılı temellerin kullanılması ekonomik olabilmektedir (Sert, 2003).

2.3. Yayılı Temellerin Tasarımı

Yayılı temel tasarımında dikkat edilecek hususlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- 1) Yüklerin belirlenmesi,
- 2) Yayılı temel tipinin seçimi (yükler çok ağırsa bodrumlu yayılı temel veya kazıklı bodrumlu yayılı temel seçilebilir),
- 3) Binada artı titreşim ve deplasmanlara yol açabilecek makine varlığının ve binanın oturmalarına karşı hassasiyetinin belirlenmesi,
- 4) Bodrumlu yayılı temel yapılacaksa kazının duraylılığının sağlanması,
- 5) Yayılı temelin yapısal analizi (gerilme dağılımının, kesme kuvvetlerinin ve eğilme momentlerinin belirlenmesi).

2.4. Yayılı Temellerin Taşıma Gücü

Yayılı temeller hem taşıma gücü (ULS) hem de hizmet görülebilirlik durumu (SLS) kriterlerini karşılamalıdır.

Yayılı temellerin alanının büyük olması ve kullanılan güvenlik sayıları taşıma gücünün aşılması olasılığını düşürmektedir.

c - ϕ zeminde taşıma gücünün hesaplanması için Terzaghi, Brich-Hansen, Meyerhof ve Vesic yaklaşımlarından herhangi biri kullanılabilir (Önalp ve Sert, 2010). Örneğin, son taşıma gücü Vesic ile,

$$q_d = c'N_c(s_c d_c i_c b_c g_c) + \rho' D_f N_q(s_q d_q i_q b_q g_q) + 0.5\rho' B N_\gamma(s_\gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma) \quad (2.1)$$

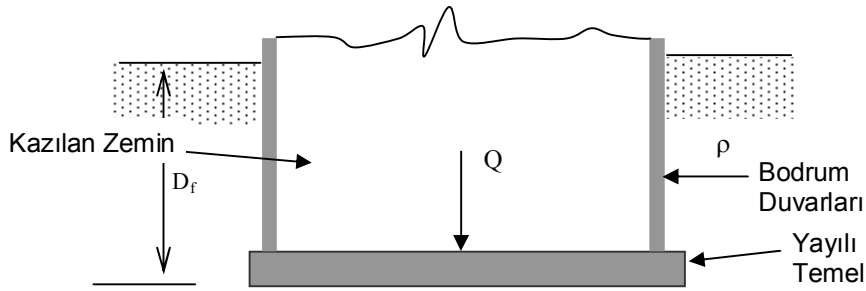
Buradan, net son taşıma gücü

$$q_{d_{net}} = q_d - \rho D_f \quad (2.2)$$

global güvenlik sayısı kullanarak güvenli taşıma gücü ise

$$q_{all(net)} = \sigma_{emnet} = \frac{q_{d(net)}}{GS} = \frac{q_d - q}{GS} \quad (2.3)$$

şeklinde hesaplanır.



Şekil 2.3. Yayılı temelde yükler

Geleneksel yaklaşımda taşıma gücü açısından her durumda zeminin net güvenli taşıma gücünün ($\sigma_{em(net)}$) zemine gelecek net basınçtan (q_{net}) büyük olması istenmekte, güvenlik sayısı genel olarak 3 alınmaktadır.

Kumda yayılı temel kullanımı günümüzde olağanüstü koşullarda gündeme gelmektedir. Bunun nedeni kayma direnci açısı 30° 'nin üstünde olan ortamda genişliği 10 m'den büyük bir temelin taşıma gücünün çok yüksek düzeyde çıkacağı, bunun altındaki ϕ değerleri için ise özellikle deprem bölgelerinde olası zemin yenilmesine karşı iyileştirme zorunluluğu belirmesidir. Kumlu zeminlerde yayılı temel uygulaması bir "istisna" olarak algılanmalıdır.

Kumda sorunlar taşıma gücünden değil, oturmalarından kaynaklanmaktadır. Ortalama standart penetrasyon direncini kullanarak yüzeydeki temel için izin verilen maksimum oturma 50 mm alınması durumunda

$$\sigma_{em(net)} = 23.96N^* \quad (2.4)$$

şeklinde hesaplanabilir (Meyerhof, 1956).

Yayıllı temelerde taşıma gücü problemi yumuşak killerde çıkabilmektedir.

NL killerde GS: 3 alınarak güvenli taşıma gücü

$$\sigma_{em(net)} = 1.713c_u \left(1 + \frac{0.195B}{L} \right) \left(1 + 0.4 \frac{D_f}{B} \right) \quad (2.5)$$

ile hesaplanabilir.

2.5. Yayıllı Temelerde Oturmalar

Yayıllı temeler taşıma gücü problemi yanında oturma problemleriyle de karşılaşılan zeminlerde kullanılırlar. Yayıllı temel kullanımı ile ani oturma ve konsolidasyon oturması değerlerinin kabul edilebilir sınırlara çekilmesi mümkün olmaktadır. Yayıllı temelerde oturmalar şu şekilde kontrol edilir (Önalp ve Sert, 2010):

- 1) Temel alanı büyüdüğü için taban basınçları azalmaktadır.
- 2) Kazı yapıldığında yüzdürme etkisi ile temel tabanında zemine etki eden net gerilme düşmektedir.
- 3) Yayıllı temelin kendi rijitliği ve üst yapının rijitliği köprüleme etkisi ile özellikle farklı oturmaları azaltmaktadır.

- 4) Azalan farklı oturmalar, yayılı temelde daha fazla toplam oturmaya (örneğin 25 mm yerine 50 - 100 mm) izin verilebilmesini sağlamaktadır.

Yayılı temelde oturma analizi temel tabanına etki eden net gerilmenin doğal durumdaki efektif gerilmeyi (σ'_0) aştığı durumda yapılmalıdır. Buradan hareketle bir veya iki bodrumlu yayılı temele sahip az katlı binalarda oturma probleminin olmayacağı söylenebilir.

Farklı oturmalar, toplam oturmalara oranla çok daha fazla yapısal hasara sebep olabilmektedir. Yayılı temelin rijitliği arttıkça farklı oturmalar azalmaktadır. Esnek yayılı temelde farklı oturmalar temelin şekline bağlı olarak toplam oturmanın %35'i (kare tabanlı) ile %50'si (dikdörtgen tabanlı) arasında gerçekleşebilir.

2.6. Yayılı Temel Analiz Yöntemleri

Yayılı temeller günümüzde özellikle deprem bölgelerinde giderek artan rağbet görmektedir. Bunda yayılı temellerin yapımının ekonomik hale gelmesi önemli etki yapmıştır. Ancak, bu temellerin boyutlandırma ve analizinin henüz tatmin edici düzeyde yapılamadığı görülmektedir (Önalp ve Sert, 2010).

Yayılı temellerin analizinde birçok kabul yapılmaktadır. Soru, eğilme momenti ve kesme kuvvetlerinin belirlenirken esas alınacak yayılı temel tabanında taban basınçlarının nasıl dağıldığıdır. Literatürde en çok kullanılan kabuller aşağıdaki gibidir (Budhu, 2007):

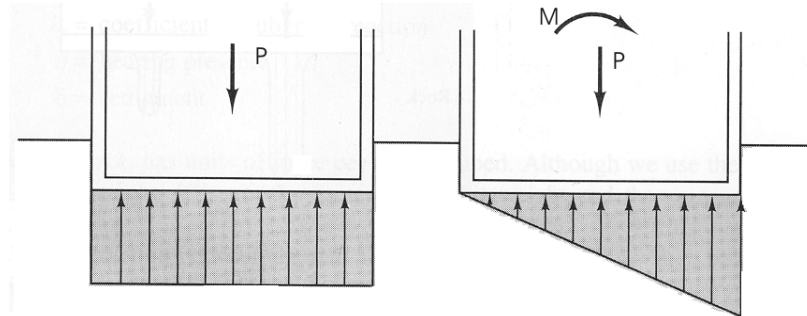
1. Üniform taban basıncı,
2. Sabit yatak katsayısı,
3. Değişken yatak katsayısı,

4. Zeminin elastik ya da elastoplastik malzeme olarak kabul edilmesi,
- Basit analiz - Doğrusal taban basıncı,
 - Yaylar üstünde yayılı temel – sabit veya değişken yatak katsayısına sahip Winkler yayları,
 - Sürekli ortam üzerinde yayılı temel – zemin elastik veya elastoplastik.

Özetle hesaplama betonarme plağı rijit ve rijit olmayan özellikte kabul ederek iki farklı şekilde yaklaşmak söz konusudur. Rijit yöntemler olarak adlandırılan yöntemler 1980'lere değin yaygın olarak kullanılmış, bilgisayarlar ve bunların dayandığı sayısal analizin gelişimi ile de günümüzde rijit olmayan yöntemlerle çözüm ön plana çıkmıştır.

2.6.1. Temel plağını rijit kabul eden yöntemler

Bu yöntemde temel, üzerinde oturduğu zemine oranla sonsuz rijitlikte kabul edildiğinden betonarme plağın şekil değiştirmelerinin taban basınçlarında önemsenecek değişimler oluşturmayacağı sonucu çıkmaktadır. Buna bağlı olarak taban basıncı dağılımının sadece yapı yükleri ve temelin ağırlığına bağlı olduğu, ve bu dağılımın kuvvetler bileşkesinin etkime yerine göre üniform ya da lineer değişkene dönüşmesi söz konusudur (Şekil 2.4) (Coduto, 2001).



Şekil 2.4. Rijit temel yaklaşımında olası taban basıncı dağılımları

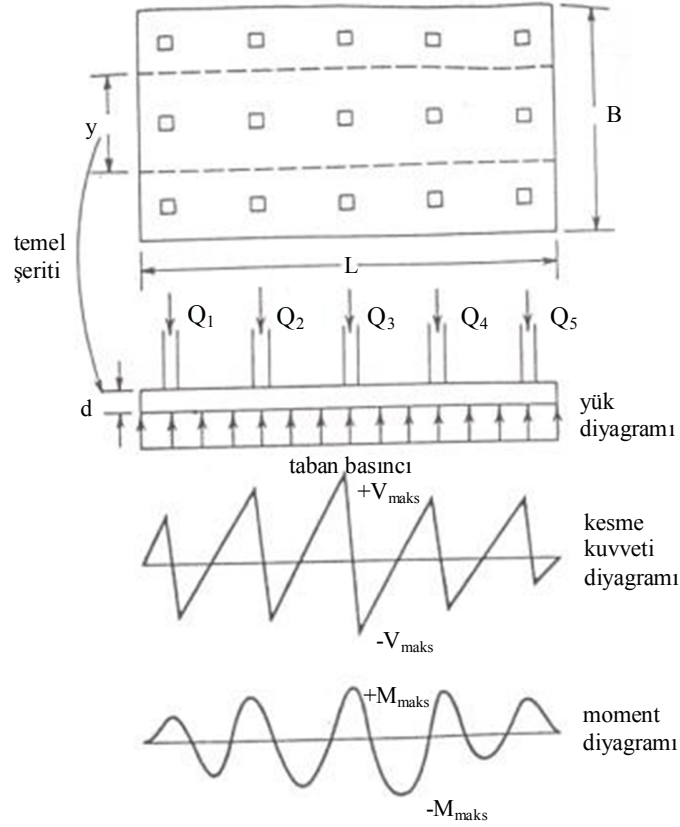
Bu yöntemde temelin herhangi bir noktasındaki taban basıncı

$$q = \frac{Q}{A} \pm \frac{M_y \cdot x}{I_y} \pm \frac{M_x \cdot y}{I_x} \quad (2.6)$$

ile bulunur ve kazı ağırlığı da bu gerilmeden düşülerek net taban basıncı elde edilir. Bu değer her noktada temelin net izin verilebilir taşıma gücü ($\sigma_{em(net)}$) değerinden küçükse yapısal çözüme geçilir. Bu formülde Q: temele etkiyen yüklerin toplamı, A: temel alanı, x, y: taban basıncı hesaplanacak noktanın x ve y eksenlerine uzaklığı, I_x , I_y : temelin x ve y eksenlerine göre eylemsizlik momenti, e_x , e_y : yüklerin bileşkesinin temel merkezinden kaçıklığı olmaktadır.

Konuyu böylece basitleştiren statikçiler temeli iki yönde birbirinden bağımsız olarak çalışan kiriş gibi çözmüşlerdir. Bu tür bir bakış, temelin altında gerçek taban basıncı dağılımını gözardı ettiğinden hesaplanan moment, kesme ve çökme değerleri hatalı çıkmaktadır. Ancak, bu yaklaşım elle hesaplamaya olanak sağladığından yakın zamana kadar kullanılmıştır (Önalp ve Sert, 2010).

Şekil 2.5'te yayılı temellerin geleneksel tasarımı görülmektedir (Koerner, 1985).



Şekil 2.5. Yayılı temellerin geleneksel tasarımı

2.6.2. Temel plağını rijit kabul etmeyen yöntemler

Yayılı temeli tam rijit olarak kabul etmeyen yaklaşımlar, taban basıncı dağılımlarını ve bunların temelin şekil değiştirmelerine etkilerini gözönüne alırlar. Ancak rijit yöntemle oranla bu yaklaşım daha gerçekçi sonuç vermesine karşın, çözümde ciddi problemlerle karşılaşılabilir. Çünkü temel-zemin etkileşimini kestirmek görüldüğü kadar kolay değildir.

Bu konuda ilk girişimlerden biri Terzaghi tarafından yapılmıştır. Winkler hipotezinden yola çıkılarak zemin birbirinden bağımsız elastik yaylarla modellenmiş, böylece temel altındaki taban basıncı ile oturmalar arasında bir bağıntı sağlanmağa

çalışılmıştır. Daha sonraları bağımsız yay modelinin önemli sakıncaları farkedildiğinden bu yayların birbiri ile bağlantısı modele katılarak çözüme gidilmiştir.

2.6.2.1. Winkler hipotezine dayalı yöntem

Zemin ortamının temel altında tek boyutta sıkışabilen elastik yaylarla temsil edilmesi, taban basıncı ile yay sıkışması arasında yatak katsayısı olarak tariflenen değişmez bir bağıntı olduğu şeklinde kabul edilmiştir.

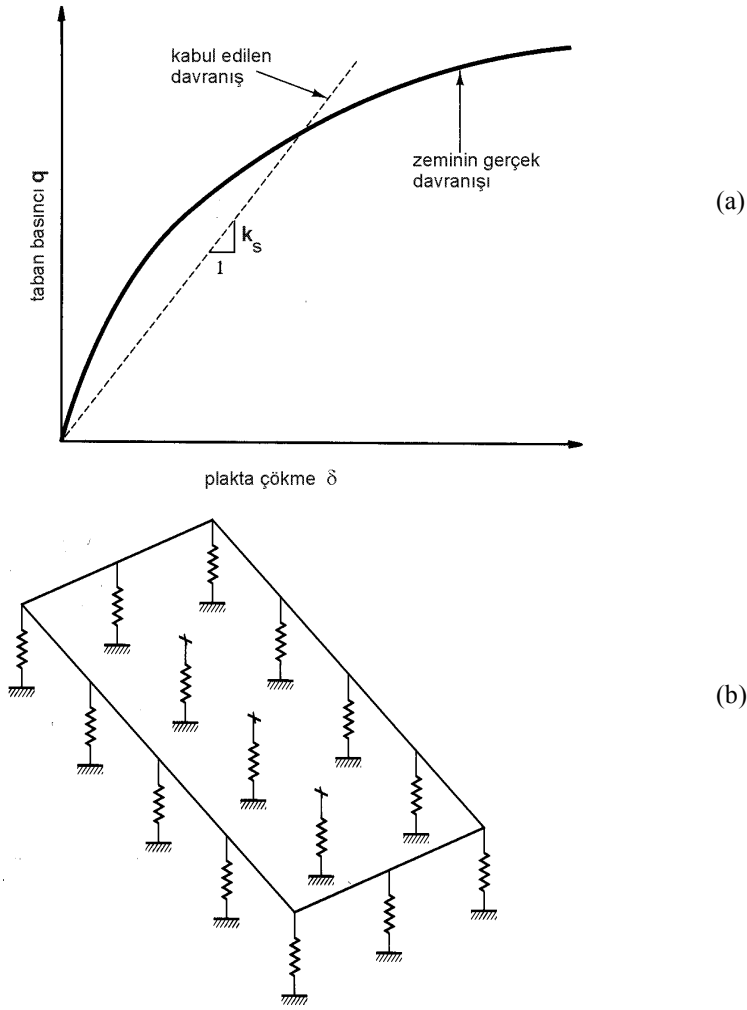
$$k_s = \frac{q}{\delta} \quad (2.7)$$

Birim hacim ağırlık boyutlarını taşıyan (kN/m^3) yatak katsayısı zeminin gerçek gerilme-birim boy değiştirme özelliklerini tümüyle gözardı etmekte (Şekil 2.6a) ve temelin bir seri yay üzerinde doğrusal $\sigma - \varepsilon$ özelliği gösterdiğini kabul etmektedir (Şekil 2.6b).

Bu problem;

$$Q + M_b - U = \int \delta k_s dA \quad (2.8)$$

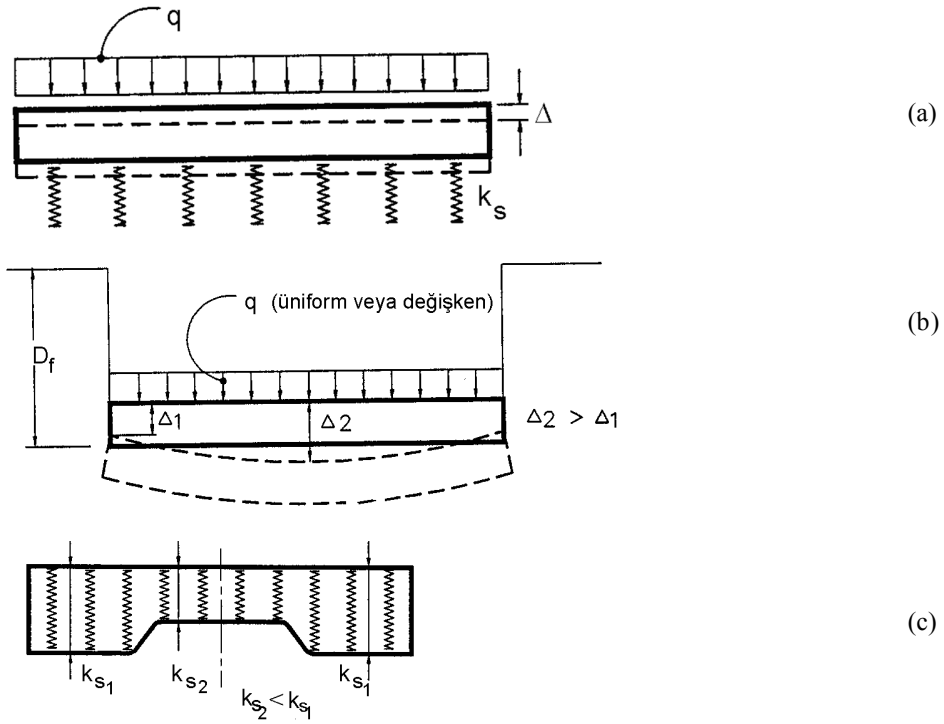
bağıntısı ile çözülmektedir. Burada Q üst yapıdan gelen yükleri, M_b temelin kütlesini, A temel taban alanını, U yeraltı su seviyesinden tabana gelen kaldırma kuvvetini, δ ise incelenen noktada temelin çökmesini göstermektedir.



Şekil 2.6. Winkler zemin-temel etkileşim modeli
 a. Kabul edilen σ - ϵ doğrusu
 b. Yaylı yatak

Küçük boyutlardaki temelerde doğrusal k_s değeri kullanımı aşırı hatalar getirmeyebilir de, boyutlar büyüdükçe hataların kabul edilemez düzeylere çıkacağı uygulamada görülmüştür. Bu hataların giderilmesi için yatak katsayısının temel boyunca değişkenliğini peşinen kabul etmek gerekmektedir.

Şekil 2.7’de tek k_s değerinden değişken değerlere geçiş ve bunun gerekçesi gösterilmektedir.

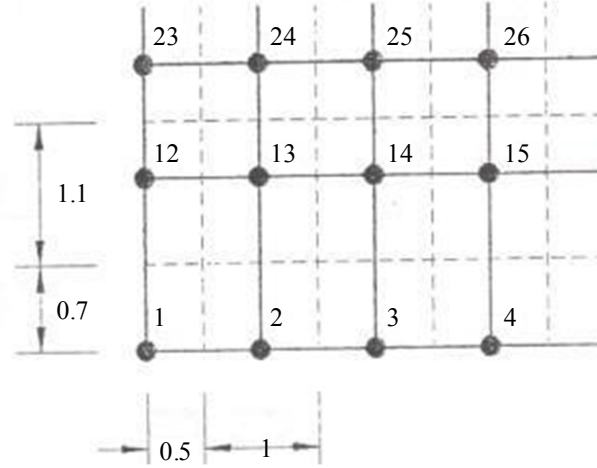


Şekil 2.7. Yay katsayılarının değişimi

- Tek yay
- Temelde çanaklanma
- Değişken k_s

Günümüzde üstyapıcıların kullandığı SAP2000, STA4CAD, vb. gibi yazılımlarda yay katsayılarını bulabilmek için yatak katsayısından yararlanılmaktadır. Buna göre elastik zemine oturan plaklar, düğüm noktalarına düşey doğrultuda yerleştirilecek yaylar (spring) ile temsil edilmektedir. Yay katsayısı, düğüm noktasındaki “etkili alan” ile “zemin yatak katsayısı” çarpılarak bulunur. Her düğüm noktasındaki etkili alan, o düğüm noktasına komşu olan sonlu elemanların alanlarının $\frac{1}{4}$ ’lerinin toplamıdır.

Şekil 2.8’de gösterilen 4 farklı konumdaki düğüm noktaları için bu yazılımlarda kullanılan yay katsayılarının örnek hesabı aşağıdaki tabloda gösterilmektedir (Özmen vd., 2009).



Şekil 2.8. Yay katsayıları hesabı için örnek sonlu eleman ağı

Tablo 2.1. Yay katsayılarının örnek hesabı

Düğüm No	Boyut (m)		Etkili Alan (m ²)	Yatak Katsayısı (kN/m ³)	Yay Katsayısı (kN/m)
	a	b			
1	0,5	0,7	0,35	20000	7000
2	1	0,7	0,7	20000	14000
12	0,5	1,1	0,55	20000	11000
13	1	1,1	1,1	20000	22000

2.6.3. Sayısal analiz

Çamlıbel (2000), zemin ve üstü yapının tüm özelliklerini göz önüne alarak bir yayılı temelin tam bir çözümünün genellikle olanaksız olduğunu ve çözümlerde yaklaşık yöntemler kullanıldığını belirtmiştir. Ancak bilgisayar teknolojisinde ve buna bağlı olarak sayısal analiz yöntemlerindeki gelişmeler, geoteknik mühendisliğinde yapı - zemin etkileşiminin etkin olduğu temel problemlerinde sayısal analiz yöntemlerinin

kullanımını gündeme taşımıştır. Rijit yöntemle veya basitleştirilmiş yöntemlerle çözümde dikkate alınmayan zemin - temel etkileşimi, zemin - temel ve üst yapıyı bir arada modelleyebilen ve günümüzde çoğunlukla sonlu eleman ve sonlu farklar yöntemlerine dayanan sayısal analiz yazılımlarıyla yeterli doğrulukta gözönüne alınabilmektedir.

Sayısal analizde problem üç boyutlu modellenebilmekte, çökme ve şekil değiştirmeler yanında komşu yapıların durumu veya etkisi de aynı anda incelenebilmektedir.

Günümüzde en sık kullanılan sayısal analiz yöntemlerinden sonlu eleman yönteminde temel yaklaşım, karmaşık bir problemi basitleştirerek çözüme ulaşmaktır. Geleneksel yöntemlerle yapılan çözümlerde zemin, temel ve üst yapının birlikte değerlendirilmesi imkansız olduğundan bu tip karışık geoteknik problemlerinde sonlu eleman yöntemi gibi sayısal analiz yöntemlerinin kullanılması tek seçenek olmaktadır.

Güncel yazılımlarda geometrik olarak son derece karmaşık modeller hazırlanabilse de en büyük sorunun zemin özelliklerinin doğru bir biçimde temsil edilememesi olduğu unutulmamalıdır. Bu nedenle, modelin gerçek zemini yansıtacak biçimde oluşturulabilmesi için zemin incelemelerinin yeterli sayı ve derinlikte yapılması gerekir.

2.6.3.1. Sonlu farklar yöntemi

En eski ve yaygın sayısal hesap yöntemlerinden biri sonlu farklar yöntemidir. Sonlu farklar yönteminde ele alınan sistem bölgesi küçük kafes bölgelere ayrılmakla beraber, sistemin, ele alınan bölgede davranışını yeterli doğrulukta tespit edebilmek için çok sayıda bilinmeyen hesaplanmasına gerek duyar.

Sonlu farklar metodunda çözüm için plak ve kabuk teorisine göre dördüncü dereceden diferansiyel denklemler kullanılır.

Sonlu farklar metodunun avantajları

1. Kullanımına yaygın olarak devam edilmektedir.
2. Sonuçları güvenilirdir.
3. Girilen veriler diğer hesap metodlarına göre daha azdır ve rijitlik matrisi daha küçüktür.

Sonlu farklar metodunun dezavantajları

1. Kolon sabitliği ile ilgili sınır şartlarını oluşturmak oldukça zordur.
2. Temelde boşluk, köşelerde kertik vs. var ise bunları modellemek zordur.
3. Sonlu farklar metodu birim genişliğine düşen momentleri kullandığı için momentleri uygulamak zordur.

2.6.3.2. Sonlu elemanlar yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi, günümüzde birçok mühendislik dalında olduğu gibi geoteknikte de yaygın olarak kullanılan ileri bir sayısal analiz yöntemidir.

Bu metodta cismin "sonlu" boyutta çok sayıda "eleman" a ayrıldığı kabul edilir. Metodun adı da buradan gelmektedir. Cisim uzayda $n=1, 2, 3, \dots$ boyuta sahipse, n boyutlu sonlu elemanlar sistemine ayrılır. Bir boyutlu cisimler düğümlerle, iki boyutlu cisimler çizgilerle, üç boyutlu cisimler düzlemlerle sonlu elemanlara ayrılacaktır. Bir boyutlu cisimlerde sonlu elemanlar farklı uzunlukta olabilirler. Ancak iki veya üç boyutta elemanlar eşit olmayan boyutlarda olabileceği gibi farklı şekillerde de olabilirler. Bununla birlikte bütün durumlarda cismi temsil eden sonlu elemanlar düğümlerle bağlanacaktır (Nath, 1995).

Sonuçta cisim sonlu elemanlar ve onları birbirine bağlayan düğümlerden oluşan bir sistemle yer değiştirmiş olacaktır. Düğümleri komşu sonlu elemanları uçlarından birbirine bağlayan ve onları birarada tutan "somun - civata" bağlantısı gibi

düşünebiliriz. Öyle ki düğümler kaldırıldığında elemanlar birbirinden ayrılırlar ve komşu sonlu elemanlar arasında fiziksel süreklilik kalmaz.

Metodun çözümlenmesinde bundan sonraki adım, cismi temsil eden elemanların her birinin "eleman rijitlik matrisi" ni tanımlamaktır. Daha sonra eleman rijitlik matrisleri parçalara ayrılmış cismin tamamına ait rijitlik matrisini oluşturmak üzere toplanır.

Bu toplamada, cismin sonlu eleman modelindeki bütün düğümlerde kuvvetlerin dengesi ve yer değiştirmelerin sürekliliği sağlanır. Buradan şu matris denklemine ulaşılır.

$$[K]*\{\delta\}=\{P\} \quad (2.9)$$

[K] cisminin rijitlik matrisini tanımlar. Tümel kuvvet vektörü {P} bütün düğümlere uygulanan dış kuvvetleri, {δ} ise bütün düğümlerin yer değiştirmelerini göstermektedir. [K] nitelik bakımından parçalara ayrılmış cisimde birim yer değiştirme oluşturacak kuvveti ifade eder. Burada cismin sonlu eleman modelini bir yaya eşdeğer olarak düşünürsek cismin rijitliğinin [K] yay sabitine karşılık olacağı açıktır. Cisme etkiyen belirli dış kuvvetler ve belirli sınır şartları takımı için çözüm olarak düğüm yer değiştirmeleri {δ} bulunur. Yer değiştirmelerinden de gerilmeler ve zorlanmalar hesaplanabilir.

Verilen bir problemin sonlu elemanlar metodu ile çözümü için sırasıyla aşağıdaki işlemler uygulanmalıdır.

1. Cismi bir sonlu elemanlar sistemi halinde "parçalama",
2. Cismi temsil eden elemanların her birinin rijitlik matrisi ve diğer özelliklerinin çıkarılması,
3. Rijitlik matrisi [K] ve tümel kuvvet vektörü {P} toplama işlemi,
4. Yer değiştirmeleri {δ} tayin etmek için belirlenmiş sınır şartlarıyla $[K]*\{\delta\}=\{P\}$ denkleminin çözülmesi,

5. Hesaplanan düğüm yer değiştirmelerinden $\{\delta\}$ elemanların zorlanmalarının ve gerilmelerinin hesaplanması.

Uygulamada bilimsel ve mühendislik problemlerinde genellikle büyük $[K]$ matrisleri doğar. Bu yüzden çözüm için bilgisayar kullanımı kaçınılmaz hale gelir.

Sonlu elemanlar yönteminin avantajları

1. Sonlu elemanlar, boyutları ve şekillerinin esnekliği nedeniyle, verilen bir cismi temsil edebilir, hatta karmaşık şekilli bir cisimde daha güvenilir olabilir.
2. Çok bağlantılı bölgeler veya köşeleri olan bölgeler zorluk çekilmeksizin incelenebilir.
3. Değişik malzeme veya geometrik özellikleri bulunan problemler ek bir zorluk göstermez. Geometri ve malzeme non-lineeriteleri, kalıtsal olsa bile malzeme özellikleri, kolaylıkla göz önüne alınabilir.
4. Sebep - sonuç bağıntılarına ait problemler tümel rijitlik matrisi ile birbirine bağlanan genelleştirilmiş "kuvvetler" ve " yer değiştirmeler" cinsinden formüle edilebilir. Sonlu eleman metodunun bu özelliği problemin anlaşılmasını ve çözülmesini hem mümkün kılar hem de basitleştirir.
5. Sınır şartları kolayca uygulanır.
6. Sonlu elemanlar metodunun çok yönlülük ve esnekliği karmaşık yapılarda, sürekli ortam, alan ve diğer problemlerde sebep - sonuç ilişkilerini hesaplamak için çok etkin bir şekilde kullanılabilir. Analitik ve deneysel metotlardan daha hassas sonuç verir.

BÖLÜM 3. YAZILIMLAR ve MİDAS GTS

3.1. Yayılı Temel Analizi için Yazılımlar

Bilgisayarların ve yazılımların insan yaşamında giderek artan rol alması ile geçmiş yıllarda elle hesaplamalarla çözümlenemeyen yayılı temel problemleri bu gelişme sayesinde günümüzde çözümlenebilir hale gelmiştir. Zemin yüzeyinde oturan büyük boyutlu betonarme bir plağın onunla etkileşimi oldukça karmaşık bir problemdir. Plağın elastik varsayılması önemli bir sorun oluşturmazken onun değişken özellikli ve elastik olmayan zeminle etkileşmesi gerçekçi zemin modellerini içeren yazılımların kullanılmasını gerektirmektedir. Sert (1996), çalışmasında LUSAS yazılımı ile bir plak yayılı temelin analizini yapmış ve sonuçları geleneksel yöntemle yapılan çözümle karşılaştırmıştır. Önalp ve Sert (2010), Elpla, spMats, Safe, Mat3D, Afes, Adapt-Mat, Staad.foundation yazılımlarını günümüzde yayılı temellerin analizi için kullanılan yazılımlara örnek olarak vermişlerdir.

ELPLA, sonlu eleman yöntemini kullanarak yayılı temellerin analizini yapabilen yazılımlardan biri olmakla birlikte kafes kiriş ve döşeme sistemleri vb. gibi farklı problemlerin analizinde de kullanılabilir. Windows ortamında çalışan programda temeller esnek veya rijit olarak tanımlanabilmekte, dış yüklerin, komşu yapı temellerinin ve temel içindeki sıcaklık farklarının etkisi dikkate alınabilmektedir.

Windows ortamında çalışan spMats yayılı temellerin analizi yanında birleşik temellerin ve döşemelerin de analizini yapabilmektedir. Sonlu eleman yöntemini kullanan yazılımda zemin özellikleri yatak katsayısı ile tanımlanmaktadır. Sonlu eleman ağı, herbirinin malzeme özelliği diğerinden farklı olabilen dört düğümlü ince prizmatik elemanlardan oluşturulmaktadır. Boşluklu ve kertikler içeren temeller modellenabilmektedir.

SAFE, yayılı temeller ve ayrıık temellerin statik koşullarda tasarımına yönelik olarak geliştirilen bir sonlu eleman yazılımıdır. Yazılımda, değişken kalınlıklı ve her tür biçim alabilen, boşluk ve kertik içeren temeller kolaylıkla modellenenilmektedir. Zemin yatak katsayısı ile modellenmekte, her bir temel elemanına farklı yatak katsayısı atanabilmektedir. Sonlu eleman ağında eleman boyutları değişirse herbir düğüm noktasına atanan katsayılar otomatik olarak hesaplanmaktadır. Otomatik şablonlar kullanılarak modelin geometrisi çok kısa sürede oluşturulabilmekte, tekil, çizgi ve yayılı yükler, x ve y yönünde momentler grafik olarak girilebilmektedir. Yükleme sayısı ve kombinasyonları için bir sınırlama yoktur.

MAT3D, yayılı temellerin analizine yönelik olarak Windows ortamında çalışan bir diğer yazılımdır. Farklı şekil ve boyutlarda ve asimetrik olarak yerleştirilmiş kolon yükleri altında zemine veya kazıklar üzerine oturan temellerde sınırsız sayıda yük durumu ve kombinasyonları incelenebilmektedir. Çözümde zeminin batıklık durumu hesaplara katılabilmekte, dikdörtgen ve kare şekilli temellerin analizi yapılabilmektedir. Donatıların yerleşiminden toplam maliyetlere kadar ayrıntılı sonuçlar sunabilen bu yazılım donatı çizimleri için Autocad benzeri programlarla girişimli olarak da çalışabilmektedir.

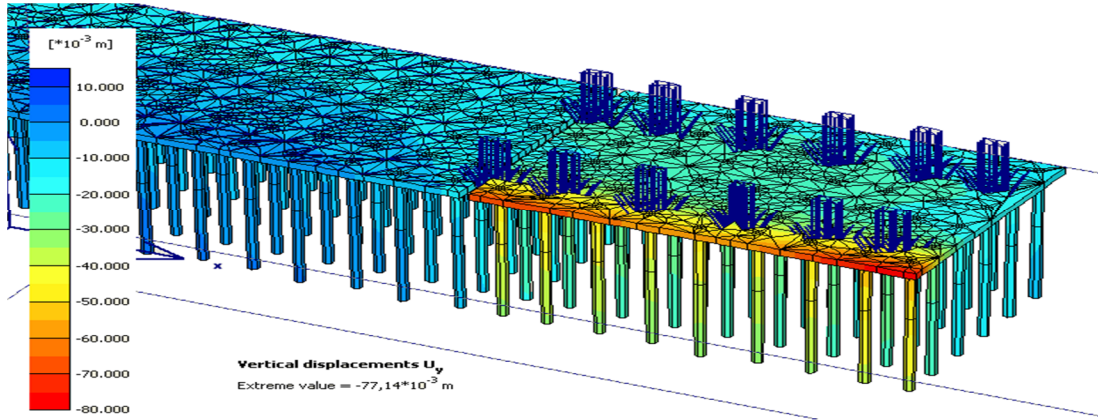
AFES, çok farklı tipte temelin tasarımını geleneksel çözümler yanında sonlu eleman yöntemiyle de yapabilen bir yazılımdır. Aynı özellikteki elemanların kolayca gruplanabilmesi, kopyalanıp saklanabilmesi özelliği yanında hazır modeller sayesinde istenen temeller kısa sürede oluşturulabilmektedir. Tek projede birden fazla sayıda ve türde temel modellenenilmekte, rüzgar yükü ve sismik yükler modellerde içerelebilmektedir. Ayrıca zımbalama tahkiki, taşıma gücü yanında kayma ve devrilmeye göre de kontroller yapılabilmekte, donatı metrajı çıkartılabilmektedir.

ADAPT-MAT, kirişli ve kirişsiz yayılı temellerin analizini ve betonarme tasarımını yapabilen 3 boyutlu bir sonlu eleman yazılımıdır. Yazılımda yayılı temel modeli kullanıcı tarafından hazırlanabildiği gibi DWG veya DXF dosyası olarak hazırlanmiş modeller de kullanılabilir. Yazılımda kertik ve boşluklar içeren, kolon altlarında kalınlıkları fazlalaştırılmış düzgün şekilli olmayan temel modelleri de

hazırlanabilmekte ve her türlü düşey yük etkisi girilebilmektedir. Ayrıca yatay yük ve moment etkisinde yazılım temel zeminden temasının kesilmesini dikkate alabilmekte, hesaplama sonucunda donatının gerektiği yer ve donatı uzunlukları verilebilmektedir. Temel altında derinlik boyunca farklı zemin tabakaları tanımlanabilmektedir.

STAAD.foundation yayılı temeller yanında tekil, birleşik ve şerit temellerle kazıklı yayılı temellerin tasarımını esnek ve rijit yöntemlerle yapabilecek şekilde geliştirilmiş bir yazılımdır. Program bağımsız olarak kullanılabilirdiği gibi STAAD.PRO üst yapı yazılımıyla girişimli olarak da kullanılabilir. Yazılımda temel boyutları ve kalınlığı hesaplanabilmekte, eğilme, kesme ve zımbalama kontrolleri yapılarak temelin iki doğrultusu için üst ve alt donatılar belirlenebilmektedir. Hesaplama sırasında yükleme sonucu zeminle teması kesilen bölgeler dikkate alınabilmekte ve yükler buna göre yeniden dağıtılabilmektedir. Düzenli veya düzensiz şekilli, boşluk veya kertik içeren temeller sorunsuz modellenilebilmekte, temel kalınlığı istenen bölgelerde farklı değerlerde alınabilmektedir. Yükleme dairesel, bölgesel, çizgi ve tekil yük olarak yapılabilmekte, ayrıca kolon akslarının düzenli olması istenmemektedir. Yükler kullanıcı tarafından belirlenebildiği gibi istenirse şartnamelerden rüzgar ve sismik yükleri de içeren sınırsız sayıda yükleme koşulu tanımlanabilmektedir. Sonuçlar üç boyutlu grafiklerle sunulmakta, kullanıcı buna göre deplasman, taban basıncı ve donatı için yorumlar yapabilmektedir.

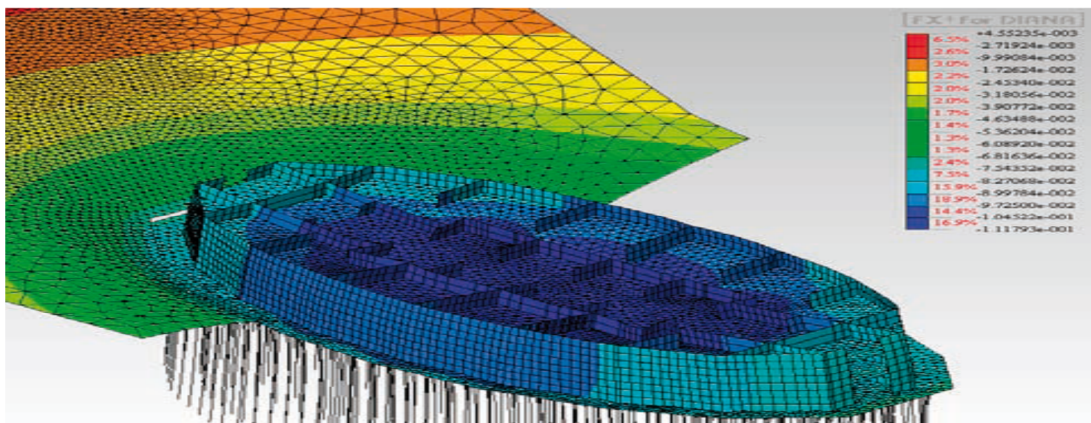
Son yıllarda Türkiye’de yaygın olarak kullanılan yazılımların en başında Plaxis gelmektedir. PLAXIS, değişik geoteknik problemler için, sonlu elemanlar yöntemiyle, deformasyon ve stabilite analizleri gerçekleştirebilen bir bilgisayar programıdır. İlk olarak 1987 yılında Hollanda Delft Teknik Üniversitesi tarafından yumuşak zemin üzerindeki nehir dolgularının sonlu elemanlar yöntemi ile kolay bir şekilde analiz edilebilmesi için tasarlanmıştır. Sonraki yıllarda ise, geoteknik mühendisliğinin diğer uygulama alanlarını da kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Şekil 3.1.’de Plaxis 3D Foundation ile modellenmiş bir kazıklı yayılı temelde yükleme sonrası oluşan deplasmanlar görülmektedir.



Şekil 3.1. Plaxis ile modellenmiş bir örnek

Program, geoteknik mühendisliği projelerinin tasarımında ihtiyaç duyulan, zemin - yapı etkileşimi, gerilme – şekil değiştirme, konsolidasyon, taşıma gücü, akım ağı, zemin dinamiği konularında ve malzeme farklılığı olan durumlarda kullanılabilir ve pratikte uygulanabilir sonuçlar vermektedir.

DIANA; beton, çelik, zemin, kaya ve zemin - yapı etkileşimi ile ilgili karmaşık problemlerde tasarım ve değerlendirme yapabilen bir sonlu eleman yazılımıdır. Program; gelişmiş veritabanı tekniklerine dayalı geniş malzeme, eleman ve prosedür kütüphaneleri, doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yetenekleri, 2D ve 3D modelleme özellikleri ve CAD araçlarıyla birlikte çalışabilirlik için güçlü işlevler içerir. Şekil 3.2.'de Diana yazılımı ile tasarlanmış bir modelde deplasman sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 3.2. TNO Diana ile modellenmiş bir örnek

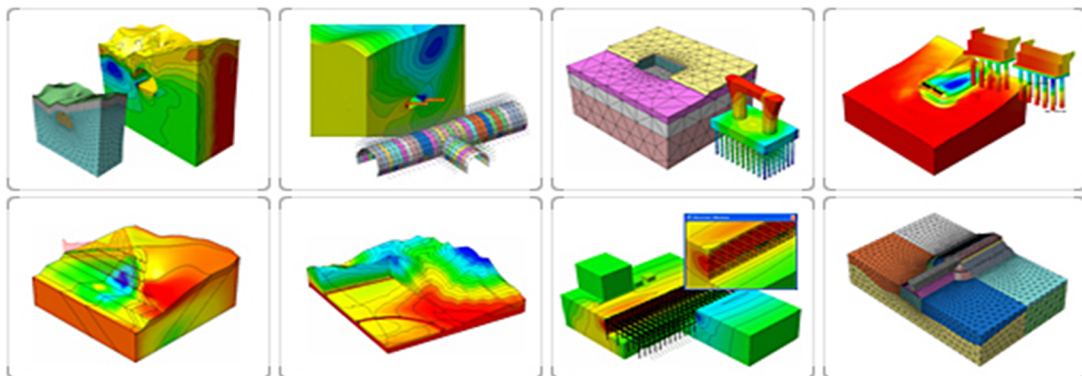
Diana dolgu, tüneller, kazı, maden ve barajlar gibi çeşitli uygulamalarda tamamen 3D olarak modelleme imkanı sunar. Buna ek olarak, gelişmiş analiz yetenekleriyle yer altı suyu akışı, konsolidasyon, deprem ve sıvılaşma gibi problemler için de kullanılabilir.

3.2. Midas GTS

Midas GTS, geoteknik mühendisliğinde modelleme ve grafik özellikleri açısından üstün özellikler sunan bir yazılımdır. Midas GTS yazılımı, karmaşık geometrik modelleri oluşturmayı aynı zamanda modelleme yeteneği ve güçlü analiz özellikleri ile hızlı analiz yapabilmeyi sağlamaktadır (MIDAS GTS Tutorial Manual, 2009; MIDAS GTS Analysis References Manual, 2009).

GTS yazılımında hemen hemen tüm geoteknik problemler modellenebilir. Yayılı ve kazıklı yayılı temeller, tüneller, yeraltı suyu akımı, derin kazılar, yamaç duraylılığı, yumuşak zemin üzerinde dolgular ve konsolidasyon, deprem, patlama ve titreşim analizi bunlara örnek olarak gösterilmektedir. Şekil 3.3'te Midas GTS ile yapılmış modellemelere örnekler verilmektedir.

Yazılımda öncelikle geometrik model, daha sonra sonlu eleman ağı oluşturulmaktadır. Bunu takiben analiz aşamaları oluşturulmakta ve hesap işlemine geçilmektedir. Son olarak ta sonuçlara bakılabilmektedir.



Şekil 3.3. Midas GTS örnek modellemeleri

Yazılımda geometrik modelin oluşturulması en önemli aşamalardan birisidir. Geometriye dayanarak, sonlu eleman ağı üretilmekte, sınır koşulları, yüklemeler ve analiz adımları oluşturulmaktadır. Geometrik model doğrudan GTS'in kendi modelleme fonksiyonlarını kullanarak oluşturulabildiği gibi Autocad vb. yazılımlar ile oluşturulan geometrik veriler de kullanılabilir.

GTS gelişmiş geometrik modelleme özellikleri sayesinde örneğin eğimli arazide değişken kalınlıklı zemin kesitinde kazıklı yayılı temel gibi karmaşık geometrileri oluşturabilmektedir.

Daha önceden hazırlanmış geometrik model üzerinde sonlu eleman ağı oluşturulmaktadır. Sonlu eleman ağı oluşturulurken altıyüzlü ve dörtgen elemanlar yanında karmaşık modellerde otomatik ağ üretimi ile dörtyüzlü ve üçgen elemanlar aynı anda üretilmektedir. Yazılımda otomatik ağ üretimi için üç farklı yöntem (Auto-Mesh, Mapped-Mesh ve Protrude-Mesh) kullanılmaktadır.

GTS; malzemeleri, çeşitli fiziksel özellikleri, yük tiplerini ve sınır koşullarını sadece düğüm noktaları ve elemanlara değil aynı zamanda doğrudan geometrik şekillere de atayabilmektedir. Yükleme ve sınır şartlarını görüntüleme yeteneği ile kullanıcı veri giriş hatalarını büyük oranda azaltmaktadır.

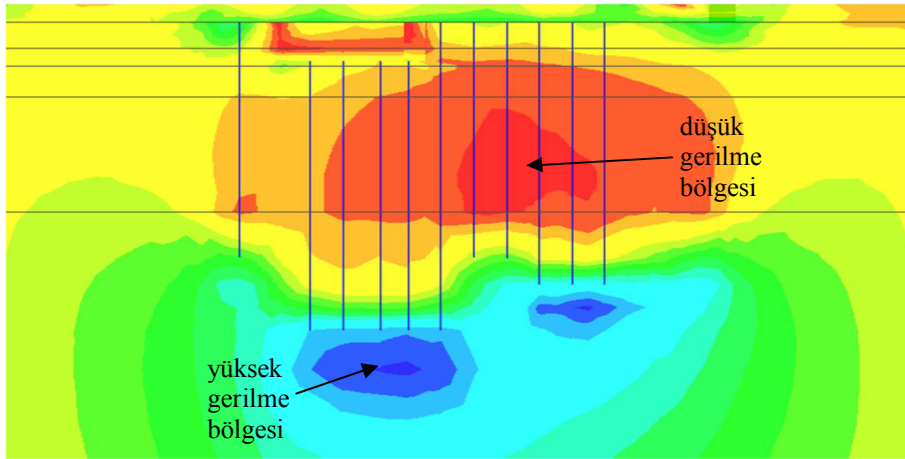
Model analiz aşamaları oluşturulduktan sonra hesaba geçilebilmekte, hesap işlemi devam ederken oluşan hatalar ekrandan takip edilebilmektedir.

Analiz sonuçları görsel ve grafiksel olarak gösterilebilmekte, ayrıca sonuçlar animasyon şeklinde görüntülenebilmektedir. Yazılımda sonuçlar Excell yazılımına gönderilebilmekte ve geniş kapsamlı model verileri ile analiz sonuçlarını içeren raporlar otomatik olarak oluşturulmaktadır.

Literatürde Midas GTS yazılımının geoteknik amaçlı farklı kullanımları görülebilmektedir.

Kim vd. (2011) Kore’de bir stadyumun temel ve üstyapısını Midas GTS ile modellemişlerdir. Stadyumun büyük bir kısmı kayalık arazide inşa edilirken, kayaya oturmayan kısımları 45 ve 50 cm çapında öngerilmeli yüksek dayanımlı betonarme kazıklar üzerine inşa edilmiştir. Midas GTS yapıda meydana gelebilecek farklı oturmaları kontrol etmek için kullanılmıştır.

Murrells ve Gastbled (2007), Midas GTS yazılımını kullanarak Katar’daki 80 katlı kazıklı yayılı temelli Dubai kulesini 3 boyutlu olarak modellemişlerdir. Modelde kazıklar gömülü kazık (embedded pile) olarak modellenmiş, kazık yükleme deneyi ile yazılıma girilecek parametreler teyit edilmiştir. Modelde yayılı temel ve döşemeler plak elemanlarla, zemin ise 3 boyutlu kama elemanlarla modellenmiştir. 53510 düğümlü, 89122 zemin ve 9533 plak elemanı olan modelin çözümü 3.6 GHz işlemcili ve 8 GB bellekli bir bilgisayarda 5 saat sürmüştür. Çözüm sonrasında kazıklara gelen yükler irdelenmiş uzun kazıkların altında gerilme artışlarının 600 kPa’ı aştığı, merkezdeki kazıklarda herhangi bir değişiklik olmadığı görülmüştür (Şekil 3.4.). Yapılan düzenlemeler sonrasında yayılı temelin yükün %20’sini taşıdığı, kazık uzunluğunun %20 azaltılarak ekonomik çözüm elde edildiği belirtilmiştir.



Şekil 3.4. Yükleme sonucu temel altında düşey gerilmeler

Yongfei (2011), Çin’de bir metro istasyonu ve tünel yanında inşa edilecek yüksek katlı bina temelini analizini Midas GTS yazılımıyla yapmıştır. Sözkonusu çözümde analiz konusu bina yanındaki tünel, istasyon ve çevre binalar ile birlikte modellenmiştir.

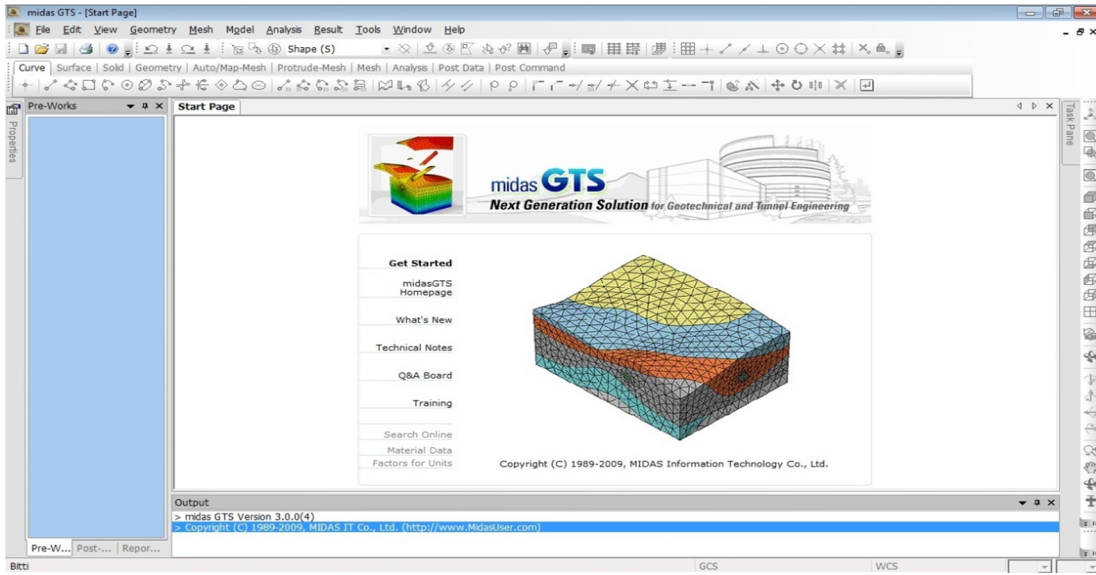
BÖLÜM 4. MIDAS GTS ile SAYISAL ANALİZ

Bu çalışmada, geoteknik problemlerin çözümünde kullanılan ve sonlu elemanlar yöntemiyle çalışan Midas GTS v3.0 programından yararlanılmıştır. İnceleme yapılan problemlerin oluşturulabilmesi için yazılımda birçok denemeler yapılmıştır. Tüm bu denemelerin neticesinde bu çalışmaya ait proje modellenerek sonuçları incelenmiştir.

4.1. Midas GTS ile Modelleme

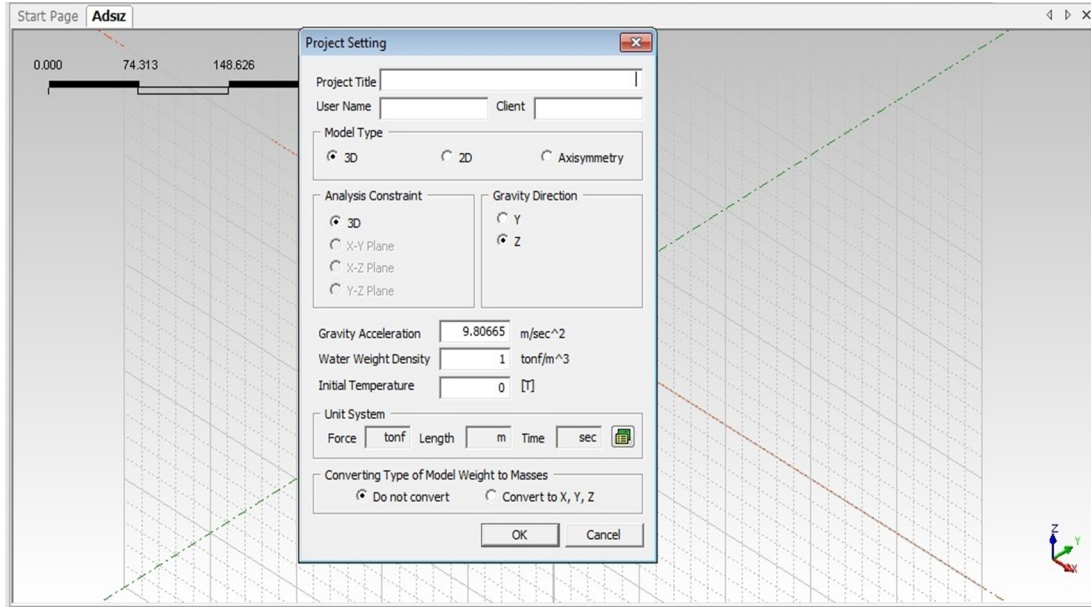
Programın genel olarak modelleme ve çözüm aşamalarını göstermek amacıyla aşağıda bir örnek çözüm verilmiştir.

Midas GTS programı ilk çalıştırıldığında programın açılış arayüzü görülmektedir (Şekil 4.1). Bu arayüzde programın ana menüsü, çeşitli komutları içeren araç çubukları, başlangıç sayfası, çalışma penceresi ve çıktı penceresi yer almaktadır.



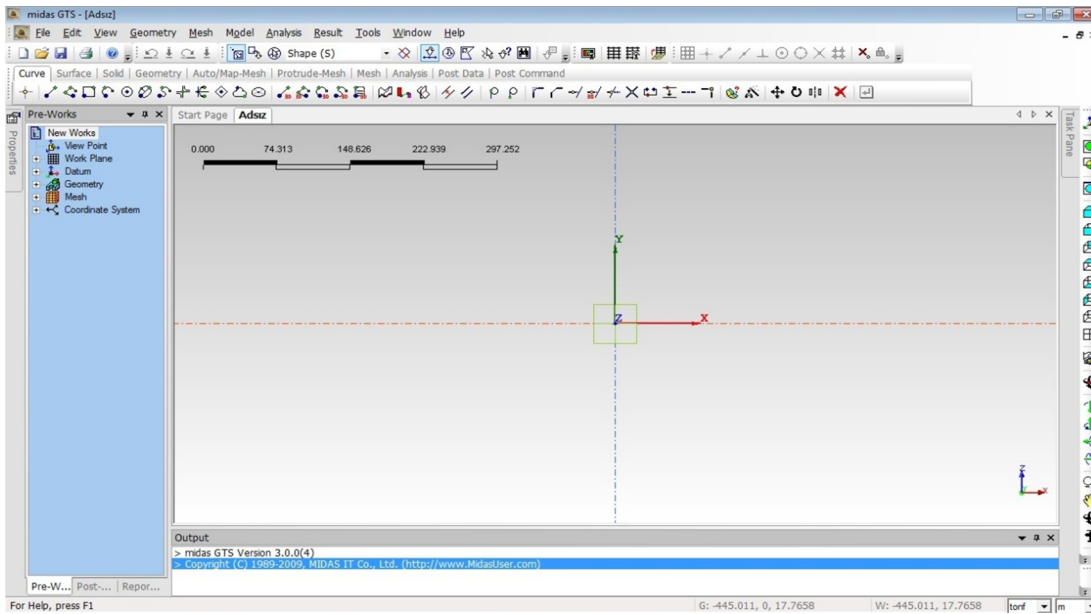
Şekil 4.1. Midas GTS arayüz ekranına ait görüntü

Araç çubuğunda bulunan “New” komutuyla çizim ekranı açılarak projeye ait özelliklerin belirlenebileceği pencereye ulaşılmaktadır (Şekil 4.2.). Burada projeye ait bilgiler düzenlenmektedir.



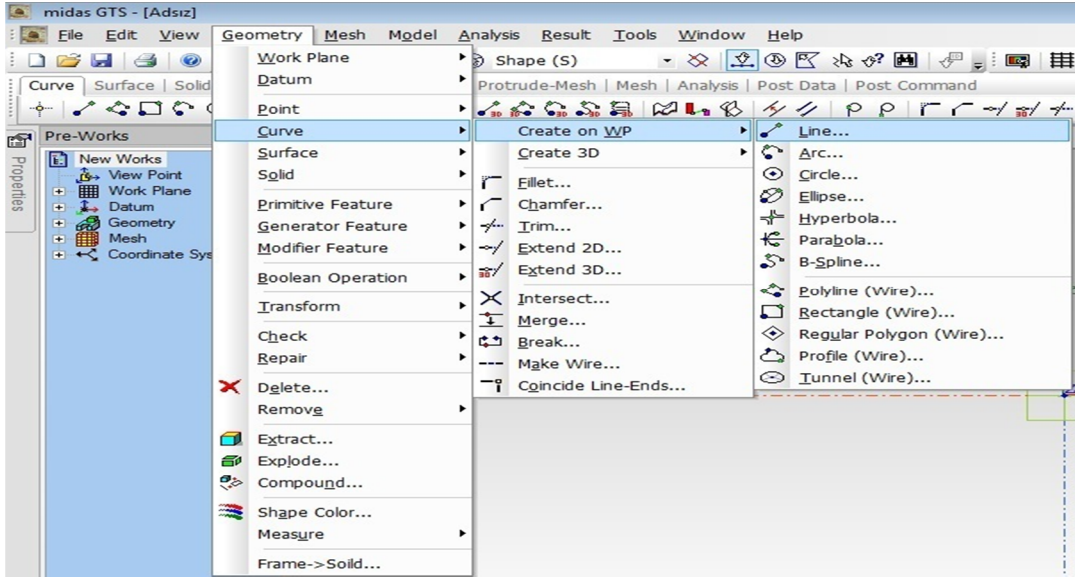
Şekil 4.2. Proje özellik penceresine ait görüntü

Proje özellikleri belirlendikten sonra çizim ekranına geçilmektedir (Şekil 4.3.).



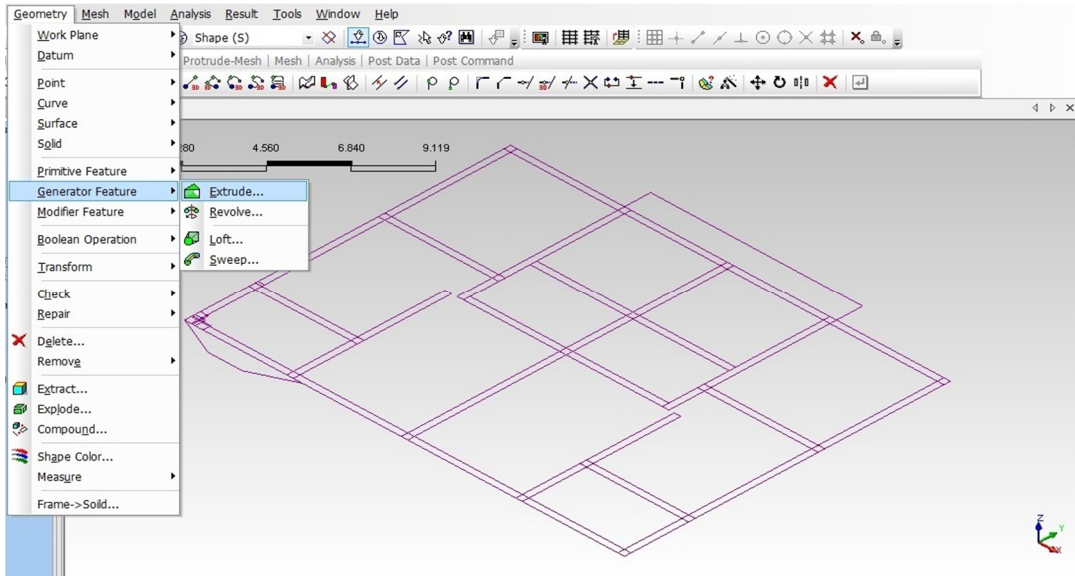
Şekil 4.3. Geometrinin oluşturulduğu ekrana ait görüntü

Çizim ekranında işlem yapabilmek için programın ana menüsünde bulunan “Geometry” başlığı altındaki menüden yapılacak çizime ait tüm komutlara ulaşılmaktadır (Şekil 4.4.).



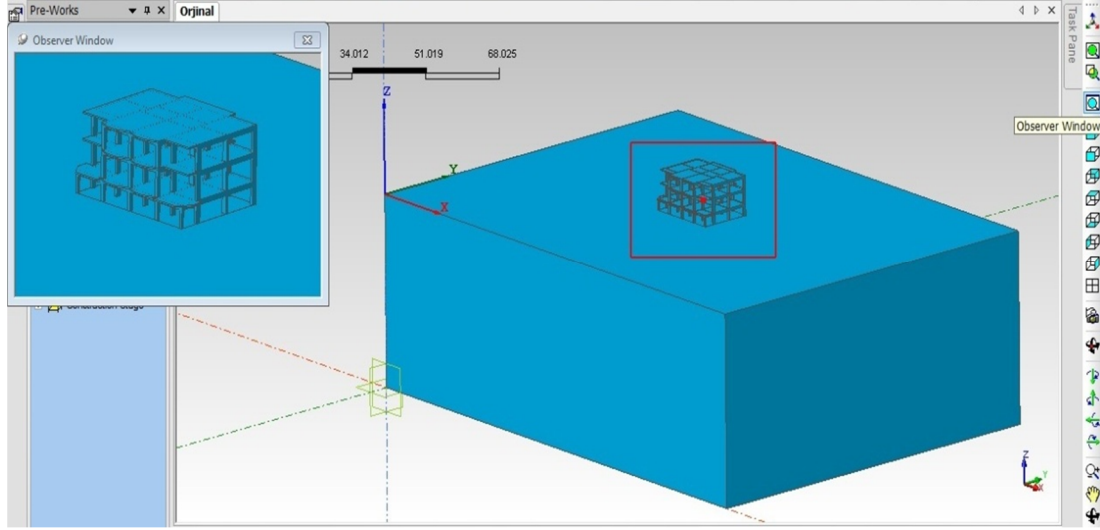
Şekil 4.4. Geometri alt menüsü ve çizim komutları

“Geometry” menüsündeki komutlar yardımı ile çizim işlemi gerçekleştirilebilmektedir (Şekil 4.5.).



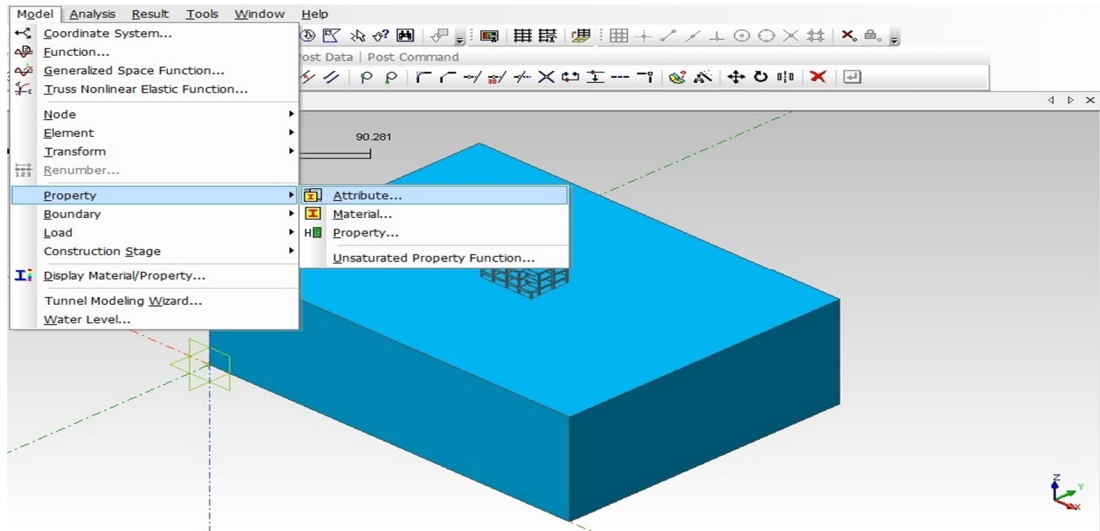
Şekil 4.5. Çizime üçüncü boyutun kazandırılması için izlenen yol

Yapılan çizime boyut kazandırmak için yine “Geometry” başlığı altındaki komutlar kullanılmaktadır. Bu komutlar çalıştırıldığında kullanıcıdan boyutlar hakkında bilgi isteyen pencereler ile karşılaşmakta ve projeye uygun boyutlar girilerek çizim işlemi gerçekleştirilmektedir (Şekil 4.6.).



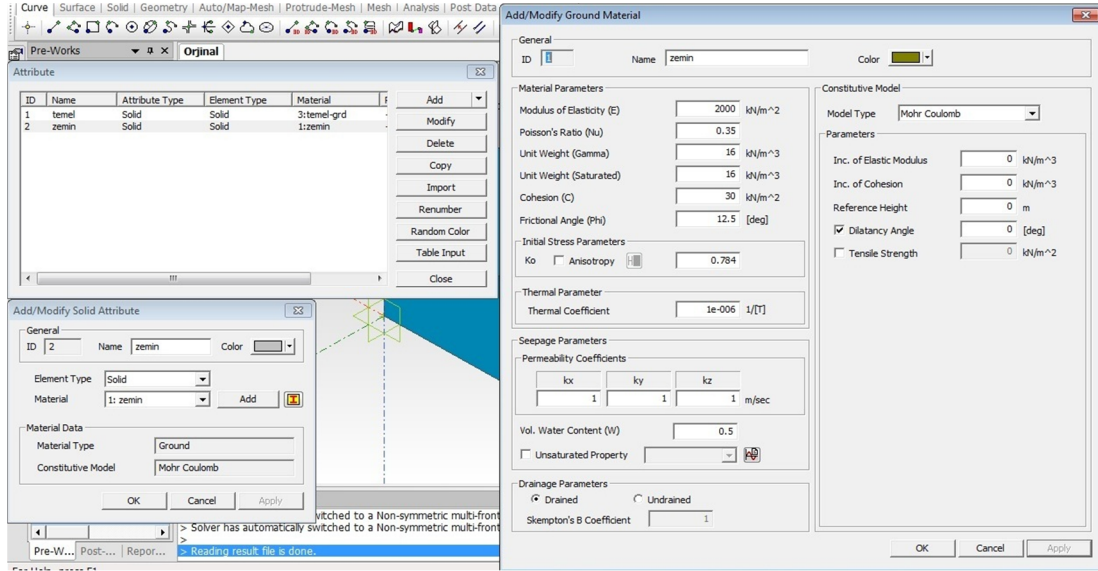
Şekil 4.6. Oluşturulan 3 boyutlu modele ait görüntü

Çizim işlemi tamamlandıktan sonra projede kullanılacak malzemelerin tanımlanması gerekmektedir. Bunun için “Model” menüsü altındaki komutlardan faydalanılmaktadır (Şekil 4.7.).



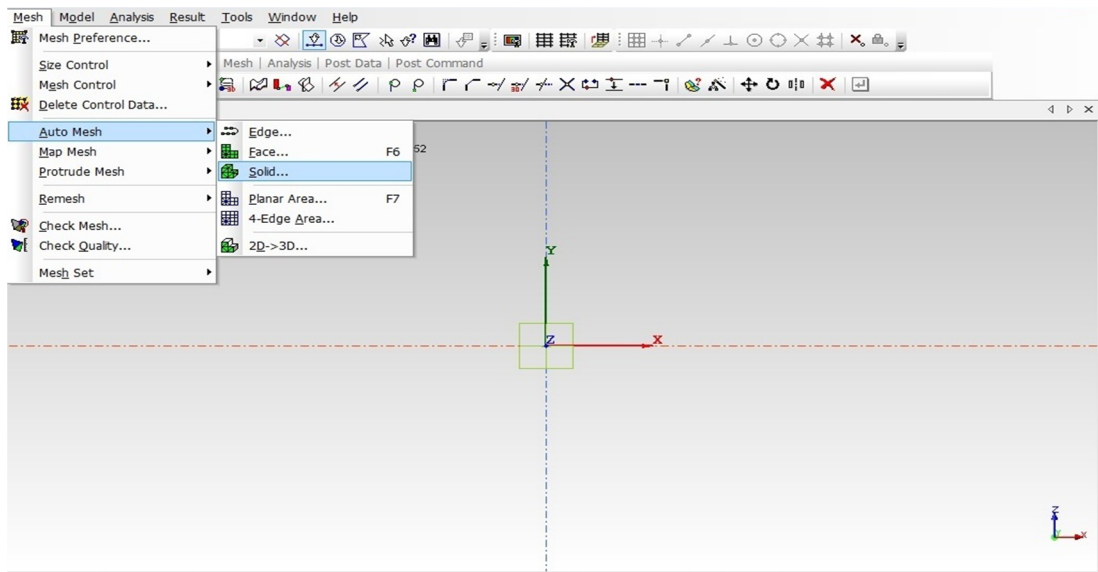
Şekil 4.7. Model alt menüsü ve malzeme atamak için izlenen yol

Ana menüde bulunan Model başlığı altındaki “Property” komutu yardımı ile malzemelerin tanımlanacağı pencereye ulaşılmaktadır (Şekil 4.8.). Bu pencereye malzemelere ait özellikler girilerek projede kullanılacak malzeme türleri programa tanıtılmaktadır.



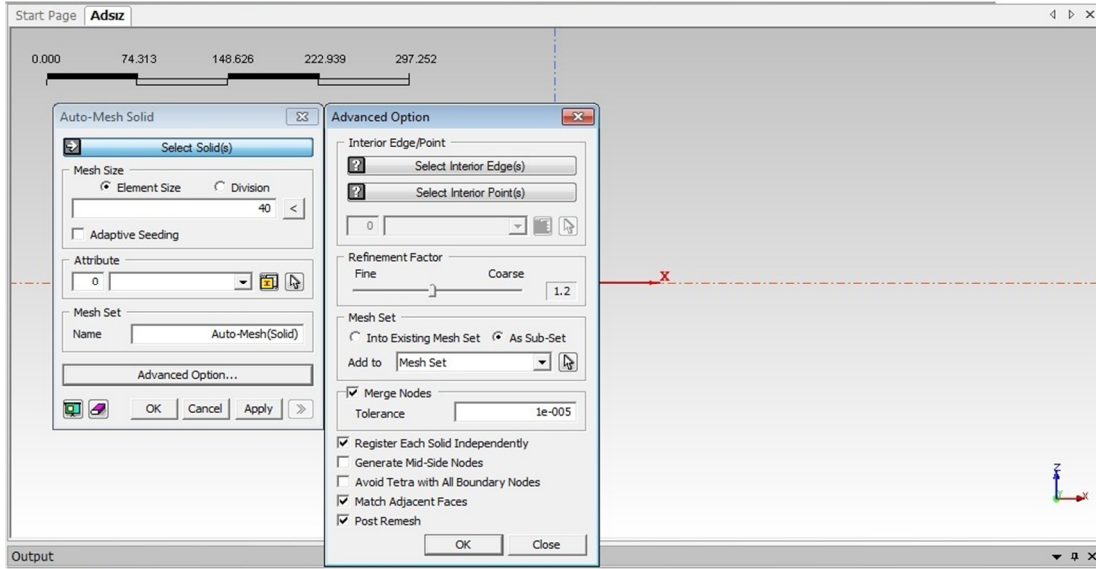
Şekil 4.8. Malzeme özelliklerinin tanımlandığı pencereye ait görüntü

Çizim ve malzeme tanımı yapıldıktan sonra sonlu eleman ağını oluşturmak için ana menüdeki “Mesh” başlığı altındaki komutlardan faydalanılmaktadır (Şekil 4.9.).



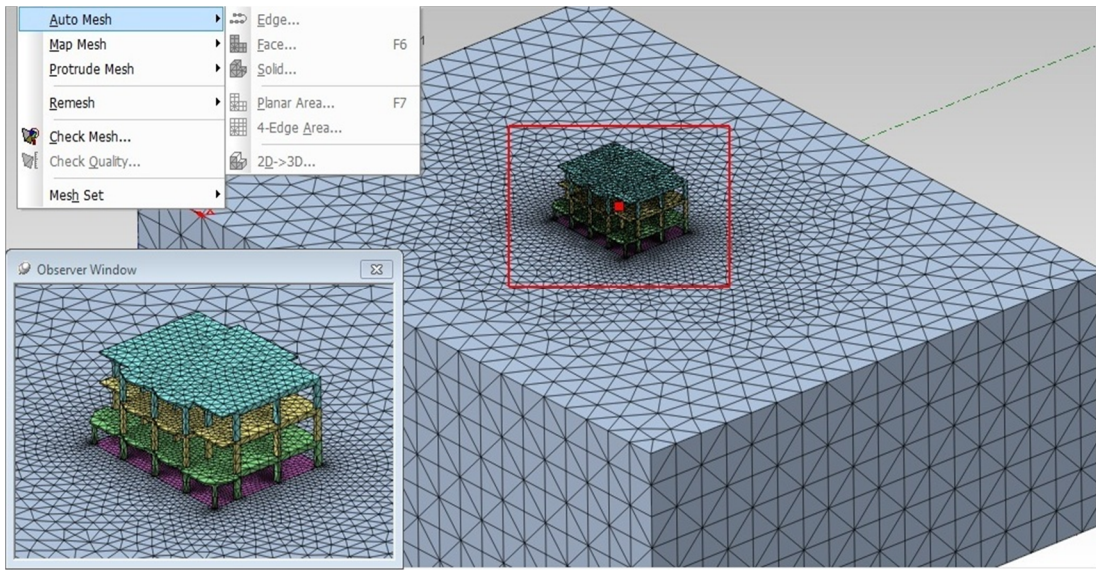
Şekil 4.9. Ağ alt menüsü ve ağ oluşturma

Seçilen sonlu eleman ağı oluşturma yöntemine göre ekrana sonlu eleman ağına ait özellik penceresi çıkmaktadır. Bu pencereden sonlu eleman ağının oluşturulacağı elemanlar seçilerek malzeme cinsi atanmakta ve gerekli sonlu eleman boyutu belirlenmektedir (Şekil 4.10.).



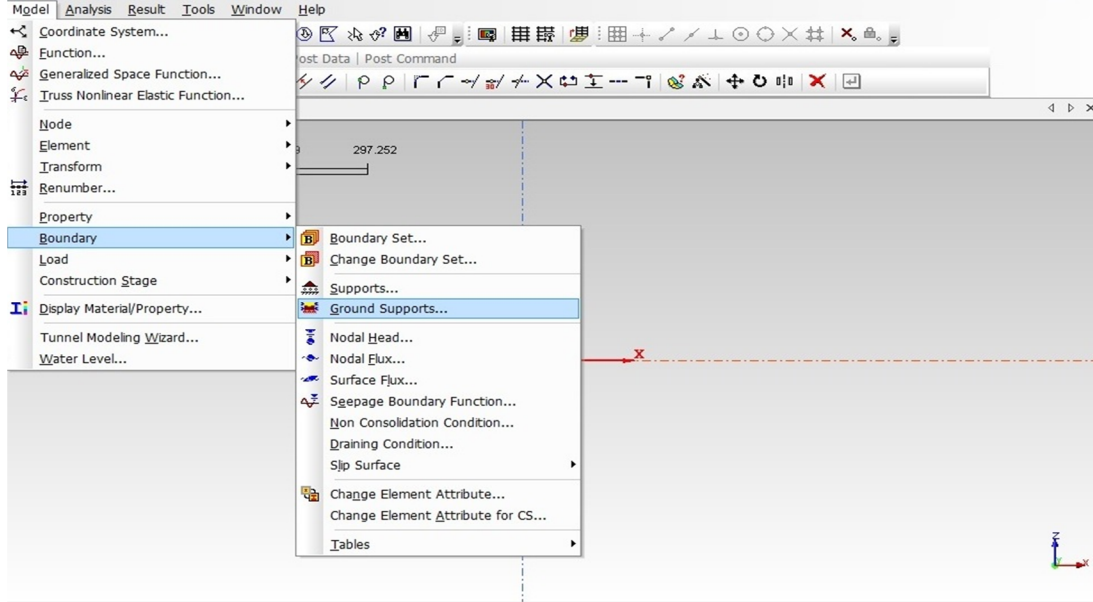
Şekil 4.10. Ağ özelliklerinin tanımlandığı pencereye ait görüntü

“Mesh” komutuyla da çizime ait sonlu elemanlar ağı oluşturulmaktadır. (Şekil 4.11.).



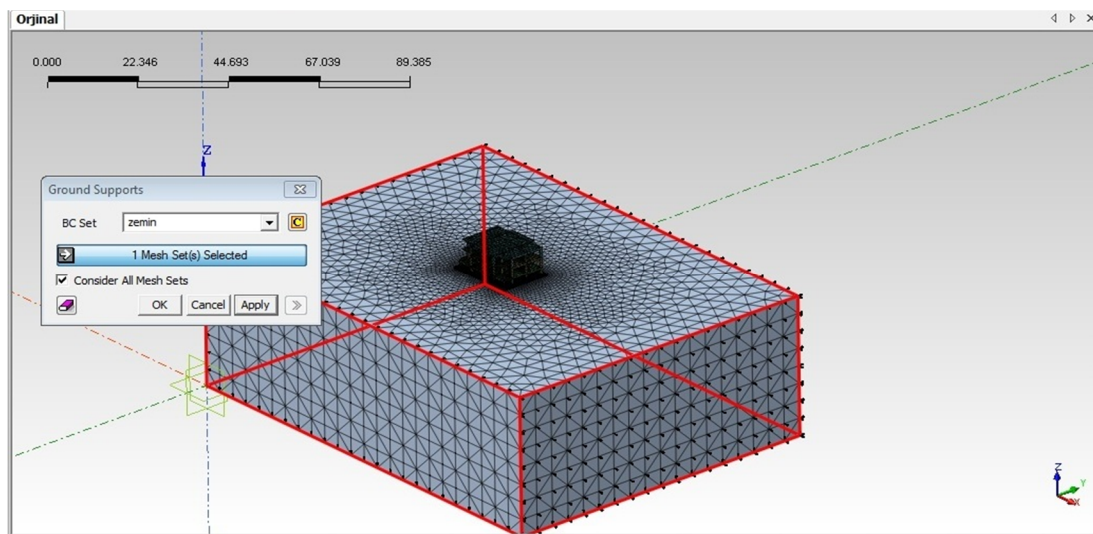
Şekil 4.11. Sonlu eleman ağına ait görüntü

“Mesh” işleminin ardından modelin sınır koşullarını belirlemek üzere “Model” başlığı altındaki “Boundary” sekmesine girilmektedir. (Şekil 4.12.).



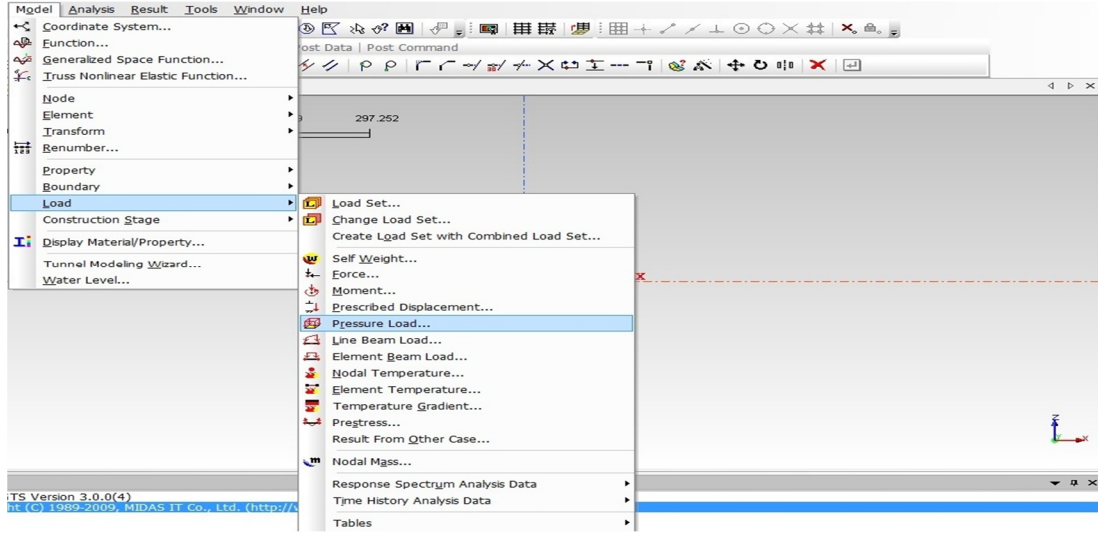
Şekil 4.12. Model alt menüsü ve sınır şartlarının belirlenmesinde izlenecek yol

Oluşturulmak istenen sınır koşuluna ait komut yardımı ile bu işlemin gerçekleştirileceği pencereye ulaşılmaktadır (Şekil 4.13.). Bu pencerede sınır koşulunun belirleneceği eleman seçilerek bu işlem tamamlanmakta ve oluşturulan modeldeki yükleri tanımlama işlemine geçilebilmektedir.



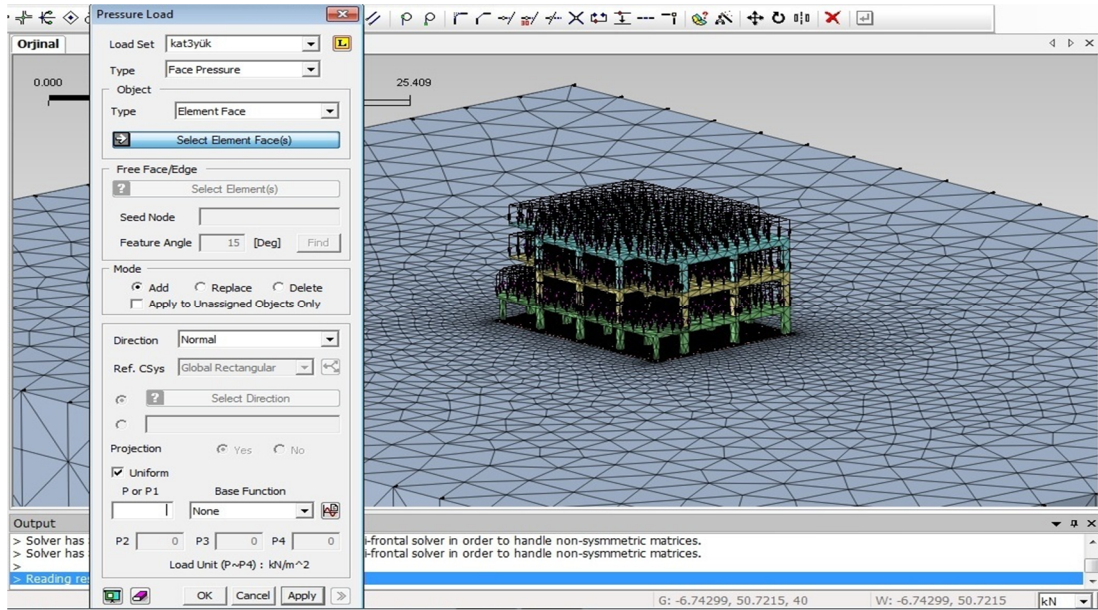
Şekil 4.13. Sınır şartlarının oluşturulduğu pencereye ait görüntü

Modele projedeki yükleri uygulamak üzere “Model” başlığı altından “Load” sekmesine girilmektedir (Şekil 4.14.). Bu sekme altında yükleme şekline uygun komut kullanılarak yük uygulama penceresine ulaşılmaktadır.



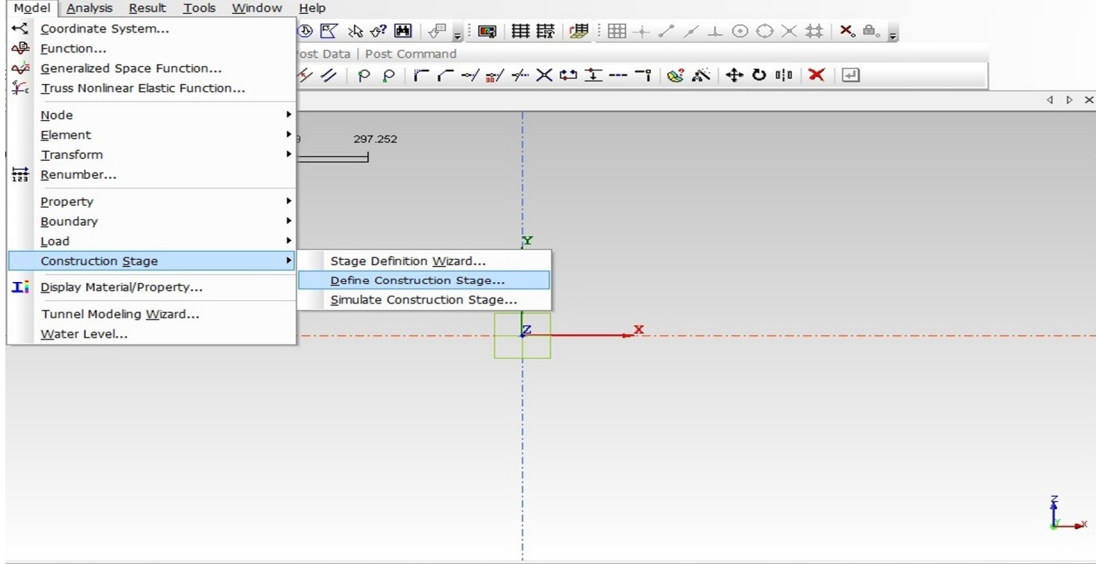
Şekil 4.14. Yüklemenin yapılmasında izlenecek yol

Bu pencerede uygulanacak yük miktarı ve uygulama bölgesi seçilerek yükleme işlemi tamamlanmaktadır (Şekil 4.15.).



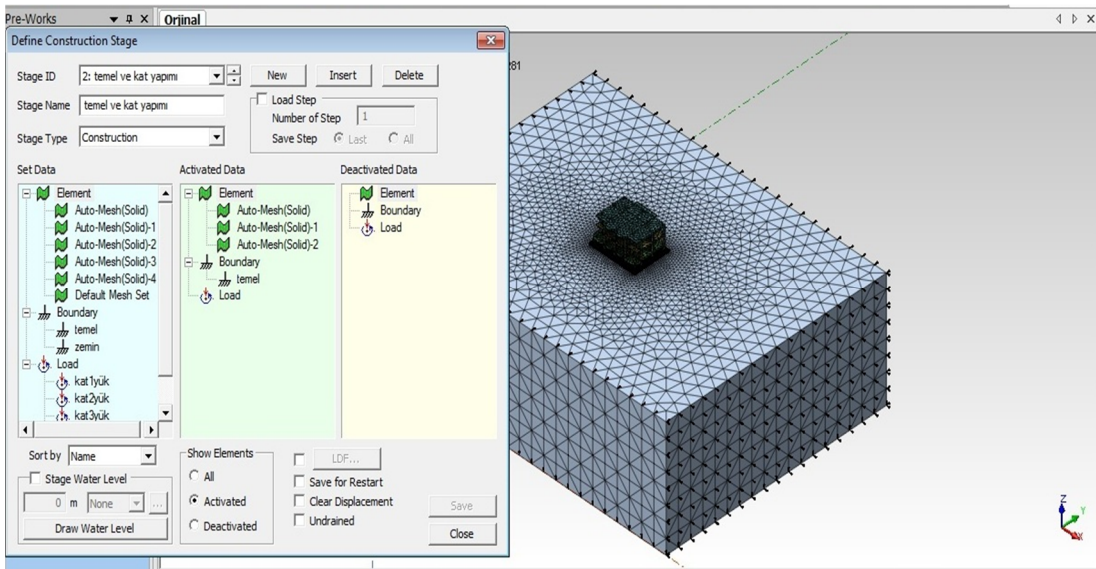
Şekil 4.15. Yüklemenin tanımlandığı pencereye ait görüntü

Yükleme işleminden sonra “Model” menüsü altındaki “Construction Stage” sekmesinden çözüm aşamasında izlenecek adımların belirleneceği pencereye ulaşılmaktadır (Şekil 4.16.).



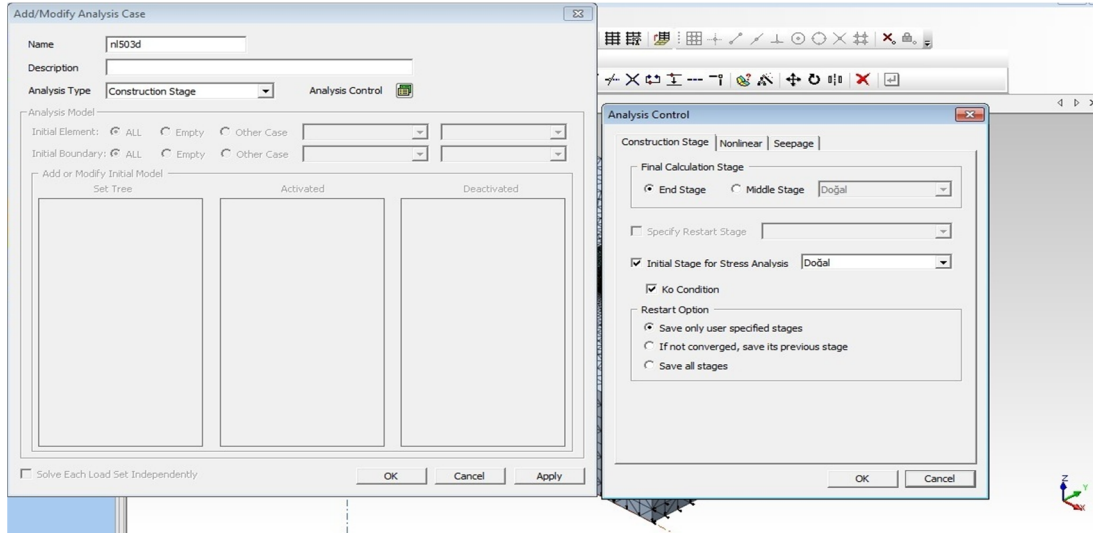
Şekil 4.16. Çözüm adımlarının tanımlanmasında izlenecek yol

Bu pencereden çözüm aşamasındaki durumlar belirlenmektedir (Şekil 4.17.).



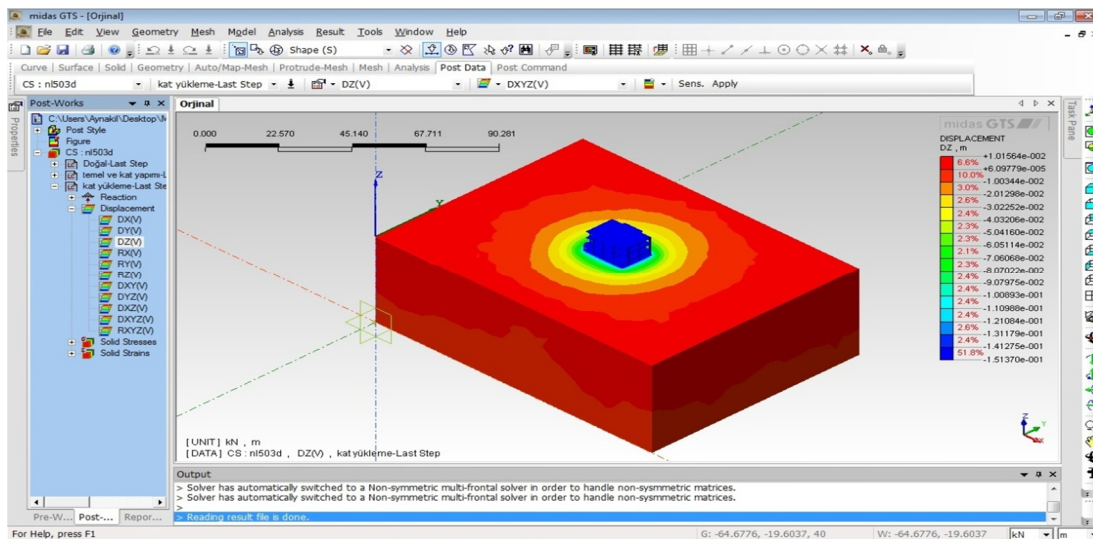
Şekil 4.17. Çözüm adımlarının tanımlandığı pencereye ait görüntü

Çözüm adımlarının da belirlenmesiyle ana menüden “Analysis” başlığı altındaki “Analysis Case” komutuyla analiz özelliklerinin belirleneceği pencereye ulaşılmaktadır (Şekil 4.18.). Analiz özelliklerinin açılan pencereden düzenlenmesiyle çözüm işlemine geçilmektedir.



Şekil 4.18. Analiz özelliklerinin düzenlendiği pencereye ait görüntü

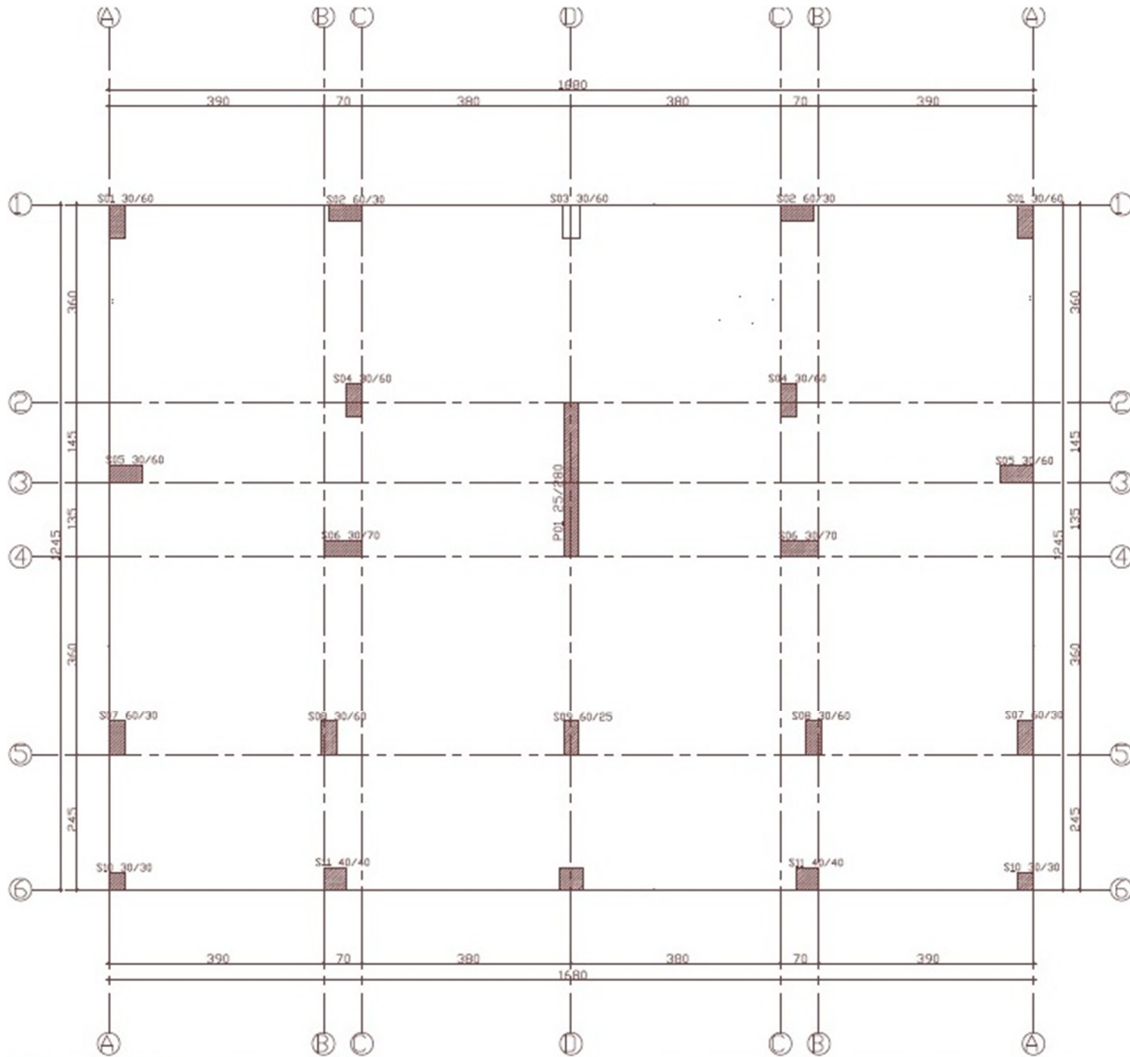
Analizin sonlanmasıyla sol taraftaki çalışma penceresi altından “Post-Work” menüsü açılarak modele ilişkin analiz sonuçlarına ulaşılmaktadır (Şekil 4.19.).



Şekil 4.19. Analiz sonuçlarının görsel olarak verildiği görüntü

4.1.1. Model özellikleri

Bu çalışma uygulaması yapılmış olan bir yapının verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Projedeki yapı 50 cm'lik kirişsiz yayılı temel üzerine 3 kat şeklinde ve kat yükseklikleri de birbirinden farklı olarak tasarlanmıştır. Bina modeli tek yönde simetrik olup taşıyıcı sistemi 1 adet perde ve boyutları değişiklik gösteren 21 adet kolondan oluşmaktadır (Şekil 4.20.). Kiriş boyutları 0,25 x 0,5 m'dir. Döşeme kalınlığı ise 0,12 m'dir. Temel boyutları 16,8 x 12,45 x 0,5 m'dir. Yapının statik hesaplamalarında Idecad yazılımından faydalanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan kolon yükleri ve momentler ile döşemeye gelen sabit ve hareketli yükler Idecad programının sonuçlarından elde edilmiştir.



Şekil 4.20. Yayılı temel aplikasyon planı

4.1.2. Yapılan çözüm kombinasyonları

Bu çalışmada ilk olarak aşağıda belirtilen şekilde farklı temel kalınlıklarında, farklı yükleme şekilleriyle ve farklı modellemelerle, iki farklı zemin üzerinde oluşan deplasmanları incelemek amacıyla 36 adet model oluşturulmuştur.

Kullanılan temel kalınlıkları: 50, 75 ve 100 cm

Uygulanan yükleme şekilleri: Bina, kolon ve yayılı yükleme

Kullanılan zemin tipleri: Zemin A ve zemin B

Kullanılan modelleme şekilleri: 2D ve 3D elemanlı model

Çalışmanın ikinci kısmında iki farklı temel kalınlığı için temel kalınlığı sabit tutularak üstyapı boyutlarının değiştirilmesi ile 6 adet model oluşturulmuştur.

Kullanılan temel kalınlıkları: 30 ve 50 cm

Kullanılan zemin tipi: Zemin A

Kullanılan modelleme şekli: 2D elemanlı model

Yapı elemanı boyutları: Kolon ve kiriş kesitleri ile döşeme kalınlığı %20 azaltılmış ve arttırılmıştır.

Model 1: 50 cm kalınlığındaki temelde üstyapı eleman boyutlarının %20 azaltılmasıyla oluşturulmuştur.

Model 2: 50 cm kalınlığındaki temelde üstyapı eleman boyutlarının sabit tutulmasıyla oluşturulmuştur.

Model 3: 50 cm kalınlığındaki temelde üstyapı eleman boyutlarının %20 arttırılmasıyla oluşturulmuştur.

Model 4: 30 cm kalınlığındaki temelde üstyapı eleman boyutlarının %20 azaltılmasıyla oluşturulmuştur.

Model 5: 30 cm kalınlığındaki temelde üstyapı eleman boyutlarının sabit tutulmasıyla oluşturulmuştur.

Model 6: 30 cm kalınlığındaki temelde üstyapı eleman boyutlarının %20 arttırılmasıyla oluşturulmuştur.

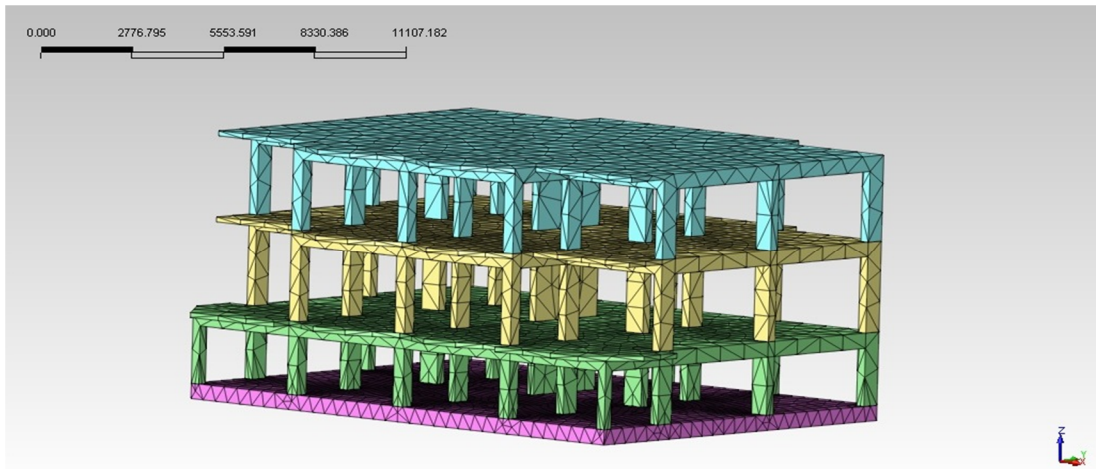
4.1.3. Geometrinin oluşturulması

Bu çalışmada zemin 3 boyutlu olarak modellenmiş, boyutları 90 x 120 x 40 m olarak belirlenmiştir. Bu boyutların belirlenmesinde bina yüklerinden dolayı oluşan etki alanının ve analiz çözüm sürelerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Zemin modeli tek tabakadan oluşmaktadır.

Yapı modellemeleri 2 farklı şekilde yapılmıştır. Bunlar;

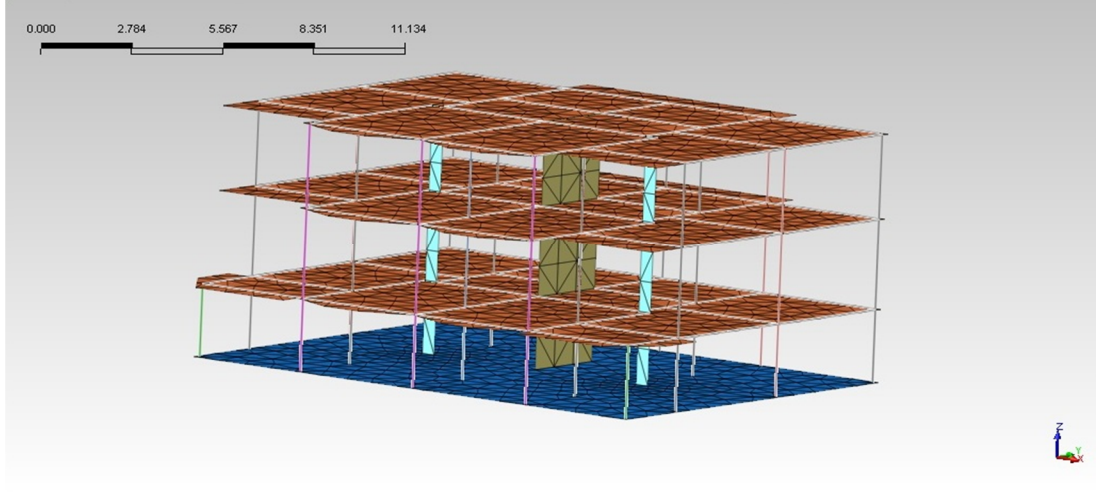
- 1) 3 boyutlu elemanlardan oluşan model (3D Elemanlı)
- 2) 2 boyutlu elemanlardan oluşan model (2D Elemanlı)

3 Boyutlu Elemanlardan Oluşan Model (3D Elemanlı) : Temel ve mevcut ise üstyapı elemanlarının 3 boyutlu olarak tasarlandığı modelleme şekli için yapılan adlandırmadır (Şekil 4.21.).



Şekil 4.21. Üç boyutlu elemanlardan oluşan model (3D elemanlı)

2 Boyutlu Elemanlardan Oluşan Model (2D Elemanlı) : Temel ve mevcut ise döşeme ve perdelerin 2 boyutlu (plak) olarak tasarlandığı modelleme şekli için yapılan adlandırmadır (Şekil 4.22.).

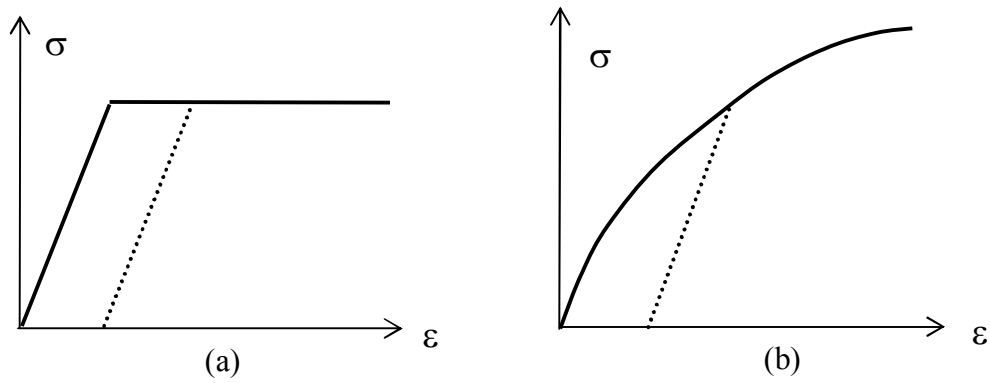


Şekil 4.22. İki boyutlu elemanlardan oluşan model (2D elemanlı)

Bu iki farklı modelleme şekli ile bir projedeki modelleme yöntemleri arasında oluşabilecek farklılıklar da incelenmiştir. Tez boyunca modelleme şekilleri bu isimlerle adlandırılacaktır.

4.1.4. Malzeme özelliklerinin belirlenmesi

Yazılımda, temellerin son taşıma güçlerini bulmak için kullanılabilen lineer elastik-mükemmel plastik “Mohr - Coulomb” malzeme modeli yanında “Modified Mohr - Coulomb” gibi zeminin hiperbolik elastik - plastik davranışına izin veren gelişmiş malzeme modelleri de kullanılmaktadır (Şekil 4.23).



Şekil 4.23. Zeminde gerilme - şekil değiştirme davranışı modelleri

- Lineer elastik - mükemmel plastik
- Nonlineer elastik - pekleşen plastik

Elasto - plastik Mohr - Coulomb modelinde E ve ν zeminin elastik, c ve ϕ plastik, ψ' de hacim değiştirme özelliklerini temsil etmektedir. Zemin ve kayada gerilme-şekil değiştirme davranışı incelenirken, ilk yaklaşım olarak Mohr - Coulomb yenilme kriteri ile her tabaka için seçilen sabit ortalama rijitlik değeri hesapların oldukça hızlı yapılmasını sağlamakta ve olası deplasmanlar hakkında bir ön bilgi sağlamaktadır. Tez çalışmasında malzeme modeli olarak ‘‘Mohr-Coulomb’’ kullanılmıştır.

Geometrinin oluşturulmasından sonra malzeme özellikleri tanımlanmıştır (Tablo 4.1.). Bu çalışmada zemin A ve zemin B olmak üzere iki çeşit zemin tanımlanmıştır. Temel ve üst yapı elemanları için betonarme özellikleri kullanılmıştır.

Tablo 4.1. Modellemede kullanılan malzeme özellikleri

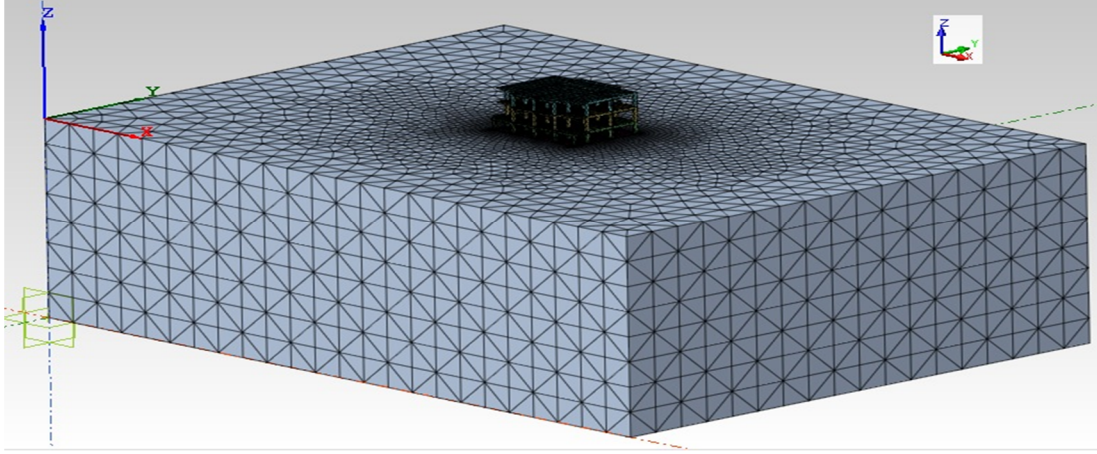
Zemin A		Zemin B		Betonarme	
Deformasyon Modülü	2.0 MPa	Deformasyon Modülü	5.0 MPa	Deformasyon Modülü	32 GPa
Birim hacim ağırlığı	16 kN/m ³	Birim hacim ağırlığı	16 kN/m ³	Birim hacim ağırlığı	24 kN/m ³
Poisson oranı	0.35	Poisson oranı	0.35	Poisson oranı	0.2
Zemin modeli	Mohr Coulomb	Zemin modeli	Mohr Coulomb	Davranış modeli	Elastik
Zemin davranışı	Drenajlı	Zemin davranışı	Drenajlı	-	-
Kohezyon (c')	30 kPa	Kohezyon (c')	60 kPa	-	-
Kayma direnci açısı (ϕ')	12,5°	Kayma direnci açısı(ϕ')	25°	-	-
K ₀	1-sin ϕ'	K ₀	1-sin ϕ'	-	-

4.1.5. Sonlu eleman ağı oluşturulması

Modelde sonlu eleman ağını oluşturmak amacıyla programın sunduğu ‘‘Auto-Mesh’’ özelliği kullanılmıştır (şekil 4.24.). 2 boyutlu özümelerde ise ağın oluşturulması ve farklı elemanlar arasındaki uyumun sağlanabilmesi için ağ düzenlemeleri yapılmıştır.

Sonlu eleman çözümünde gerilmelerin yüksek olduğu yerlerde elemanların sıkılaştırılması ile sonuçlar daha gerçekçi olarak bulunmakta, ağın kenar ve köşelerine doğru ise elemanların büyütülmesi ile büyük hacimli problemlerde eleman sayısının gereğinden fazla olması önlenmekte, böylece çözüm zamanından önemli ölçüde tasarruf sağlanmaktadır (Potts ve Zdravkovic, 2001; Reul ve Randolph, 2002).

Bu doğrultuda ağ boyutunu belirlemek üzere modelde deneme çözümleri yapılarak sonuçta kullanımı uygun bulunan sonlu eleman modeli belirlenmiştir.



Şekil 4.24. Sonlu eleman ağı görünümü

4.1.6. Sınır koşullarının belirlenmesi

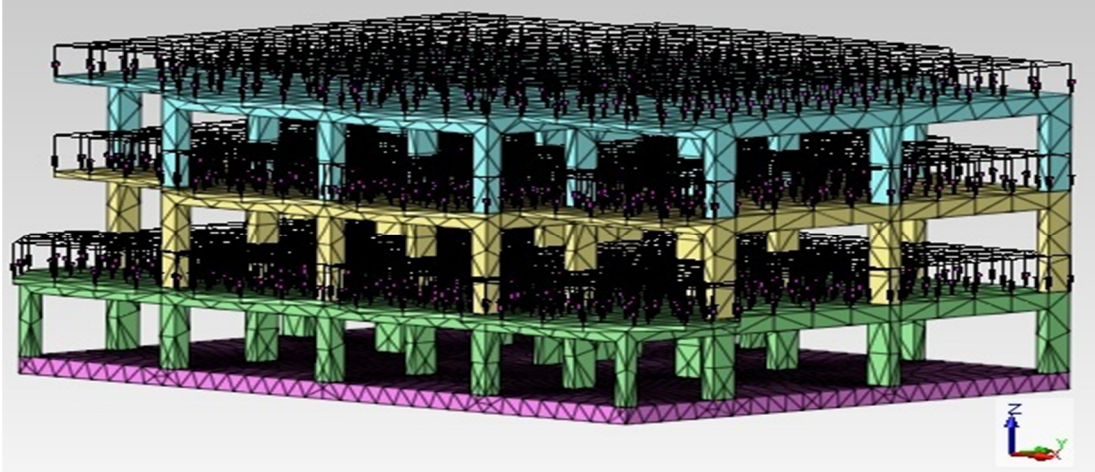
Model tabanındaki düğüm noktaları sabit; model kenarındakiler düşey yönde serbest, yatay yönde ise sabit alınmıştır.

Modellerin tümünde yeraltı suyunun bulunmadığı kabul edilmiştir.

4.1.7. Yüklemenin yapılması

Bu çalışmada 3 tip yükleme yapılmıştır. Bunlar;

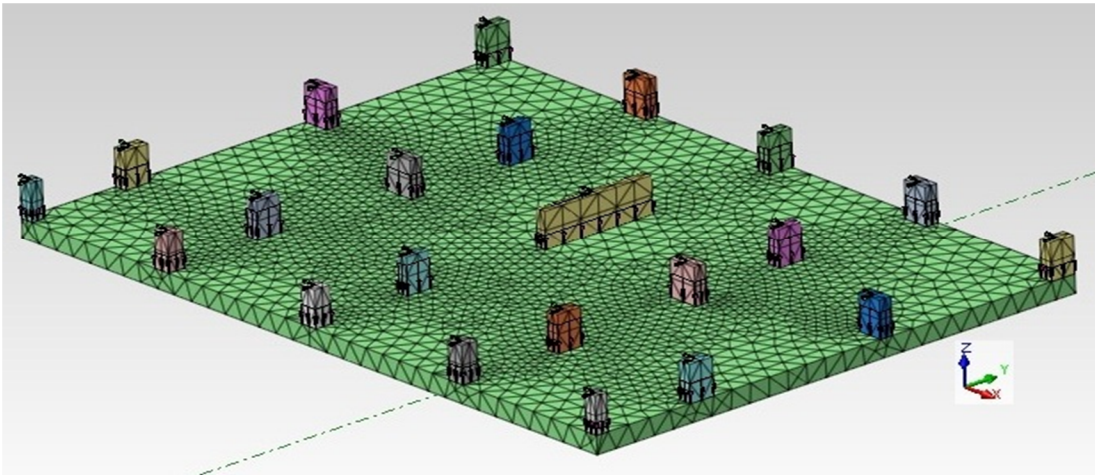
Bina Yüklemesi: Temel üzerine yapı elemanlarının da modellenerek yüklemenin bu elemanlar yardımıyla temele iletildiği yükleme şeklidir (Şekil 4.25).



Şekil 4.25. 3D elemanlı bina yüklemesi

Bina yüklemesinde; yükler Idecad yazılımından alınan katlara ait toplam yüklerden, modeldeki kat yükü düşülerek 1. ve 2. kat döşemelerine yayılı yük olarak 6,6 kPa, 3. kat döşemesine ise yayılı yük olarak 5,6 kPa olarak yüklenmiştir.

Kolon Yüklemesi: Temel üzerine yapılacak olan yüklemenin kolon taban bölgelerine kolonların aldığı yükler oranında etkilmesiyle yapılan yükleme şeklidir (Şekil 4.26).



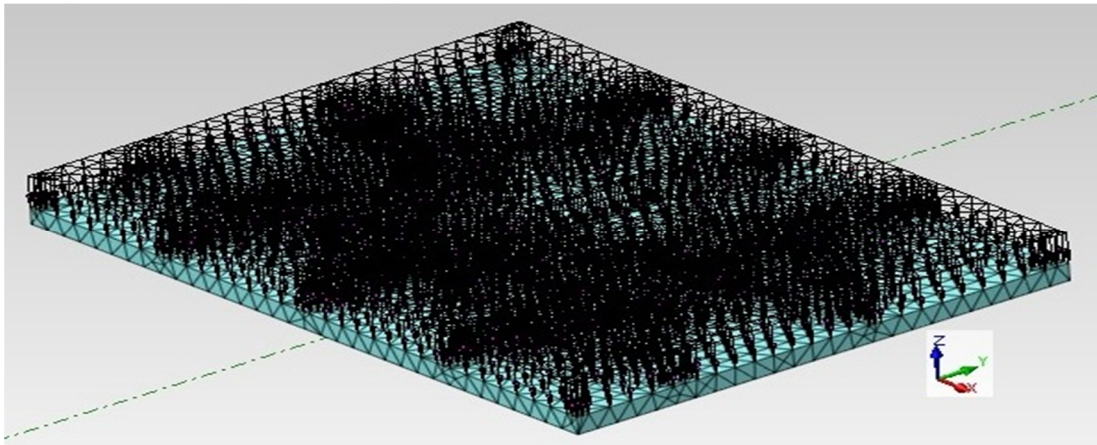
Şekil 4.26. 3D elemanlı kolon yüklemesi

Kolon yüklemesinde; Idecad'ten alınan Tablo 4.2' deki değerler kullanılmıştır.

Tablo 4.2. Kolonlara gelen yükler ve kolon boyutları

Kolonlar ve Perde	Normal Yükler (kN)	M_x Moment (kNm)	M_y Moment (kNm)	Kolon Boyutları (m)	
				X	Y
S01 (x2)	198	23,2	36	0,3	0,6
S02 (x2)	355	2	20,1	0,6	0,3
S03	380	47,6	42,4	0,3	0,6
S04 (x2)	414	36,4	65,9	0,3	0,6
S05 (x2)	398	4,3	1,1	0,6	0,3
S06 (x2)	417	3,2	10,9	0,7	0,3
S07 (x2)	295	27,6	64,2	0,3	0,6
S08 (x2)	424	35,7	68,4	0,3	0,6
S09	380	19,3	65,2	0,25	0,6
S10 (x2)	45	18	11	0,3	0,3
S11 (x2)	220	6,5	7,8	0,4	0,4
S12	261	64,9	21,9	0,4	0,4
P1	847	115,6	988,8	0,25	2,8

Yayıllı Yükleme: Temel üzerine gelen tüm yükün temel alanı boyunca eşit olarak dağıtılmasıyla yapılan yükleme şeklidir (Şekil 4.27.).



Şekil 4.27. 3D elemanlı yayıllı yükleme

Yayıllı yüklemede de üstyapıdan gelen toplam 7400 kN yük temel alanına bölünerek temel yüzeyine 35,38 kPa düzgün yayıllı yük olarak yüklenmiştir.

Bu yükleme tipleriyle üstyapı rijitliğinin etkileri incelenmiştir. Tez boyunca yükleme şekilleri bu isimlerle adlandırılacaktır.

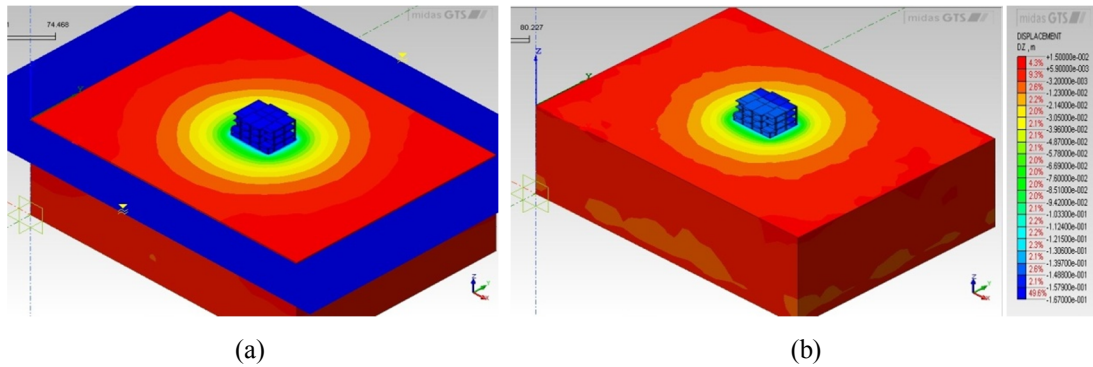
4.1.8. Çözüm adımlarının belirlenmesi

Geometri, malzeme özellikleri, sonlu eleman ağının oluşturulması ve sınır şartları tanımlandıktan sonra modelde sükunetteki (K_0 koşullarındaki) gerilme durumu oluşturulmaktadır. Çözüm aşaması ise iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci aşamada temel alanında yayılı temel ve mevcut ise bina modeli ile zemin yer değiştirmektedir. İkinci aşamada ise belirlenen yükler uygulanmaktadır.

4.2. Yeraltı Suyunun Etkisi

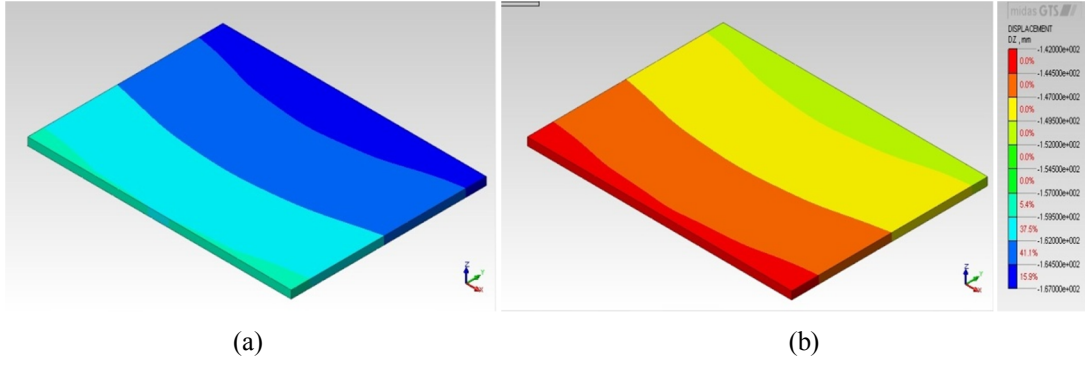
Yapılan çözümlerde yeraltı suyunun bulunmadığı kabul edilmiştir. Bu çözümlerde yeraltı suyunun bulunması durumunda, deplasmanlarda oluşabilecek farklılıkların incelenmesi amacıyla zemin A'da, 2 ve 3 boyutlu bina yüklemesi altındaki 50 cm'lik temelde yeraltı su seviyesinin temel altında bulunduğu örnek bir çözüm yapılarak karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'da her iki koşulda 3D elemanlı modellemelerde oluşan deplasmanların dağılımları gösterilmektedir.



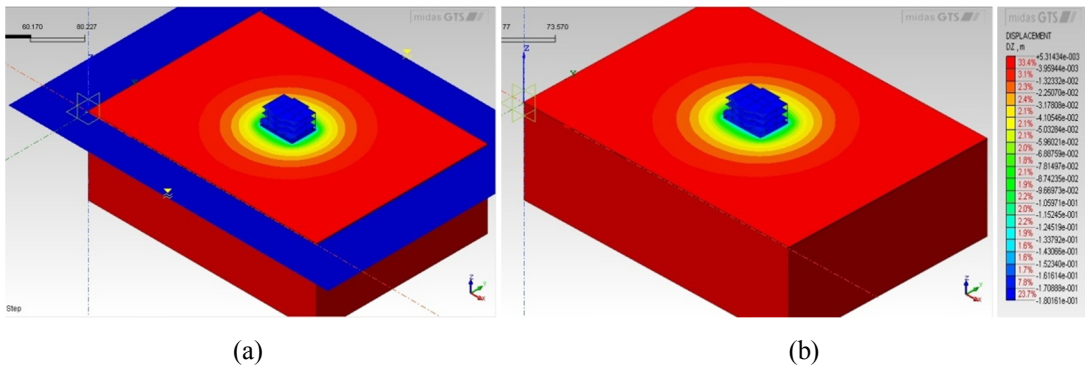
Şekil 4.28. a. Yeraltı suyunun bulunduğu 3D modeldeki deplasman dağılımı

b. Yeraltı suyunun olmadığı 3D modeldeki deplasman dağılımı

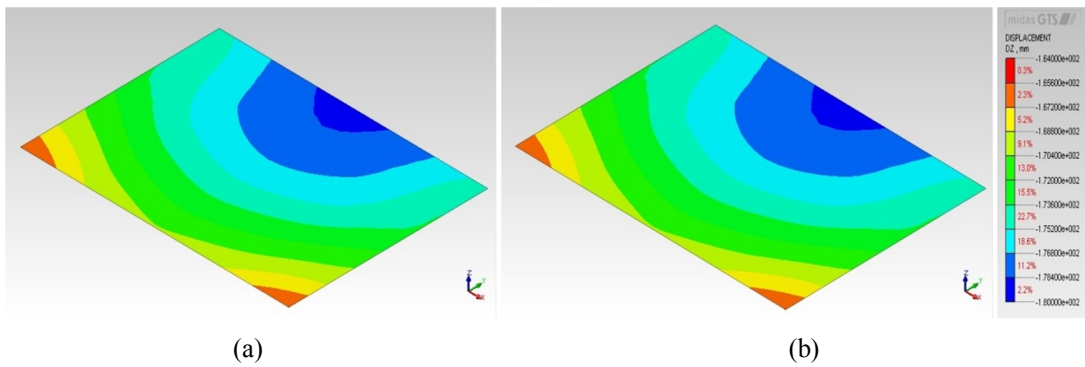


Şekil 4.29. a. Yeraltı suyunun bulunduğu 3D modelde temelde oluşan deplasman dağılımı
b. Yeraltı suyunun bulunmadığı 3D modelde temelde oluşan deplasman dağılımı

Şekil 4.30 ve Şekil 4.31'de her iki koşulda 2D elemanlı modellemelerde oluşan deplasmanların dağılımları gösterilmektedir. Oluşan deplasman değerleri Tablo 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.30. a. Yeraltı suyunun bulunduğu 2D modeldeki deplasman dağılımı
b. Yeraltı suyunun olmadığı 2D modeldeki deplasman dağılımı



Şekil 4.31. a. Yeraltı suyunun bulunduğu 2D modelde temelde oluşan deplasman dağılımı
b. Yeraltı suyunun bulunmadığı 2D modelde temelde oluşan deplasman dağılımı

Tablo 4.3. Yeraltı suyuna bağı olarak deplasmanlardaki değişim

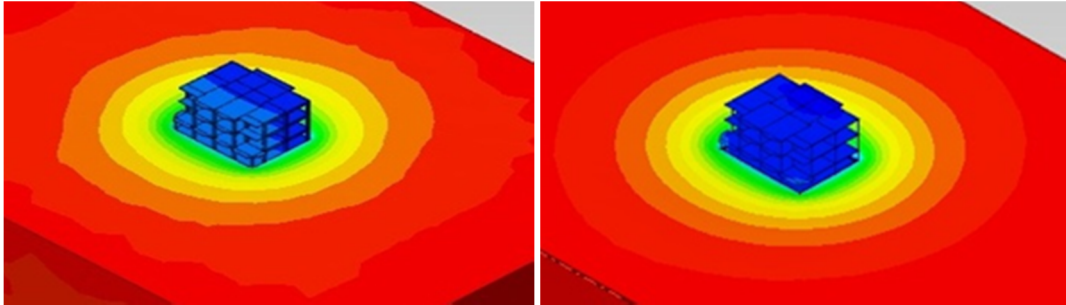
Kriter	Modelleme Şekli	Yeraltı Suyu Yok	Yeraltı Suyu -0,5 m
Δ_{\max} (mm)	3D elemanlı model	150,6	165,8
	2D elemanlı model	179,0	179,0
$\delta\Delta_{\max}$ (mm)	3D elemanlı model	7,2	7,1
	2D elemanlı model	13,6	13,6

Tablo 4.3'teki verilere göre 3D elemanlı modellemede toplam oturmalar bir miktar artarken farklı oturmalarda değişim gözlemlenmemiştir. 2D elemanlı modellemede ise herhangi bir değişim gerçekleşmemiştir. Seçilen zemin tipinin drenajlı olması sebebiyle yükleme altında ek boşluk suyu basınçlarının oluşmayacağı ve bu nedenle deplasman değerlerinin çok fazla değişmediği düşünölmektedir.

BÖLÜM 5. SAYISAL ÇÖZÜMLER

Midas GTS yazılımı kullanılarak yapılan hesaplamalar sonrasında analiz sonuçları hem programın görselleriyle sunulmuş hem de grafik değerlendirmeler yapılmıştır. Program görsellerinde; zemin A üzerinde bulunan 50 cm temel kalınlığına sahip çözümün, 3D elemanlı ve 2D elemanlı modelleri örnek olarak verilmektedir.

Binanın üç boyutlu olarak girildiği çözümlerde deplasmanlar Şekil 5.1'deki gibi görülmekte, karşılaştırma yapabilmek amacıyla üstü yapı sonraki şekillerde gizlenmektedir.



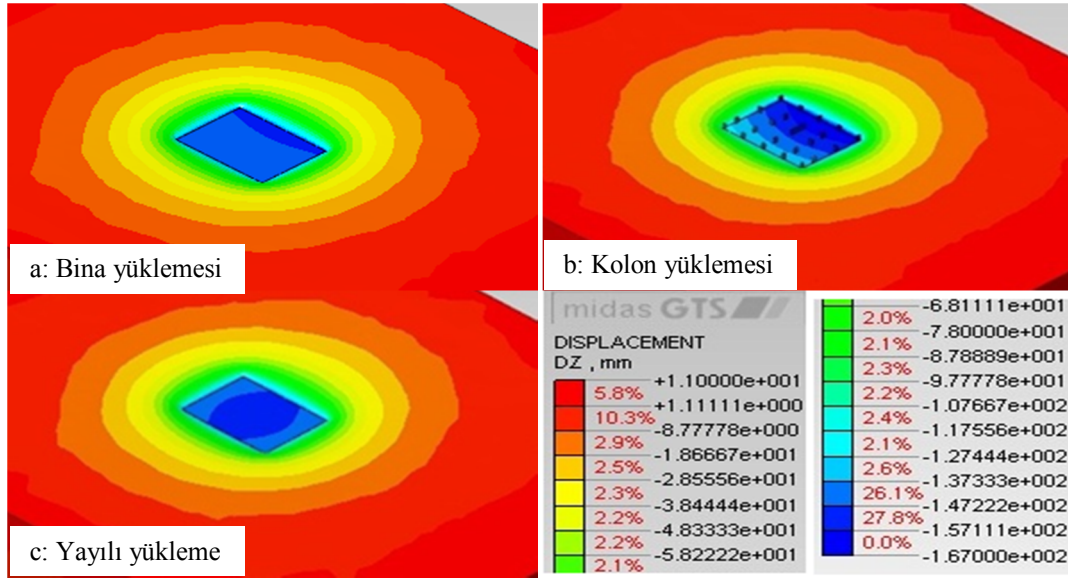
Şekil 5.1. Üç boyutlu ve iki boyutlu elemanlarla modellenmiş bina yüklemesinde deplasmanlar

5.1. 3D Elemanlı Modele ait Görseller

3D elemanlı modele ait; zeminde ve yapıda oluşan deplasmanların genel görünüşü, enine ve boyuna kesit görünüşleri, temelde oluşan deplasmanlara ait görünüşler sunulmaktadır.

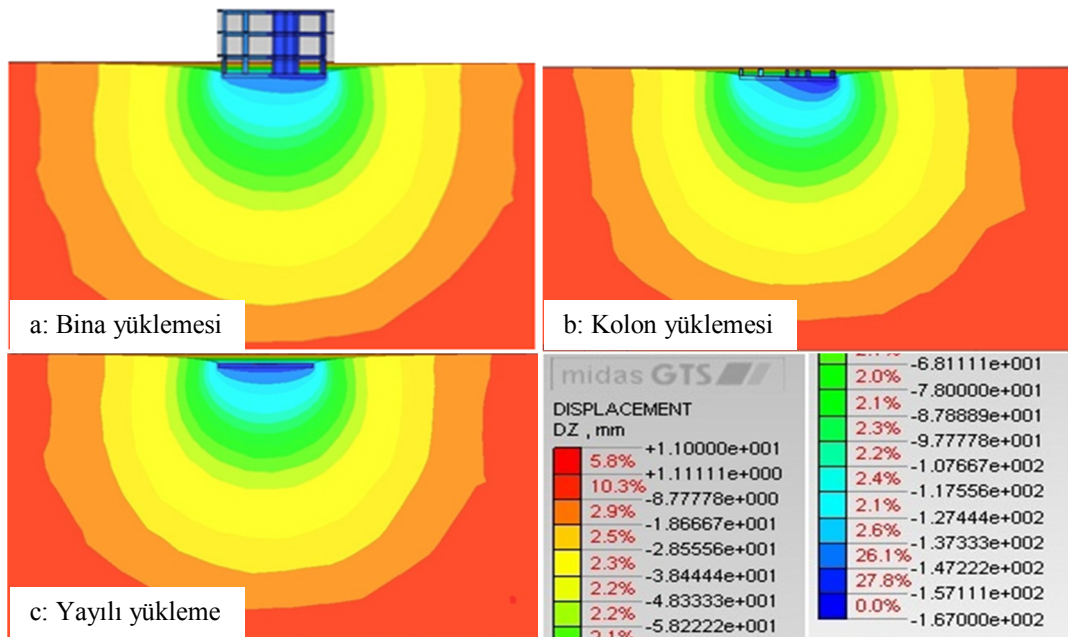
Şekil 5.2'de üç farklı yükleme için düşey deplasmanlar görülmektedir. Buna göre düşey deplasman değerlerinin yayılı yüklü ve bina yüklü çözümde hemen hemen aynı olduğu (150,9 mm ve 150,6 mm), kolon yüklü çözümde biraz daha fazla olduğu

(166,4 mm) görülmektedir. Burada dikkati çeken maksimum deplasman oluşan noktaların yerlerinin farklı olmasıdır.

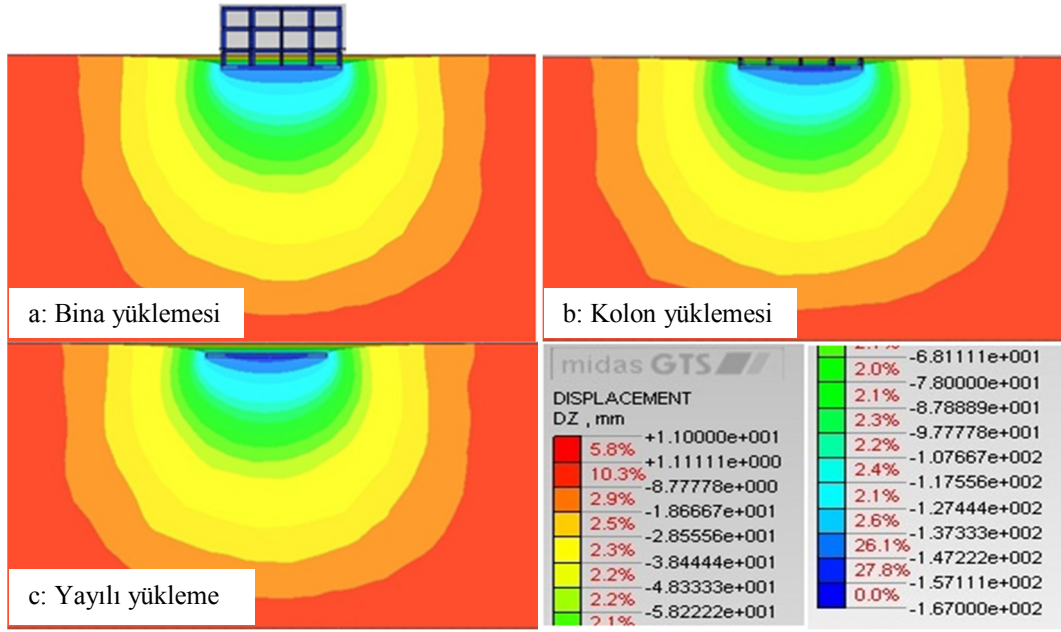


Şekil 5.2. 3D elemanlı modelde oluşan deplasmanlara ait görüntü

Şekil 5.3'te enine alınan bir kesitte, Şekil 5.4'te ise boy kesitte düşey deplasmanlar görülmektedir. Bu şekillerden kolon yüklü çözümde deplasmanların perde olan tarafta daha fazla gerçekleştiği görülmektedir.

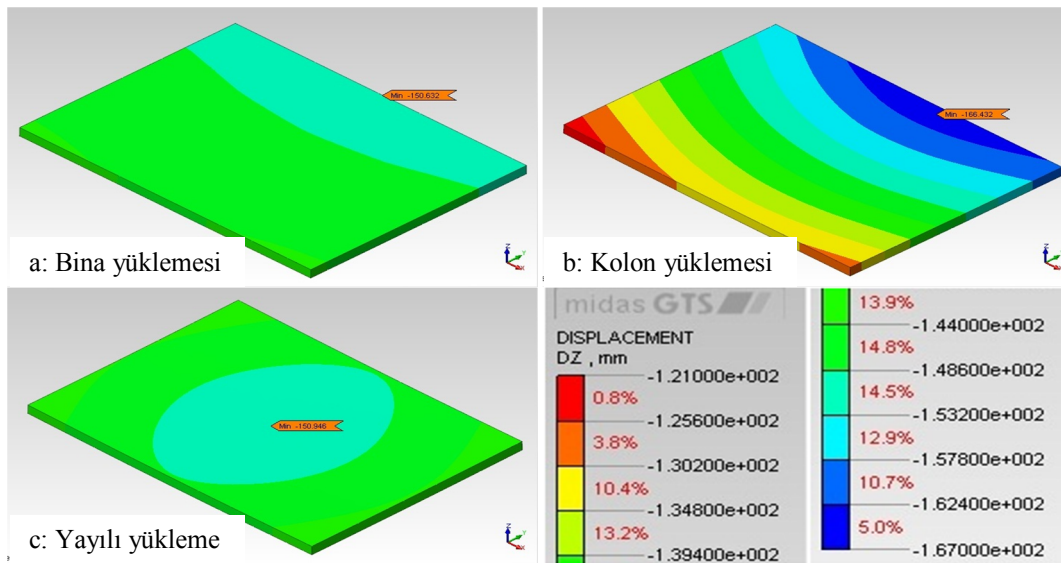


Şekil 5.3. 3D elemanlı modelde enkesit örneği



Şekil 5.4. 3D elemanlı modelde boykesit örneği

Şekil 5.5 temel plağında meydana gelen düşey deplasmanları göstermektedir. Buna göre yayılı yükleme ve bina yüklemesi durumunda düşey deplasmanlar birbirine çok yakın çıkarken 3 yükleme şeklinde de temelde oluşan maksimum deplasmanların farklı noktalarda meydana geldiği görülmektedir. Kolon yüklemesi sonrasında oluşan deplasmanlar, bu yükleme şeklinde farklı oturumların çok daha fazla olduğunu göstermektedir. Buradan yükleme şeklinin deplasmanlar üzerinde etkisi olduğu açık bir şekilde görülmektedir.

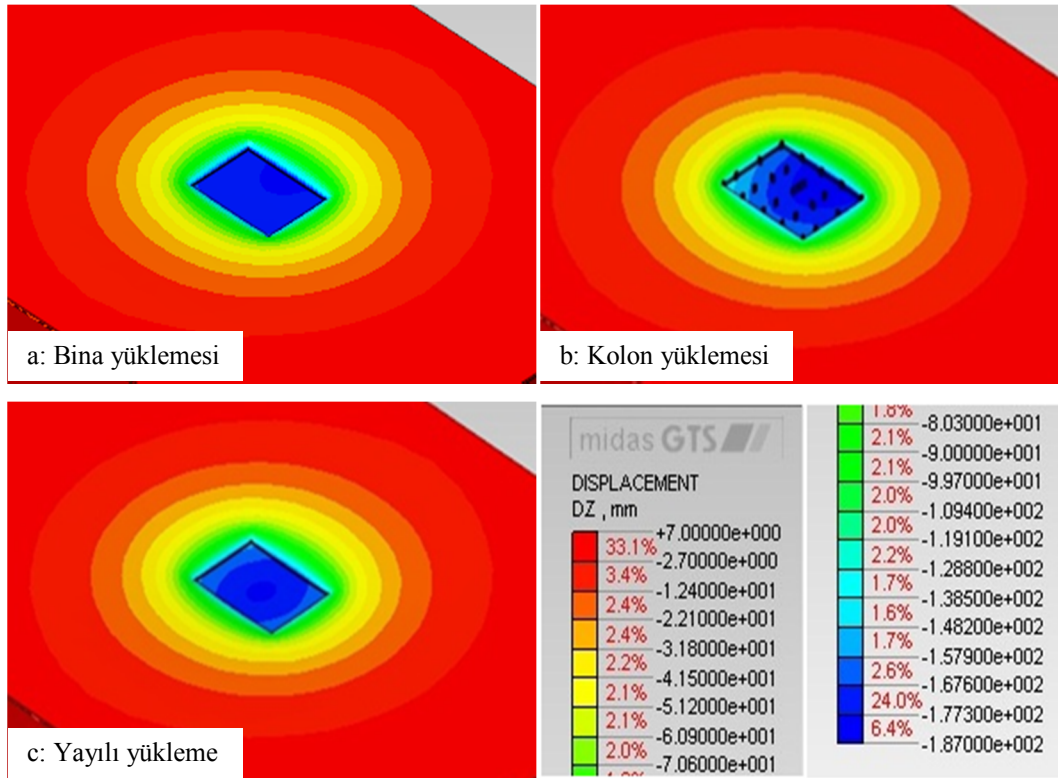


Şekil 5.5. 3D elemanlı modellerde 50 cm'lik temelde oluşan deplasmanlar

5.2. 2D Elemanlı Modele ait Görseller

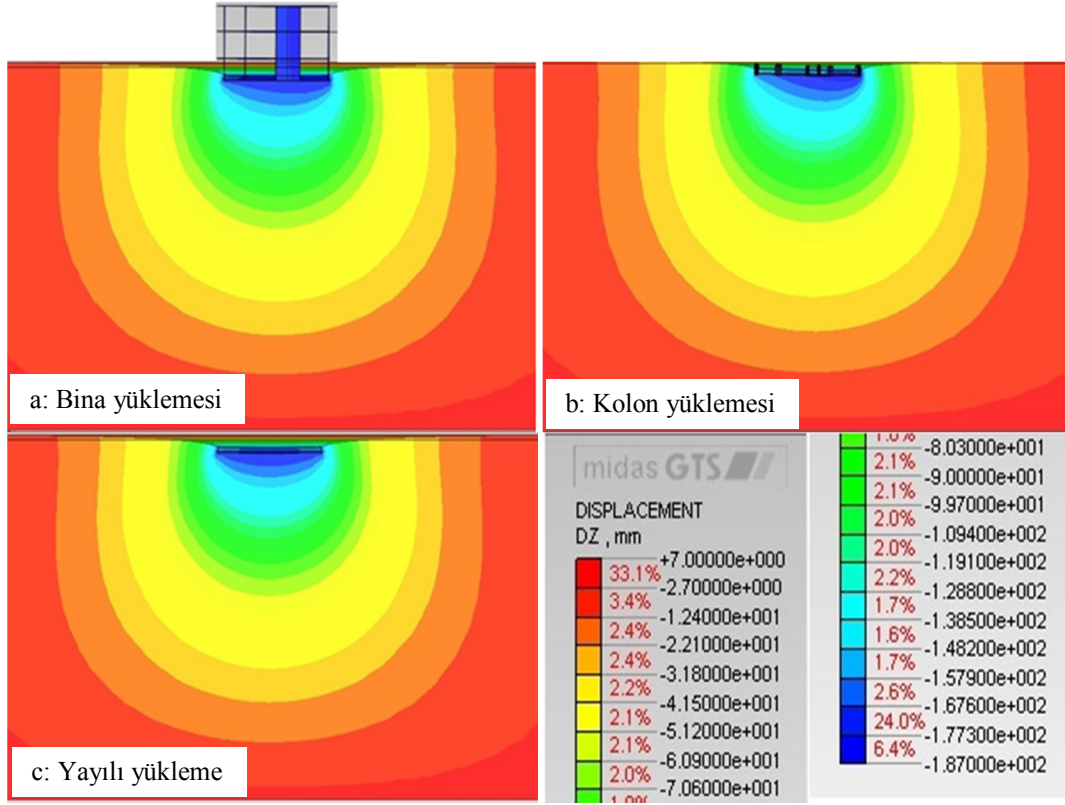
2D elemanlı modele ait; zeminde ve yapıda oluşan deplasmanların genel görünüşü, enine ve boyuna kesit görünüşleri, temelde oluşan deplasmanlara ait görünüşler sunulmaktadır.

Şekil 5.6'da üç farklı yükleme için düşey deplasmanlar görülmektedir. Buna göre düşey deplasman değerlerinin yayılı yüklü ve bina yüklü çözümde hemen hemen aynı olduğu (178,5 mm ve 179 mm), kolon yüklü çözümde biraz daha fazla olduğu (186,2 mm) görülmektedir. Burada da dikkati çeken maksimum deplasman oluşan noktaların yerlerinin farklı olmasıdır.

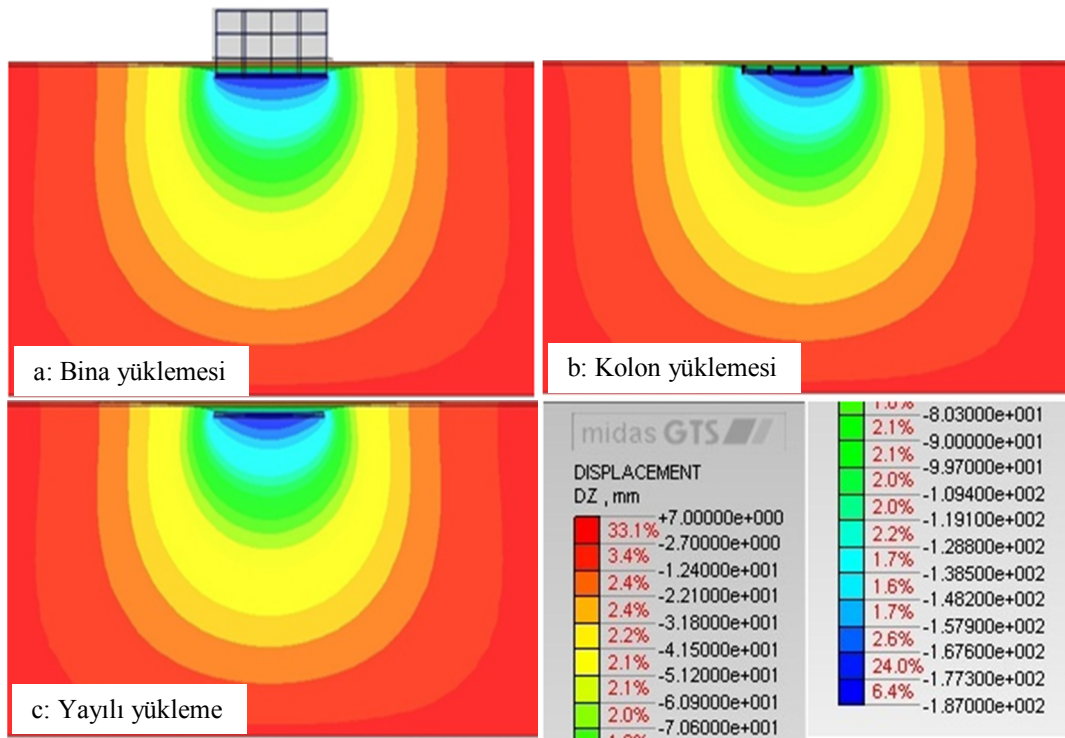


Şekil 5.6. 2D elemanlı modelde oluşan deplasmanlara ait görüntü

Şekil 5.7'de enine alınan bir kesitte, Şekil 5.8'de ise boy kesitte düşey deplasmanlar görülmektedir. Bu şekillerden bina ve kolon yüklü çözümde maksimum deplasmanların perde olan tarafta olduğu fakat kolon yüklemesinde daha fazla gerçekleştiği görülmektedir.

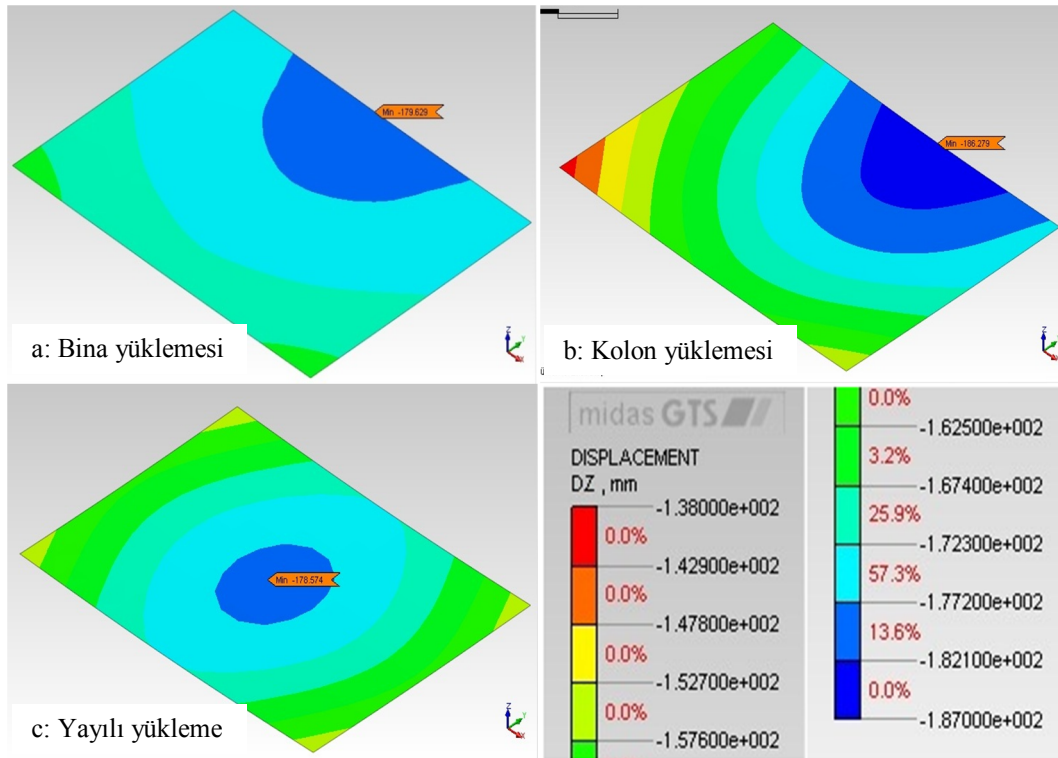


Şekil 5.7. 2D elemanlı modelde enkesit örneği



Şekil 5.8. 2D elemanlı modelde boykesit örneği

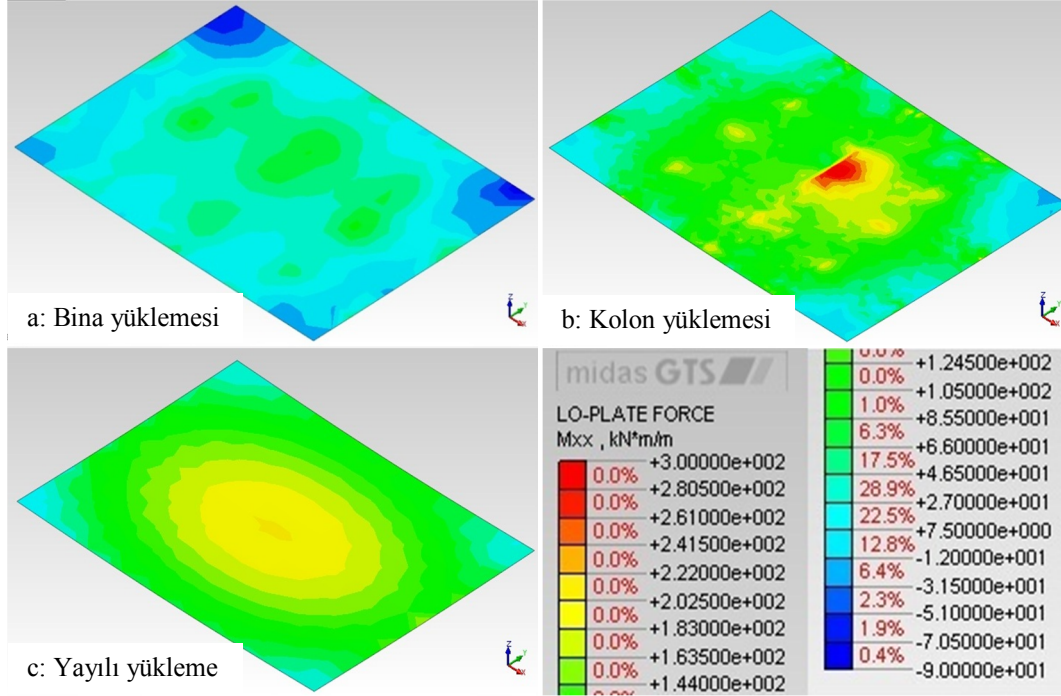
Şekil 5.9’da temel plağında meydana gelen düşey deplasmanlar gösterilmektedir. Bu sonuçlarda da elemanların üç boyutlu seçildiği modellerle benzer eğilimde sonuçlar çıkmıştır. Buna göre yayılı yüklemeye ve bina yüklemesi durumunda düşey deplasmanlar birbirine çok yakın çıkarken 3 yüklemeye şeklinde de temelde oluşan maksimum deplasmanların farklı noktalarda meydana geldiği görülmektedir. Kolon yüklemesi sonrasında oluşan deplasmanlar, bu yüklemeye şeklinde farklı oturumların çok daha fazla olduğunu göstermektedir. Buradan da yüklemeye şeklinin deplasmanlar üzerinde etkisi olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Ayrıca 3D elemandan oluşan temellerle karşılaştırıldığında 2D elemandan oluşan temellerin toplam oturumlarının daha fazla olduğu ve farklı oturumların da özellikle bina ve yayılı yük altındaki temellerde arttığı görülmektedir.



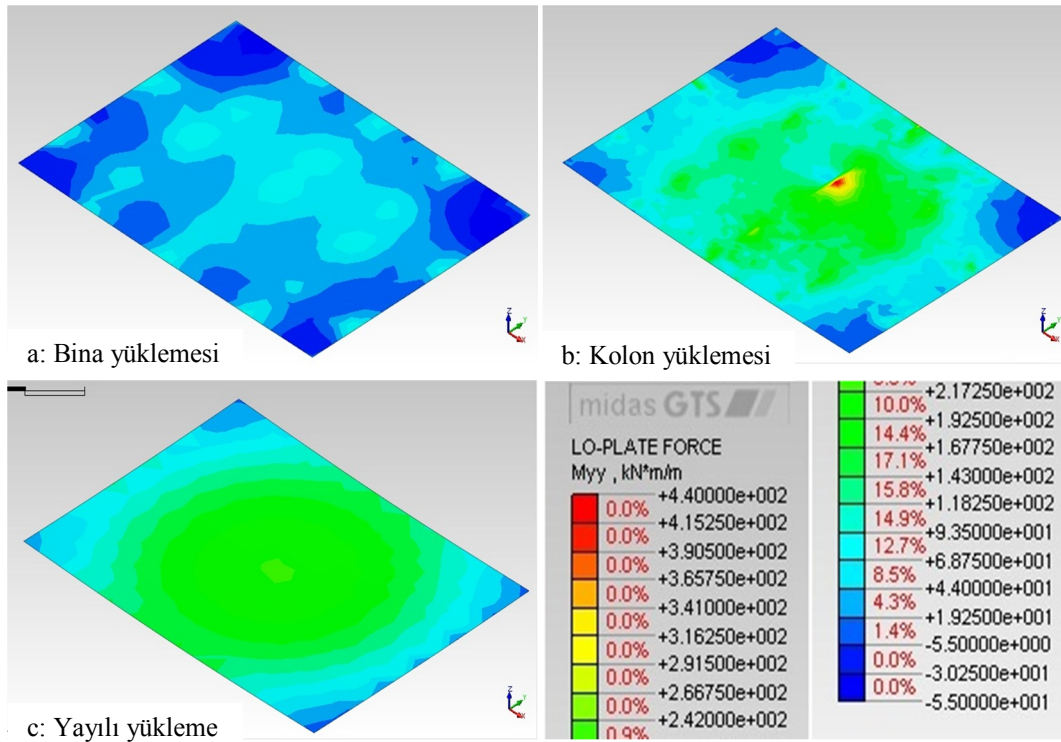
Şekil 5.9. 2D elemanlı modelde 50 cm’lik temelde oluşan deplasmanlar

2D elemanlı modellerde, 3D elemanlı modellemelerde elde edilemeyen eğilme momenti değerleri de görülebilmektedir. Şekil 5.10’da temel plağında oluşan M_{xx} , Şekil 5.11’de de M_{yy} eğilme momentleri ile Şekil 5.12’de M_{xy} burulma momentleri görülmektedir. Şekillere bakıldığında en büyük farklılığın yayılı yüklemeye, kolon

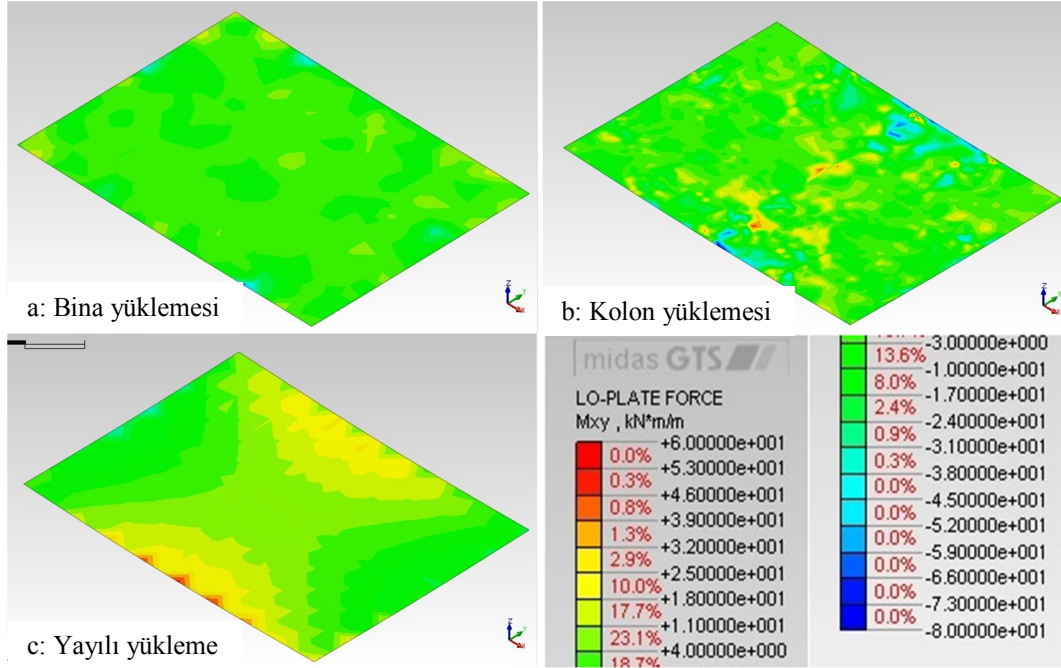
ve bina yüklemesinden farklı olarak maksimum momentlerin perdelerin olduğu yerlerden bağımsız olarak oluşmasıdır.



Şekil 5.10. 2D elemanlı modelde temelde oluşan M_{xx} momentleri



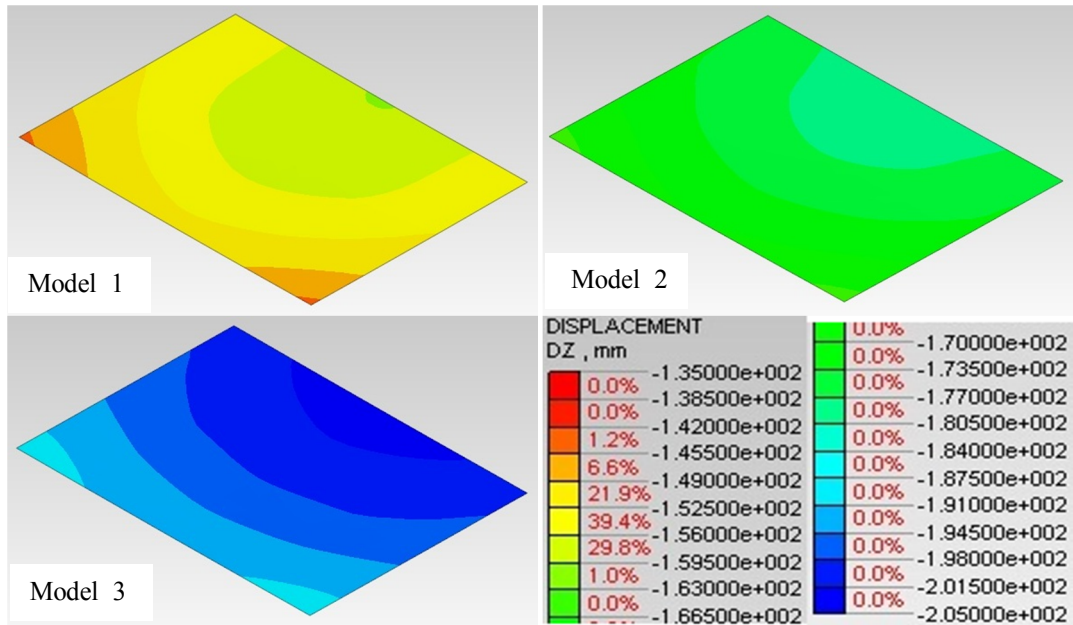
Şekil 5.11. 2D elemanlı modelde temelde oluşan M_{yy} momentleri



Şekil 5.12. 2D elemanlı modelde temelde oluşan M_{xy} momentleri

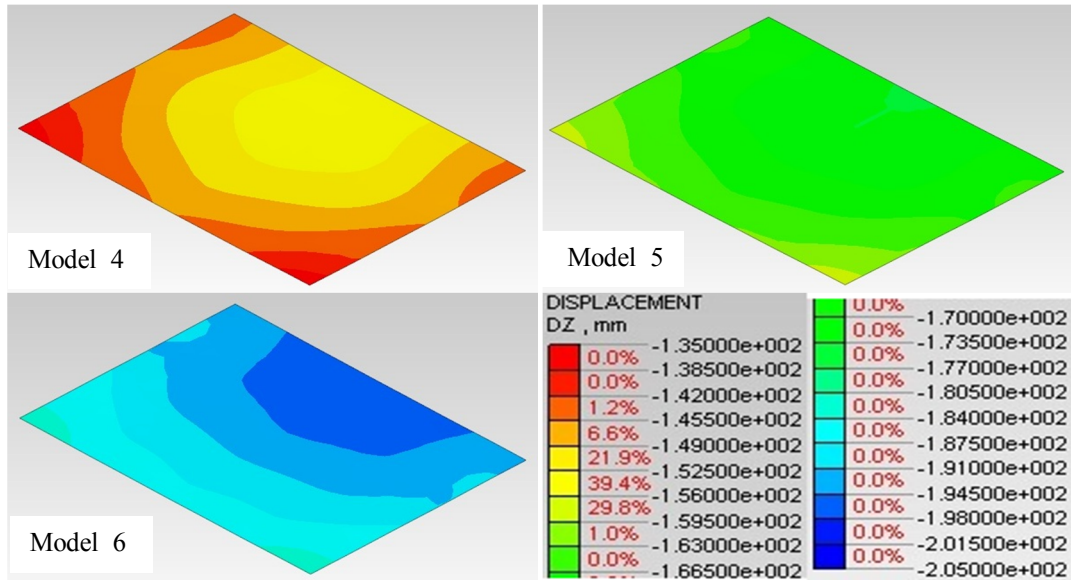
5.2.1. Üstyapı eleman boyutlarının değiştirildiği modellere ait görseller

Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'te üstyapı eleman boyutlarının değiştirilerek yapıldığı çözümlerde toplam oturmalara ait görseller sunulmaktadır. Buna göre boyutların artması bina ağırlığını arttırdığından toplam oturmaların arttığı görülmektedir.



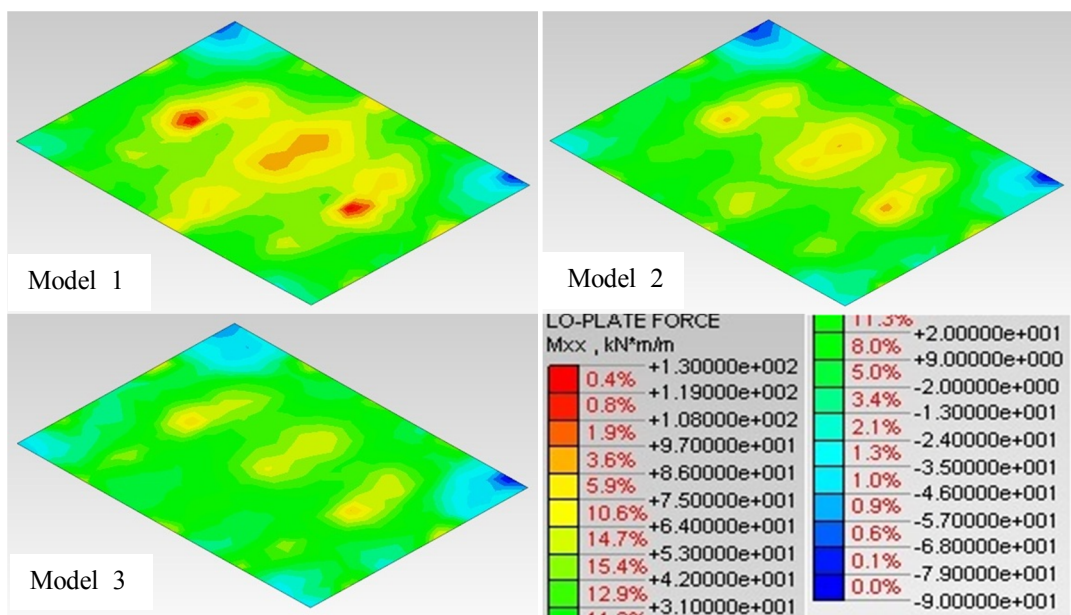
Şekil 5.13. 50 cm'lik temelde oluşan düşey deplasmanlar

Şekil 5.14'e bakıldığında ise temel kalınlığının azaltılması ile temelde oluşan deplasman dağılımlarının Şekil 5.13'teki deplasman dağılımlarından farklı olduğu ve 50 cm kalınlığındaki temelde oluşan toplam oturmaların daha fazla olduğu gösterilmektedir.

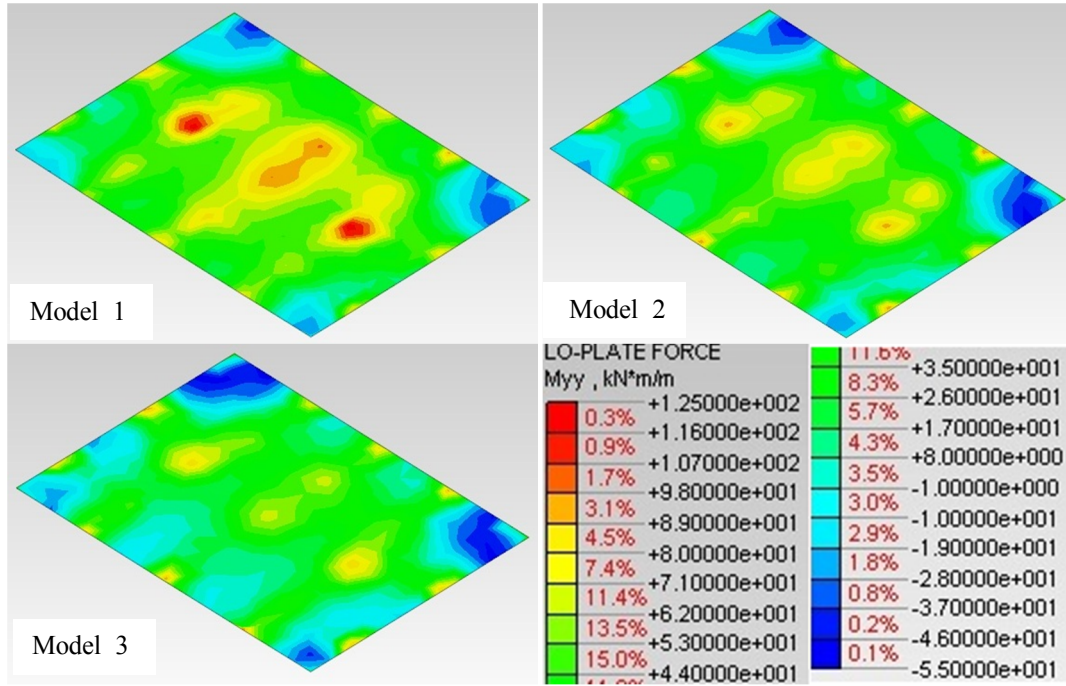
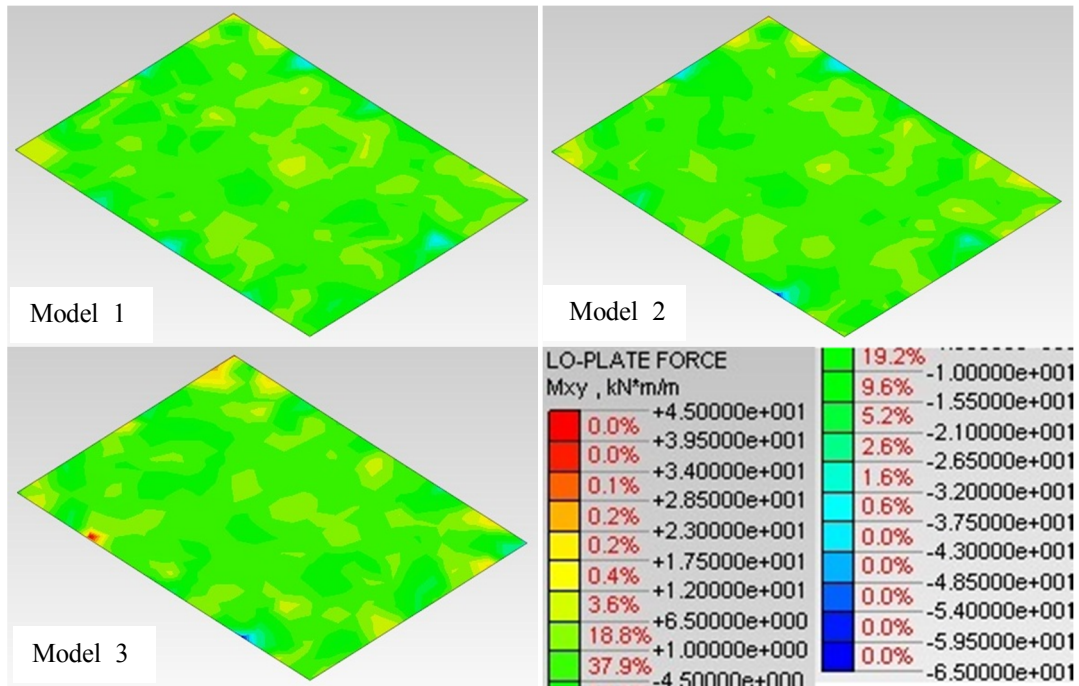


Şekil 5.14. 30 cm'lik temelde oluşan düşey deplasmanlar

Şekil 5.15'te temel plağında oluşan M_{xx} , Şekil 5.16'da da M_{yy} eğilme momentleri ile Şekil 5.17'de M_{xy} burulma momentleri görülmektedir.



Şekil 5.15. Temelde oluşan M_{xx} momentleri

Şekil 5.16. Temelde oluşan M_{yy} momentleriŞekil 5.17. Temelde oluşan M_{xy} momentleri

Şekillere bakıldığında en büyük momentlerin, üstyapı eleman boyutlarının azaltılmasıyla oluşturulan Model 1'de gerçekleştiği ve eleman boyutlarının

büyümesiyle temelde oluşan moment değerlerinin azaldığı fakat maksimum momentlerin oluştuğu bölgelerin değişmediği görülmektedir.

5.3. Sonuçların Değerlendirilmesi

5.3.1. Düşey deplasmanların değerlendirilmesi

Tablo 5.1'de yapılan birinci çalışmaya ait çözümlerin deplasman sonuçları özetlenmektedir.

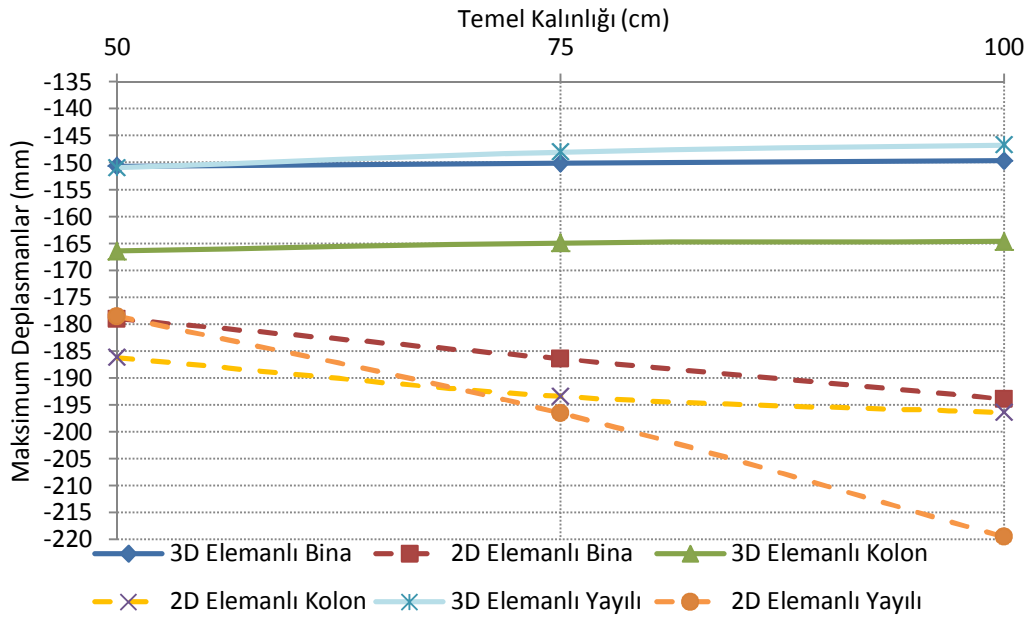
Tablo 5.1. Birinci çalışmaya ait çözümlerdeki toplam ve farklı oturmalar

				Oturma (mm)	Yükleme Şekli								
					Bina Yüklemesi			Kolon Yüklemesi			Yayılı Yükleme		
					Temel Kalınlığı			Temel Kalınlığı			Temel Kalınlığı		
					50 cm	75 cm	100 cm	50 cm	75 cm	100 cm	50 cm	75 cm	100 cm
Modelleme Şekli	3D Elemanlı Model	Zemin türü	Zemin A	Δ_{max}	150,6	150,1	149,6	166,4	164,9	164,6	150,9	148	146,7
			$\delta\Delta_{max}$	7,2	7,4	6,7	44,4	42,1	41,5	10,2	5,7	3,5	
		Zemin B	Δ_{max}	59,8	59,3	59	67,2	65,8	65,1	62,2	60	58,7	
		$\delta\Delta_{max}$	3,3	3,2	3,1	20,8	18,6	17,6	8,8	5,2	3,3		
	2D Elemanlı Model	Zemin türü	Zemin A	Δ_{max}	179,6	186,9	194,2	186,2	193,4	196,4	178,5	196,5	219,5
			$\delta\Delta_{max}$	14,5	13	11,7	46,5	38,7	34,1	24,9	10,1	5,2	
		Zemin B	Δ_{max}	72,9	75,4	78,1	76,2	77,8	77,8	75,9	81	89,1	
		$\delta\Delta_{max}$	8,5	7	6	24	17,8	14	19	9	4,9		

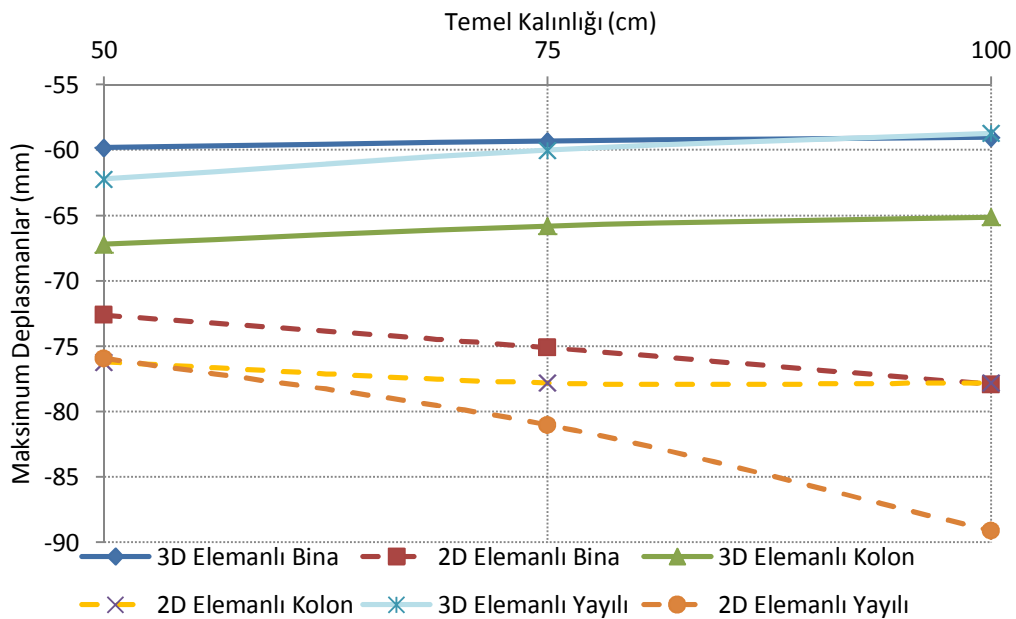
Yükleme şekillerinin temel kalınlıklarına göre oluşturdukları düşey deplasmanlar incelendiğinde 3D elemanlı modellemelerde bina yüklemesinde belirgin bir değişim gözlenmezken kolon ve yayılı yüklemelerde azalma görülmektedir. 2D elemanlı modellemelerde ise toplam oturmalar artarken farklı oturmalarda azalma olduğu görülmektedir (Şekil 5.18 ve Şekil 5.19). Temel plağının üç boyutlu modellenmesi durumunda bu etkinin aynı değerde görülmemesine plak kalınlığının getirdiği rijitliğin neden olduğu, ayrıca 2D elemanlı çözümlerde toplam oturma değerlerinin

artışına gömme derinliği etkisinin dikkate alınmamasının neden olduğu düşünülmektedir.

Şekil 5.18 ve Şekil 5.19'a bakıldığında zemin görece sağlamlaştığında toplam oturmaların azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.18. Zemin A'da oluşan toplam oturmaların temel kalınlığına göre değişimi

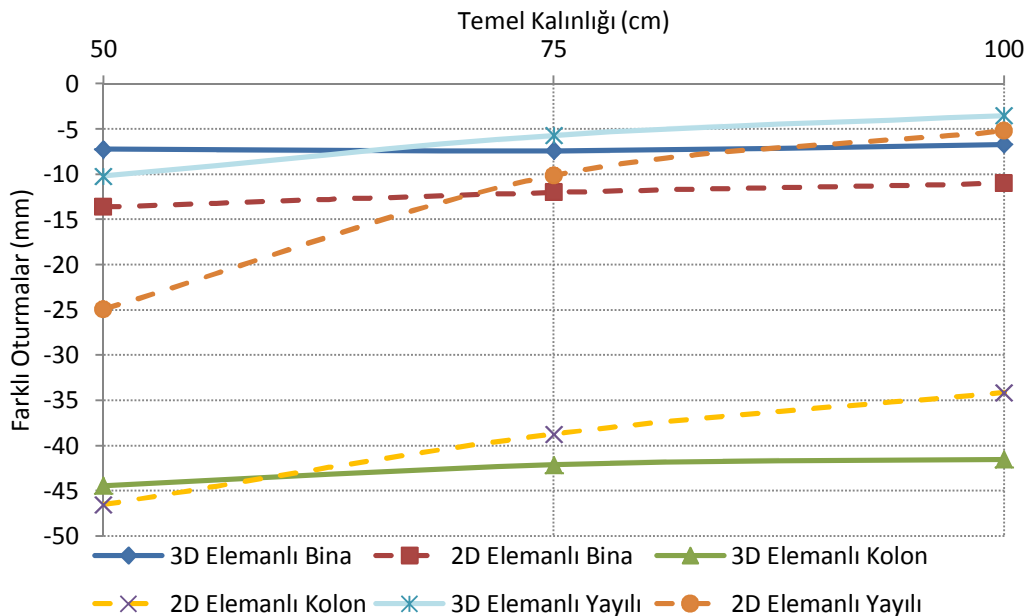


Şekil 5.19. Zemin B'de oluşan toplam oturmaların temel kalınlığına göre değişimi

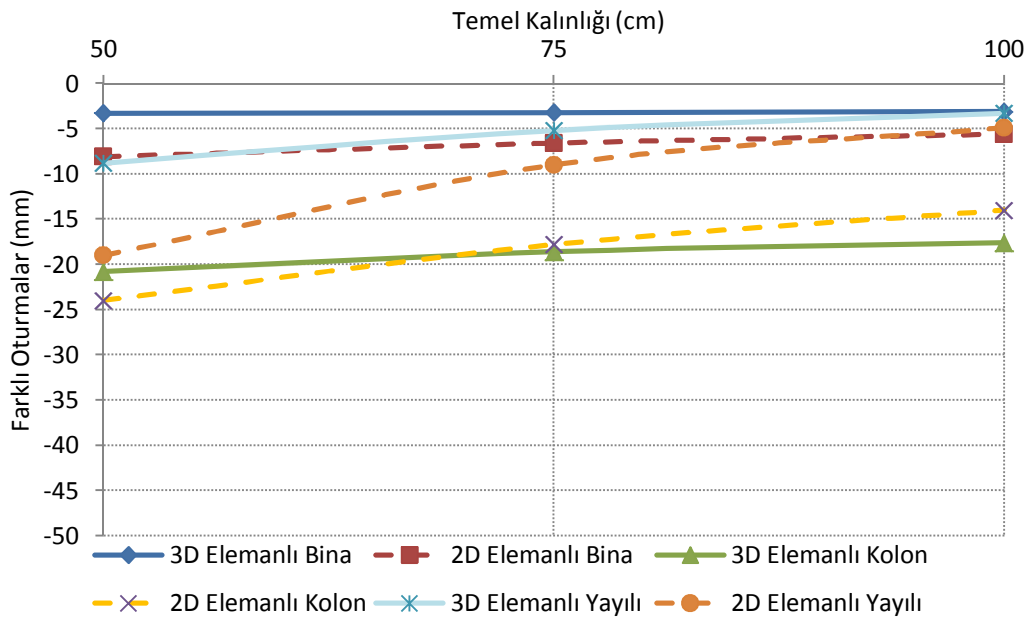
Farklı oturmalara bakıldığında her iki zemin koşulunda tüm çözümlerde temel kalınlığı arttıkça farklı oturmalarda azaldığı görülmektedir (Şekil 5.20 ve Şekil 5.21). Ancak 3D bina ve kolon çözümlerinde temel kalınlığı arttıkça farklı oturmalar büyük azalım göstermezken yayılı yük çözümünde 50 cm kalınlığındaki temelde farklı deplasmanlar 10,2 mm iken 1 m kalınlığındaki temelde bu değer 3,5 mm olmuştur. Her türlü bina yüklemesinde sistemin rijitliğinin arttığı ve farklı deplasmanların azaldığı anlaşılmaktadır.

2D elemanlarla yapılan kolonlu çözümlerde modelde rijitliğin kolonların olmasından çok temel kalınlığının artmasına bağlı olduğu ve yayılı yüklemeye benzer davranış gösterdiği düşünülmektedir.

Zemin özellikleri açısından bakıldığında zemin iyileştikçe farklı oturmalarda en büyük azalmanın bina ve kolon yüklemelerinde görüldüğü, yayılı yüklemeye bu etkinin sınırlı kaldığı anlaşılmaktadır (Şekil 5.20 ve Şekil 5.21).



Şekil 5.20. Zemin A'da oluşan farklı oturmalarda temel kalınlığına göre değişimi

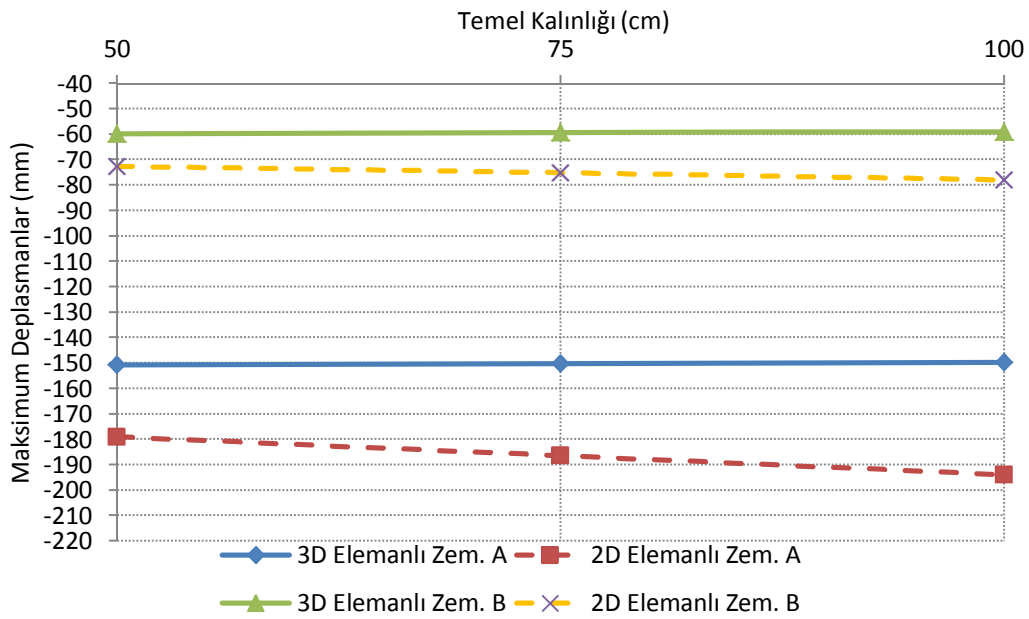


Şekil 5.21. Zemin B’de oluşan farklı oturmaların temel kalınlığına göre değişimi

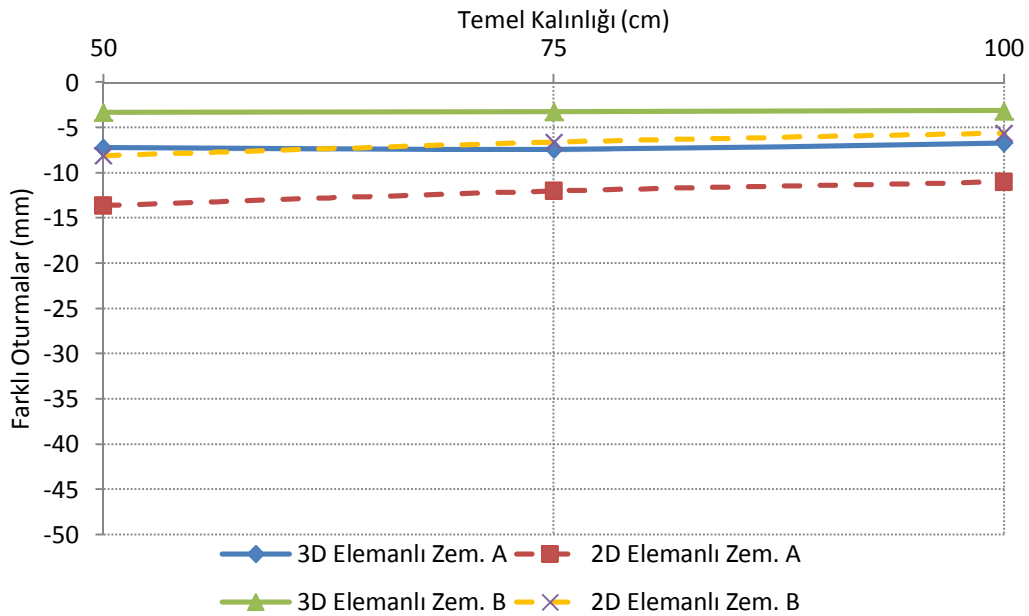
Bina yüklemesi ile oluşan deplasmanlara bakıldığında zemin özelliği iyileştiğinde toplam ve farklı oturmaların azaldığı görülmektedir.

Şekil 5.22 ve Şekil 5.23'te bina yüklemesi altında temelde oluşan toplam oturmalar ile farklı oturmalar incelendiğinde 3D elemanlı çözümlerde temel kalınlığı arttıkça toplam ve farklı oturmalarda azalma eğilimi gözlenmektedir.

2D elemanlı çözümde ise temel kalınlığına bağlı olarak toplam oturmalarda artış, farklı oturmalarda ise azalma olduğu gözlemlenmektedir. 2D elemanlı çözümlerde toplam ve farklı oturmaların 3D elemanlı çözümlere göre daha fazla çıktığı anlaşılmaktadır.



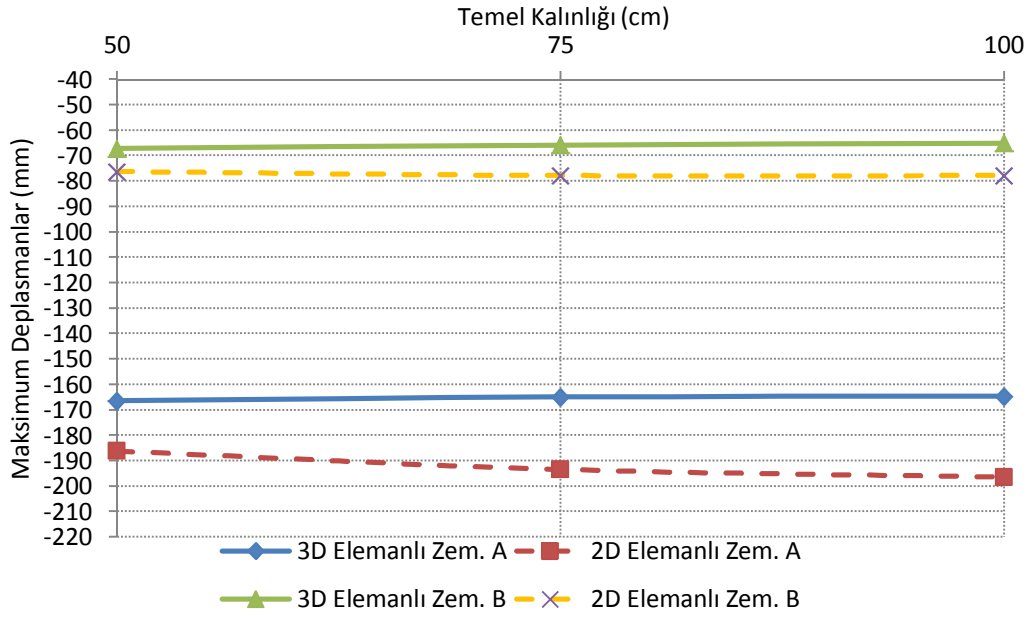
Şekil 5.22. Bina yüklemesi altında oluşan toplam oturmaların temel kalınlığına göre değişimi



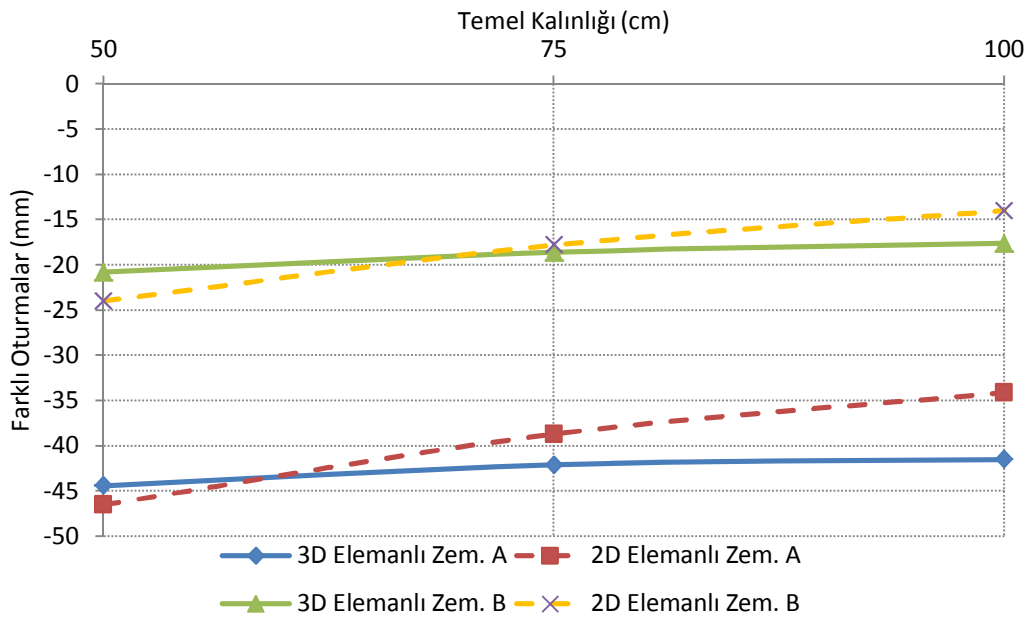
Şekil 5.23. Bina yüklemesi altında oluşan farklı oturmaların temel kalınlığına göre değişimi

Kolon yüklemesinde momentler uygulandığı kolonda bölgesel etki yaptığından yani yüklenen kolon diğer taşıyıcı elemanlardan bağımsız çalıştığı için deplasman sonuçları çok daha büyük çıkmaktadır. Şekil 5.24'e bakıldığında kolon yüklemesi altında 2D elemanlı çözümlerde temelde oluşan toplam oturmaların 3D elemanlı çözümlere göre daha fazla gerçekleştiği ve 3D elemanlı çözümlerde temel kalınlığına

bağlı olarak az miktarda da olsa azalma olduğu görülmektedir. Ayrıca 2D elemanlı çözümlerde temel kalınlığının artmasının özellikle zemin A'da toplam oturmaların da artmasına neden olduğu görülmektedir. Şekil 5.25'e bakıldığında özellikle 2D elemanlı çözümde temel kalınlığının artmasının toplam oturmada gösterdiği davranışın aksine farklı oturmalarda azalmalara neden olduğu anlaşılmaktadır.

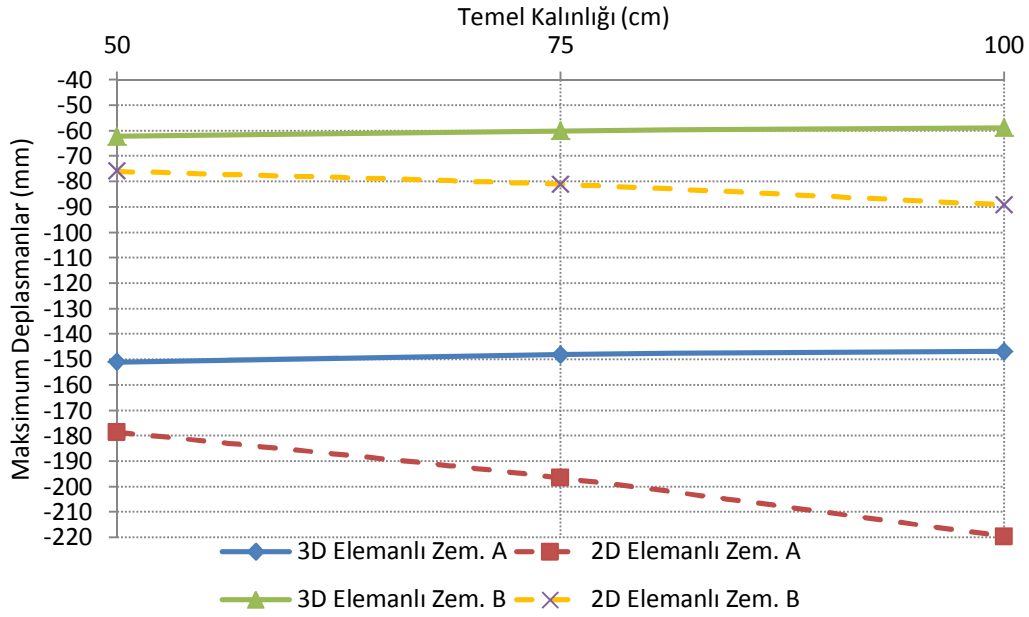


Şekil 5.24. Kolon yüklemesi altında oluşan toplam oturumların temel kalınlığına göre değişimi

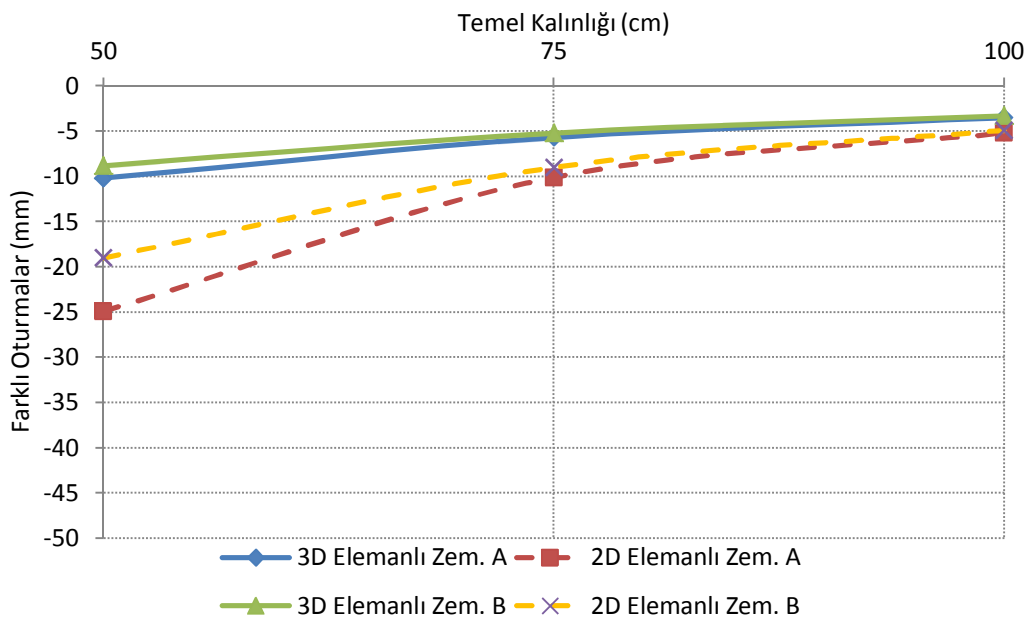


Şekil 5.25. Kolon yüklemesi altında oluşan farklı oturumların temel kalınlığına göre değişimi

Şekil 5.26 ve Şekil 5.27'ye bakıldığında yayılı yüklemelerde oluşan toplam oturumların 3D elemanlı modellemede temel kalınlığına bağlı olarak azaldığı, 2D elemanlı modellemede ise arttığı görülmektedir. Farklı oturumlarda 3D elemanlı modeller arasında çok büyük farklar oluşmazken 2D elemanlı modellemelerde bu fark daha belirgindir.

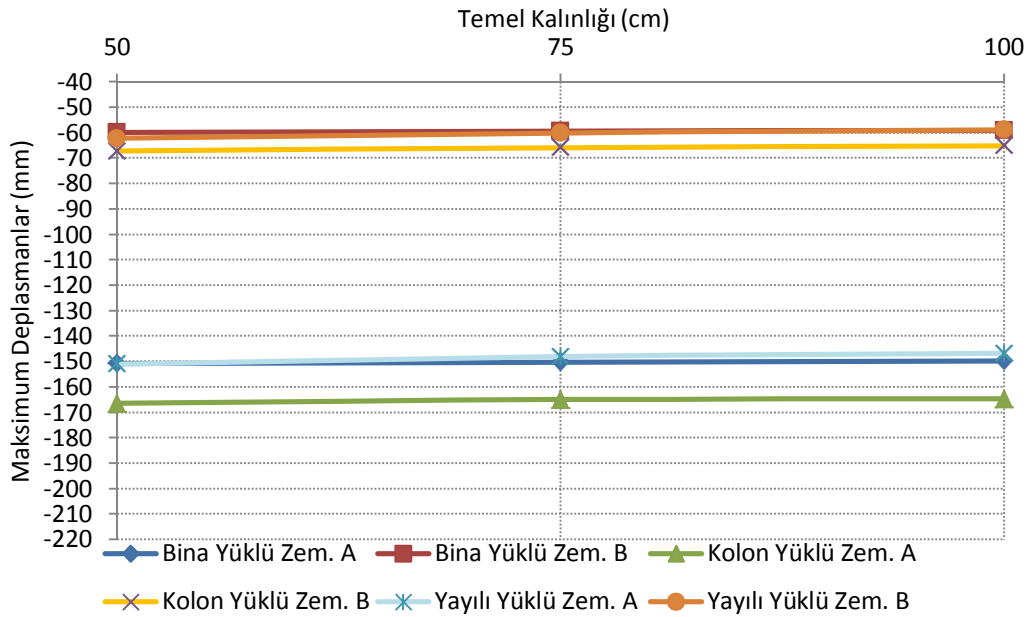


Şekil 5.26. Yayılı yüklemelerde oluşan toplam oturumların temel kalınlığına göre değişimi

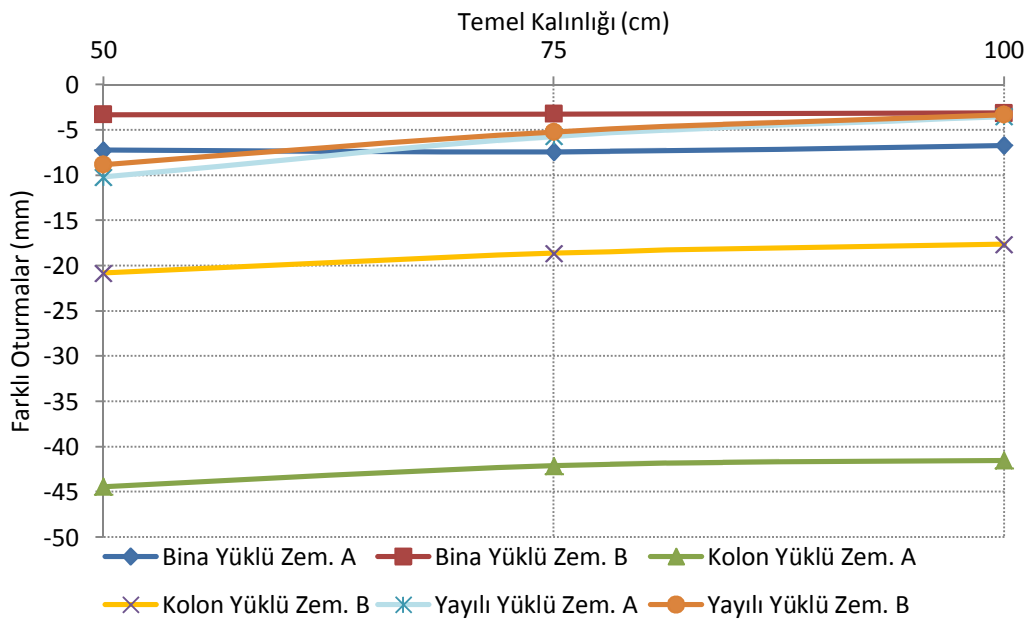


Şekil 5.27. Yayılı yüklemelerde oluşan farklı oturumların temel kalınlığına göre değişimi

3D elemanlı modellemeler arasında toplam oturmalara bakıldığında temel kalınlığına göre çok büyük değişimler olmazken, farklı oturmalarda kolon ve yayılı yüklü modellerde azalmaların daha belirgin olduğu ve modeller arasındaki farklı oturma miktarının da özellikle yayılı yük altında daha fazla gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 5.28 ve Şekil 5.29).

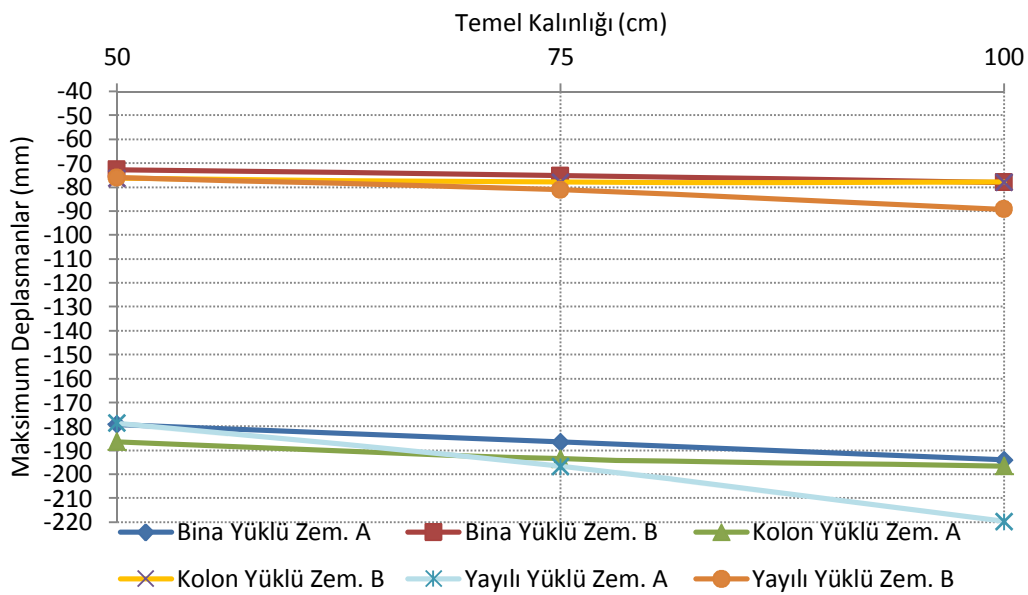


Şekil 5.28. 3D elemanlı modelde oluşan toplam oturumların temel kalınlığına göre değişimi

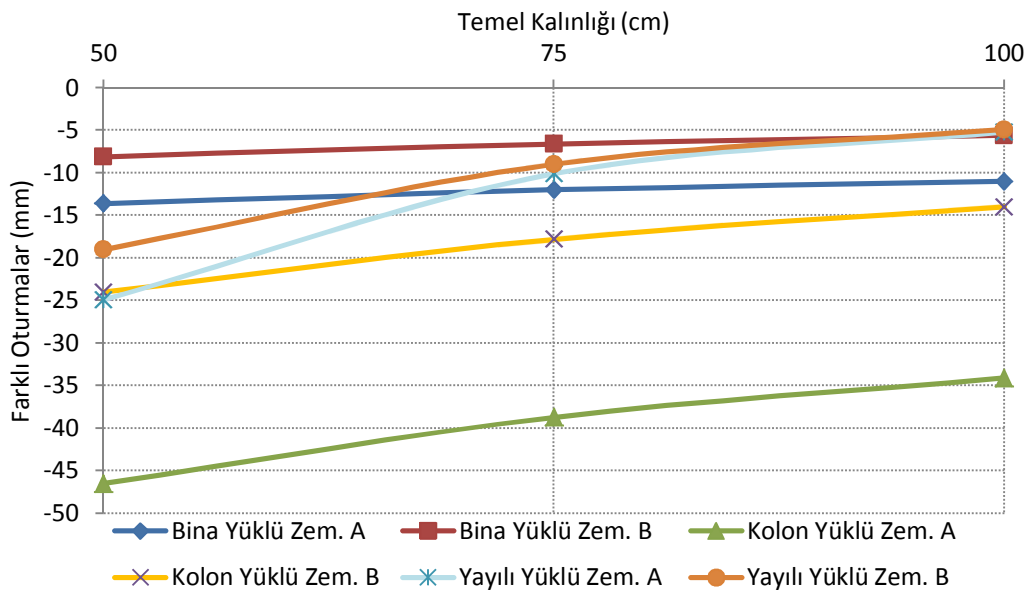


Şekil 5.29. 3D elemanlı modelde oluşan farklı oturumların temel kalınlığına göre değişimi

Şekil 5.30'da görülebileceği gibi tüm yüklemelerde temellerin kalınlıkları arttıkça toplam deplasmanların da arttığı gözlemlenmektedir. Şekil 5.31'e bakıldığında ise tüm modellerde farklı oturmalar temel kalınlığına göre azalma göstermektedir. Kolon yüklü modelde farklı oturmaların diğer modellemelere göre daha fazla çıktığı ve zemin tipinin değişmesinden de en fazla etkilenen çözümün kolon yüklü temel olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5.30. 2D elemanlı modelde oluşan toplam oturmaların temel kalınlığına göre değişimi



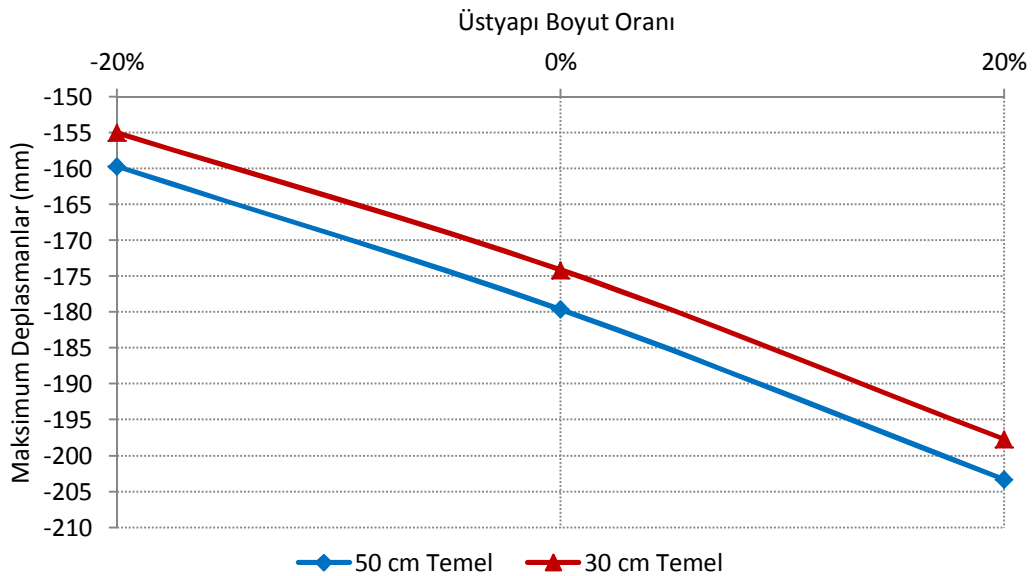
Şekil 5.31. 2D elemanlı modelde oluşan farklı oturmaların temel kalınlığına göre değişimi

Tablo 5.2’de ikinci çalışmaya ait çözümlerin deplasman sonuçları özetlenmektedir.

Tablo 5.2. İkinci çalışmaya ait çözümlerdeki toplam ve farklı oturmalar

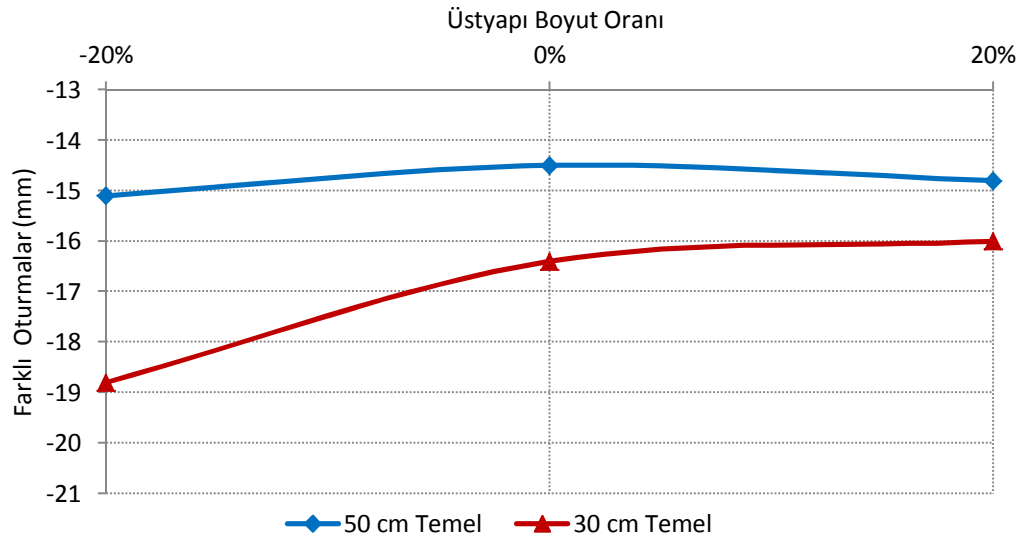
Temel 50 cm	2D Bina Yüklemesi			Temel 30 cm	2D Bina Yüklemesi		
	Oturma (mm)	Model 1	Model 2		Model 3	Oturma (mm)	Model 4
Δ_{\max}	159,7	179,6	203,3	Δ_{\max}	155	174,1	197,7
$\delta\Delta_{\max}$	15,1	14,5	14,8	$\delta\Delta_{\max}$	18,8	16,4	16

Şekil 5.32 ve Şekil 5.33’te temelde oluşan toplam oturmalar ile farklı oturmalar incelendiğinde toplam oturmaların üstyapı eleman boyutlarındaki değişime bağlı olarak arttığı, farklı oturmaların ise azaldığı görülmektedir. Temel kalınlığı arttıkça toplam oturmalarda artış görülürken farklı oturmalarda ise azalma olduğu gözlenmektedir.



Şekil 5.32. Temellerde oluşan toplam oturmalar

Şekil 5.32’ye bakıldığında toplam oturmalar açısından temel kalınlıkları arasında seçim yapılabileceği fakat Şekil 5.33’e bakıldığında yapılacak bu seçimin farklı oturmalarda değişiklik meydana getireceği görülmektedir.



Şekil 5.33. Temellerde oluşan farklı oturmalar

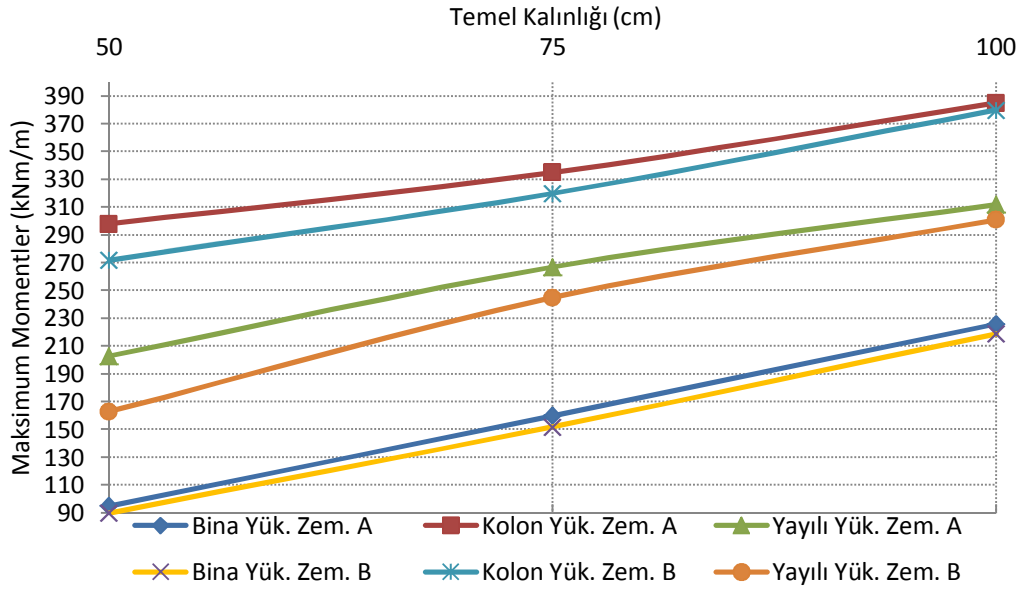
5.3.2. Temelde Oluşan Momentlerin Değerlendirilmesi

Tablo 5.3'te farklı yüklemeler altındaki temellerde meydana gelen moment değerleri verilmektedir.

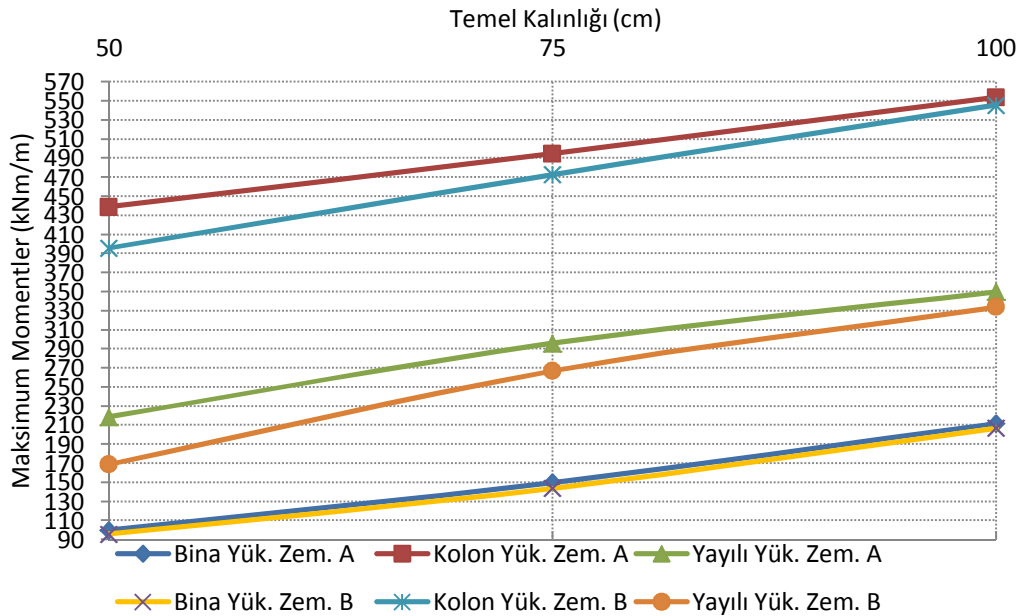
Tablo 5.3. Birinci çalışmaya ait temellerdeki momentler

Zemin A	Bina Yüklemesi			Kolon Yüklemesi			Yayılı Yükleme		
Temel Kalınlığı :	50 cm	75 cm	100 cm	50 cm	75 cm	100 cm	50 cm	75 cm	100 cm
M_{xx} (kNm/m)	87	91	68	16	20	17	13	16	19
	95	160	226	298	335	385	203	267	312
M_{yy} (kNm/m)	52	50	35	22	34	0,06	6	5	5
	100	150	212	439	495	554	219	296	350
M_{xy} (kNm/m)	60	73	81	78	96	115	35	44	50
	28	22	33	54	60	71	49	72	87
Zemin B	Bina Yüklemesi			Kolon Yüklemesi			Yayılı Yükleme		
Temel Kalınlığı :	50 cm	75 cm	100 cm	50 cm	75 cm	100 cm	50 cm	75 cm	100 cm
M_{xx} (kNm/m)	81	87	66	16	18	3	12	16	19
	90	152	219	272	320	380	163	245	301
M_{yy} (kNm/m)	50	48	34	20	31	3	7	5	5
	96	144	207	396	473	546	169	267	334
M_{xy} (kNm/m)	57	70	79	58	86	111	29	42	50
	28	22	31	44	55	69	33	62	81

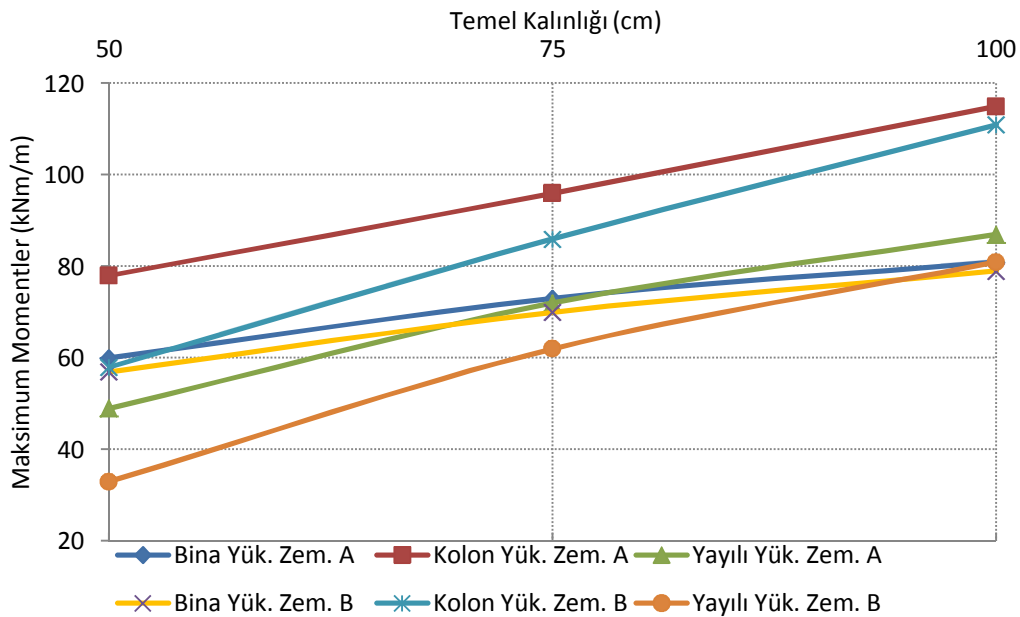
Şekil 5.34 ile 5.35'teki eğilme momenti grafikleri ile Şekil 5.36'daki burulma momenti grafiği incelendiğinde 2D elemanlı tüm modellemelerde temel kalınlığının artmasıyla maksimum moment değerlerinin de arttığı görülmektedir.



Şekil 5.34. 2D elemanlı modelde oluşan M_{xx} momentlerinin temel kalınlığına göre değişimi



Şekil 5.35. 2D elemanlı modelde oluşan M_{yy} momentlerinin temel kalınlığına göre değişimi



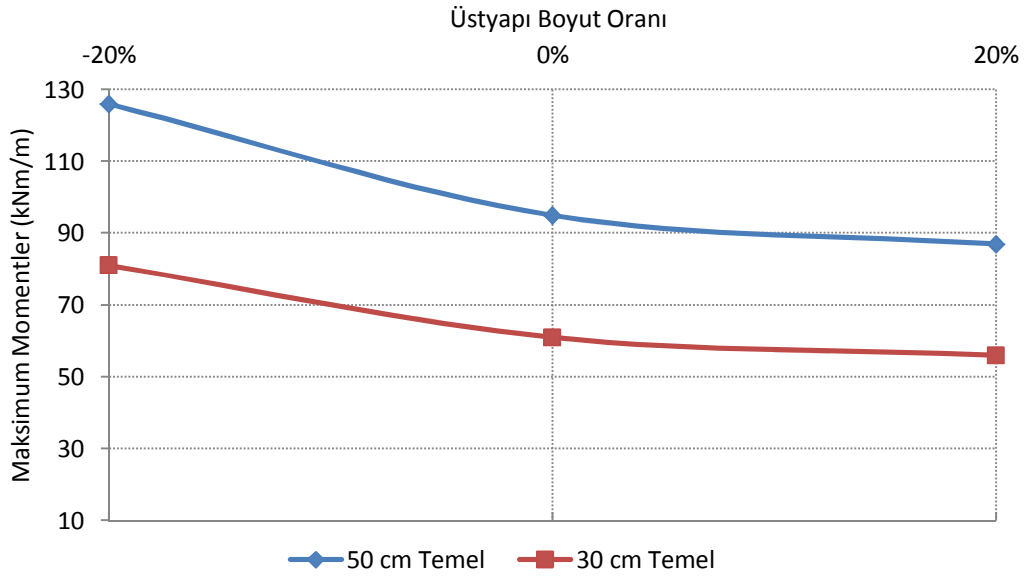
Şekil 5.36. 2D elemanlı modelde oluşan M_{xy} momentlerinin temel kalınlığına göre değişimi

Tablo 5.4'te ikinci çalışmaya ait temelerde meydana gelen moment değerleri verilmektedir.

Tablo 5.4. İkinci çalışmaya ait temelerdeki momentler

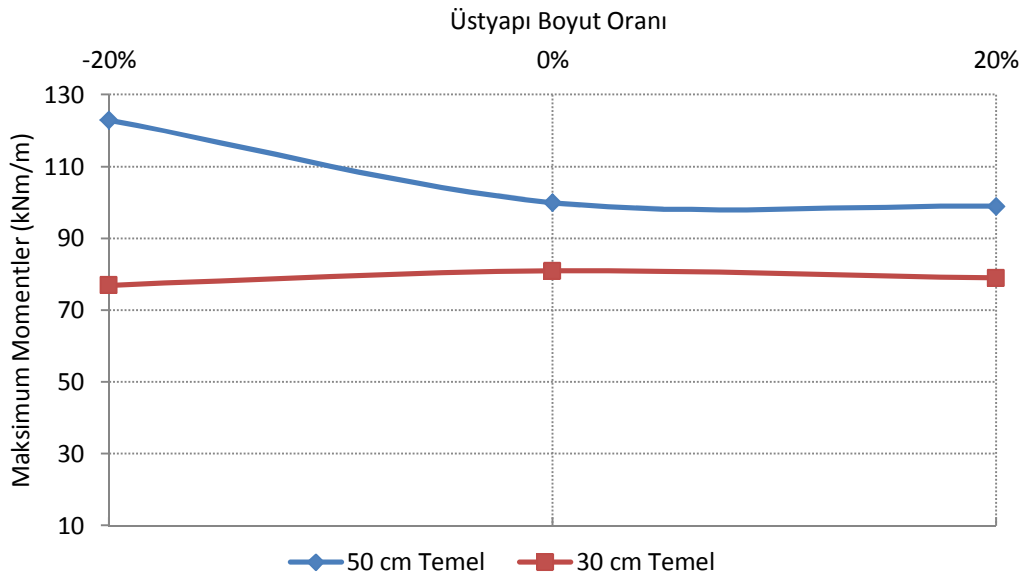
Temel 50 cm	2D Bina Yükleme			Temel 30 cm	2D Bina Yükleme		
	Model 1	Model 2	Model 3		Model 4	Model 5	Model 6
M_{xx} (kNm/m)	126	95	87	M_{xx} (kNm/m)	81	61	56
	-77	-87	-84		-52	-47	-38
M_{yy} (kNm/m)	123	100	99	M_{yy} (kNm/m)	77	81	79
	-46	-52	-52		-47	-53	-50
M_{xy} (kNm/m)	30	28	43	M_{xy} (kNm/m)	26	20	25
	-36	-60	-61		-27	-40	-37

Şekil 5.37'ye bakıldığında her iki temel kalınlığında da üstyapı eleman boyutlarının artmasıyla M_{xx} momentlerinin azaldığı görülmektedir.



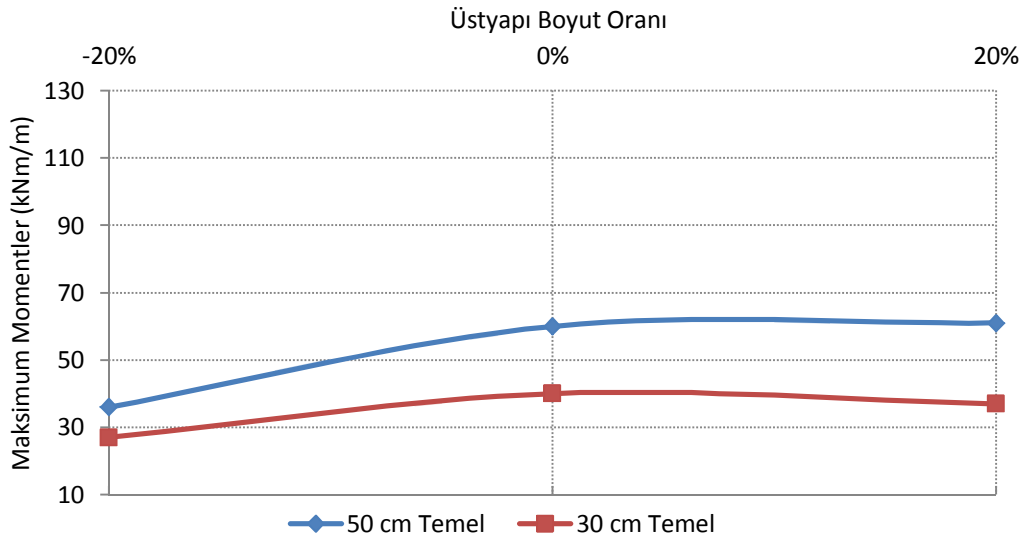
Şekil 5.37. Temelde oluşan M_{xx} momentlerinin üstyapı eleman boyutuna göre değişimi

Şekil 5.38’de M_{yy} momentlerinin 50 cm kalınlığındaki temelde azaldığı görülürken 30 cm kalınlığındaki temelde çok büyük değişim olmadığı görülmektedir.



Şekil 5.38. Temelde oluşan M_{yy} momentlerinin üstyapı eleman boyutuna göre değişimi

Şekil 5.39’daki burulma momenti grafiği incelendiğinde üstyapı eleman boyutlarının artmasıyla M_{xy} moment değerlerinin de arttığı görülmektedir.

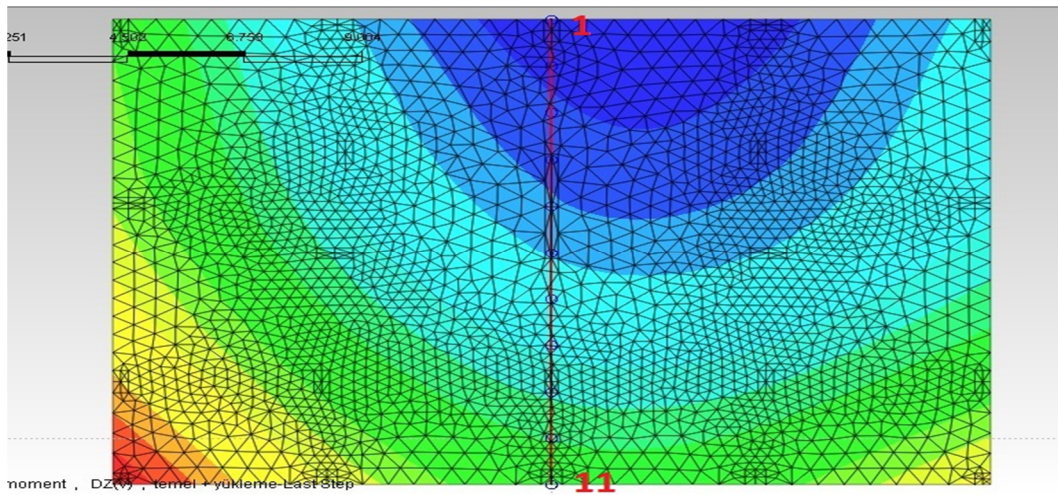


Şekil 5.39. Temelde oluşan M_{xy} momentlerinin üstyapı eleman boyutuna göre değişimi

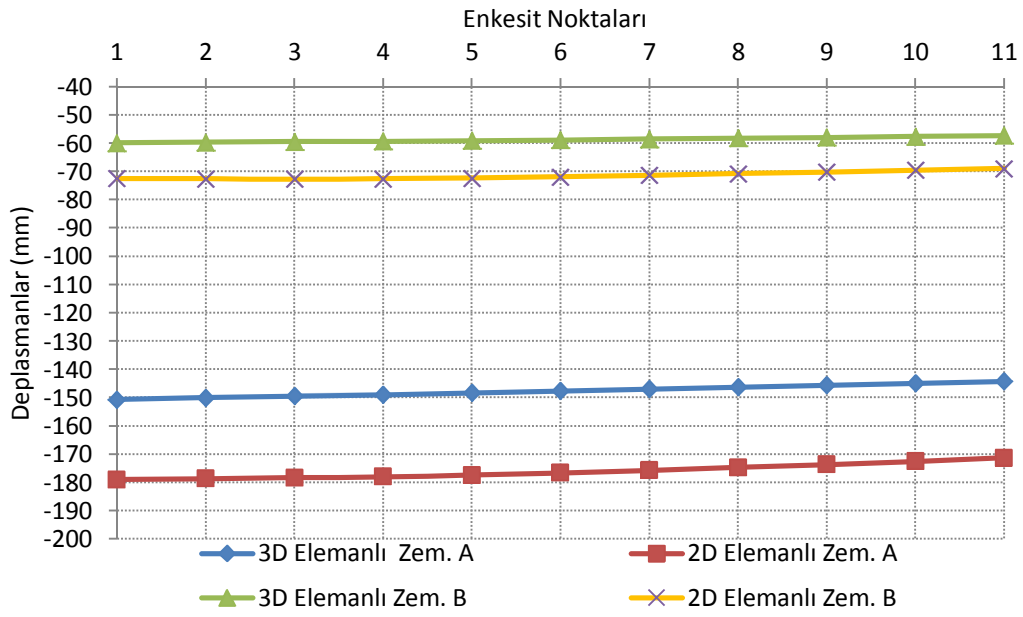
5.4. Temel Kesitlerinin İncelenmesi

5.4.1. Enkesit incelemesi

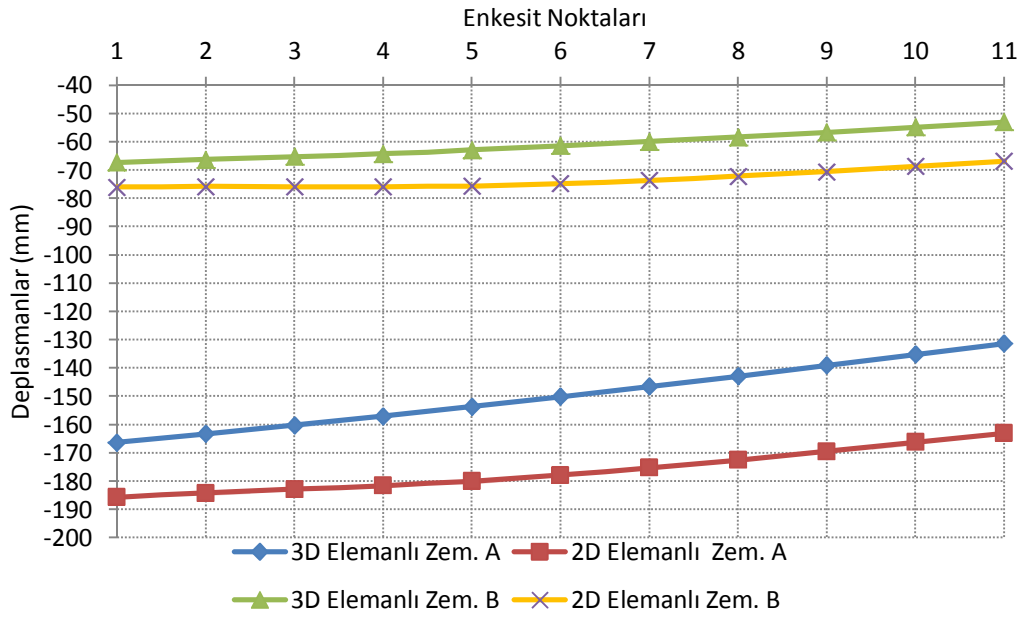
Farklı şekillerde yüklenmiş olan temellerin iki farklı zemin özelliğinde göstermiş olduğu düşey deplasmanların temelin en kesiti boyunca değişimi gösterilmektedir. En belirgin deplasmanların kolon yüklemesi altında oluştuğu görülmektedir.



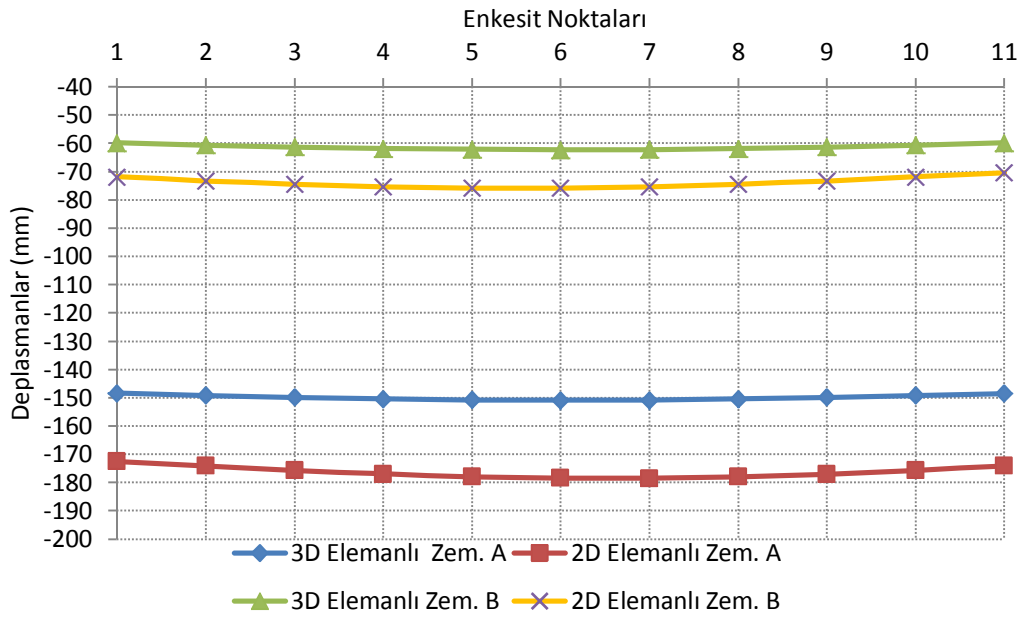
Şekil 5.40. Enkesit noktalarının temel üzerinde gösterimi



Şekil 5.41. Bina yüklemesi altındaki 50 cm'lik temelin enkesit noktalarında oluşan deplasmanlar



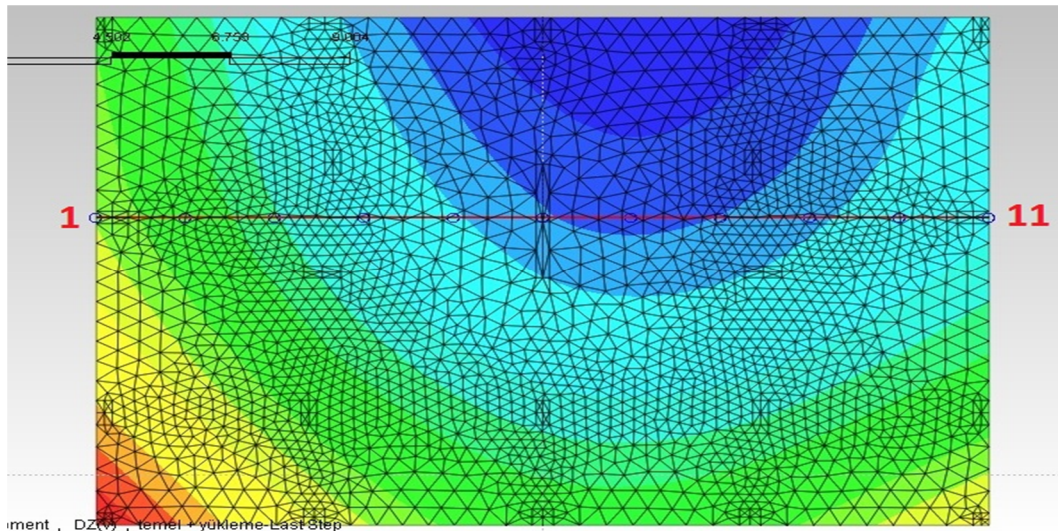
Şekil 5.42. Kolon yüklemesi altındaki 50 cm'lik temelin enkesit noktalarında oluşan deplasmanlar



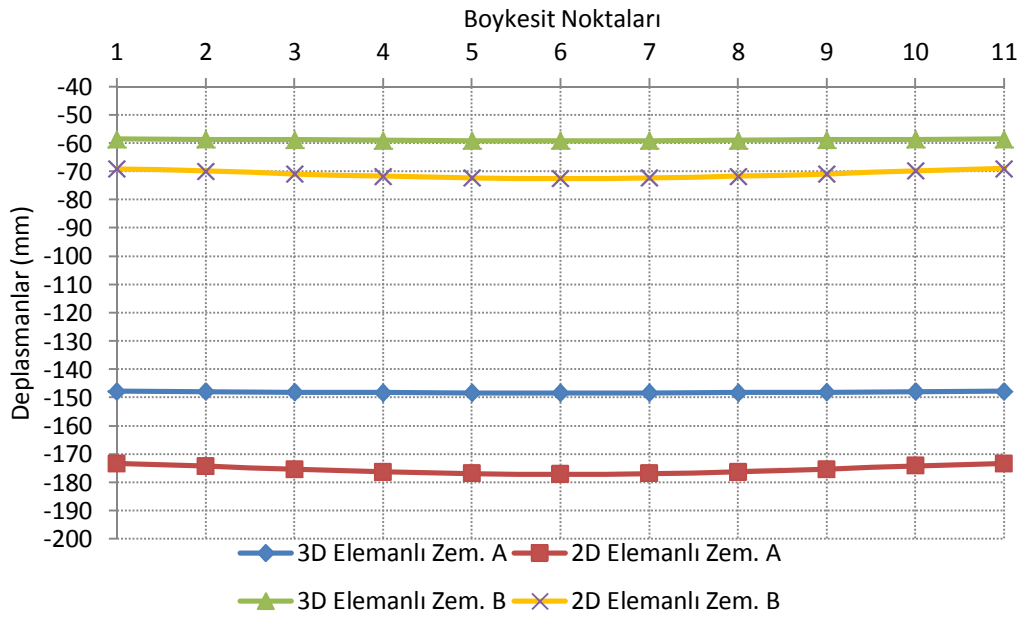
Şekil 5.43. Yayılı yük altındaki 50 cm'lik temelin enkesit noktalarında oluşan deplasmanlar

5.4.2. Boykesit incelemesi

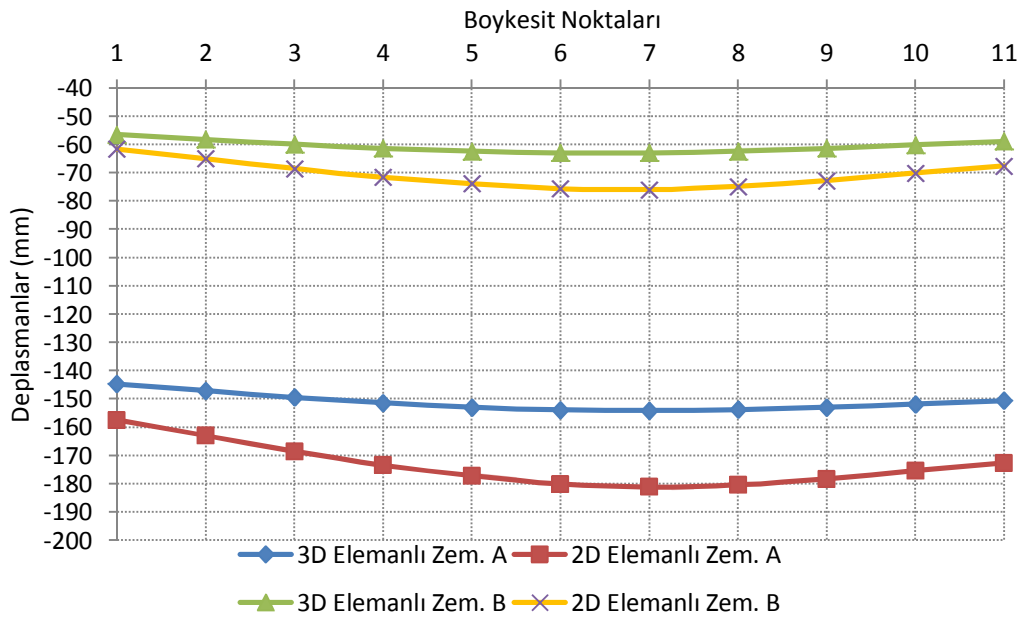
Farklı şekillerde yüklenmiş olan temellerin iki farklı zemin özelliğinde göstermiş olduğu düşey deplasmanların temelin boy kesiti boyunca değişimi gösterilmektedir. En belirgin deplasmanların kolon ve yayılı yükleme altında oluştuğu görülmektedir.



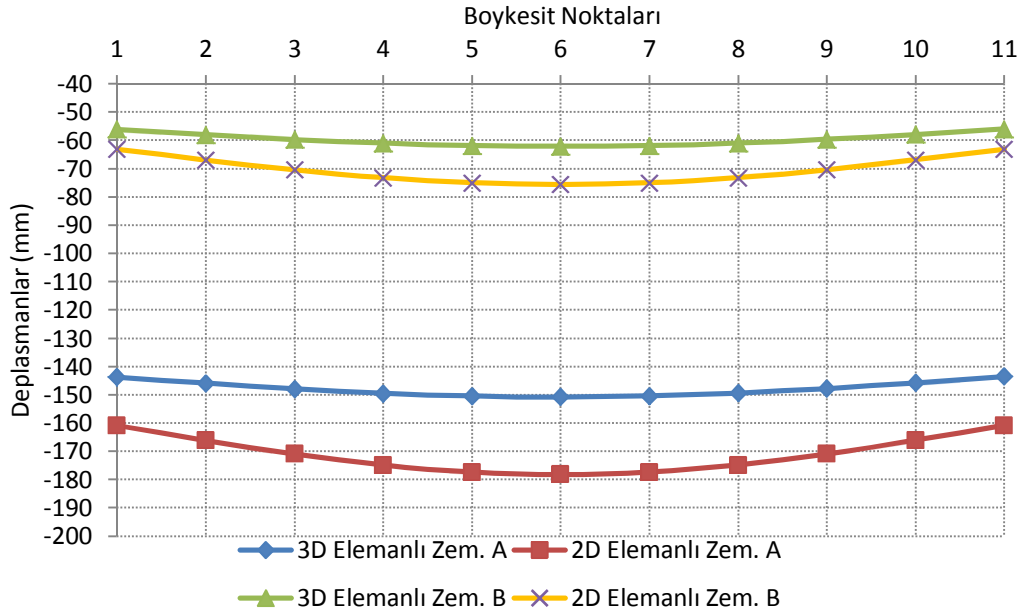
Şekil 5.44. Boykesit noktalarının temel üzerinde gösterimi



Şekil 5.45. Bina yüklemesi altındaki 50 cm'lik temelin boykesit noktalarında oluşan deplasmanlar



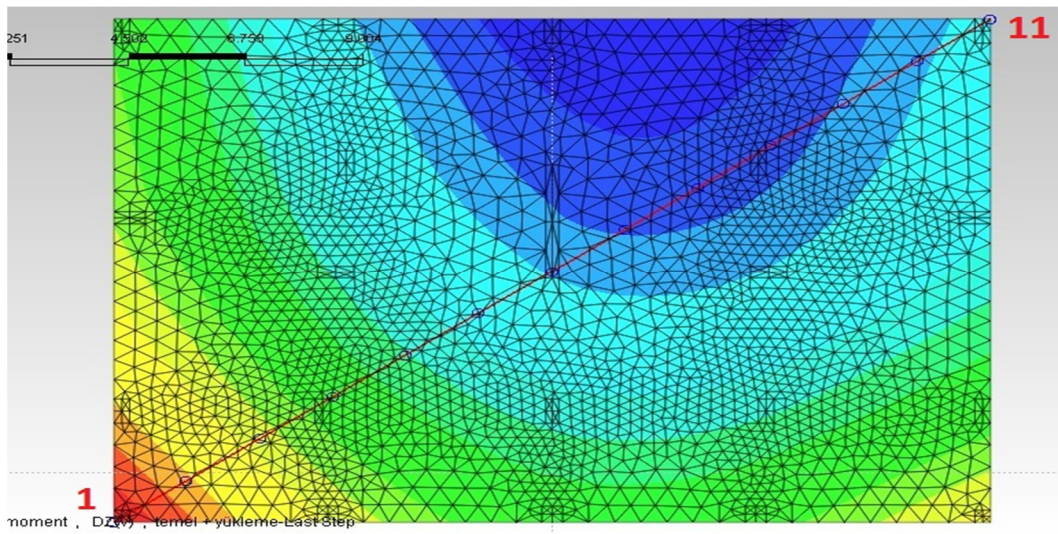
Şekil 5.46. Kolon yüklemesi altındaki 50 cm'lik temelin boykesit noktalarında oluşan deplasmanlar



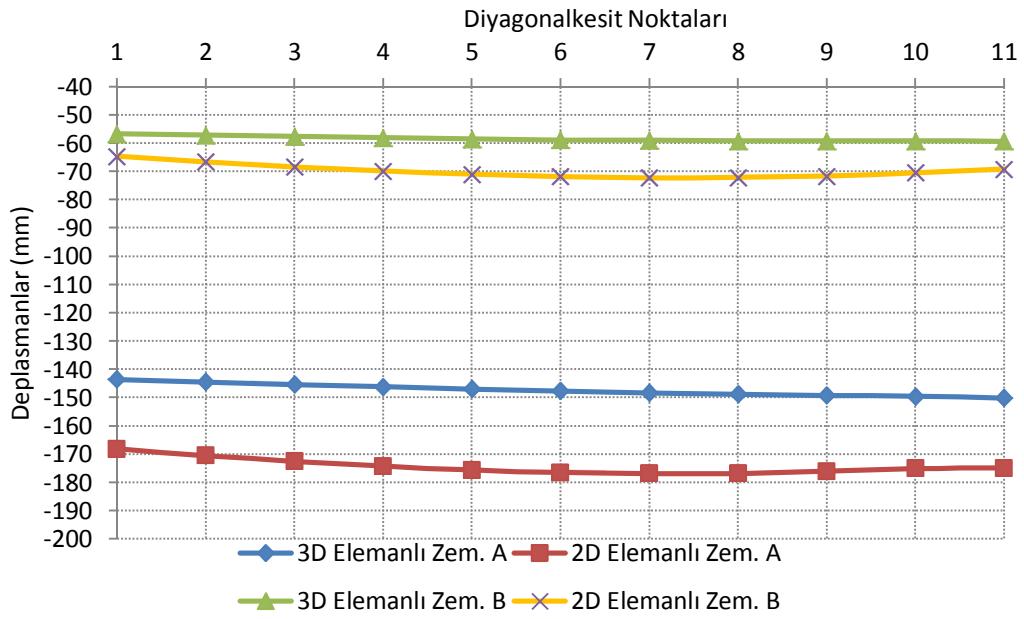
Şekil 5.47. Yayılı yük altındaki 50 cm'lik temelin boykesit noktalarında oluşan deplasmanlar

5.4.3. Diyagonal kesit incelemesi

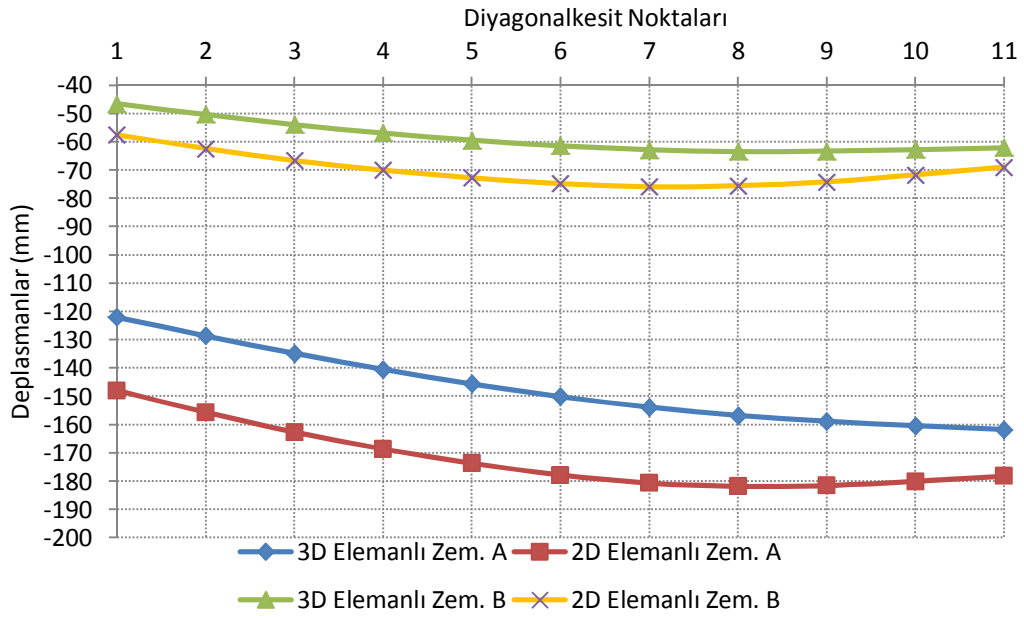
Farklı şekillerde yüklenmiş olan temellerin iki farklı zemin özelliğinde göstermiş olduğu düşey deplasmanların temelin diyagonal (çapraz) kesiti boyunca değişimi gösterilmektedir. En belirgin deplasmanların yine kolon ve yayılı yükleme altında olduğu görülmektedir.



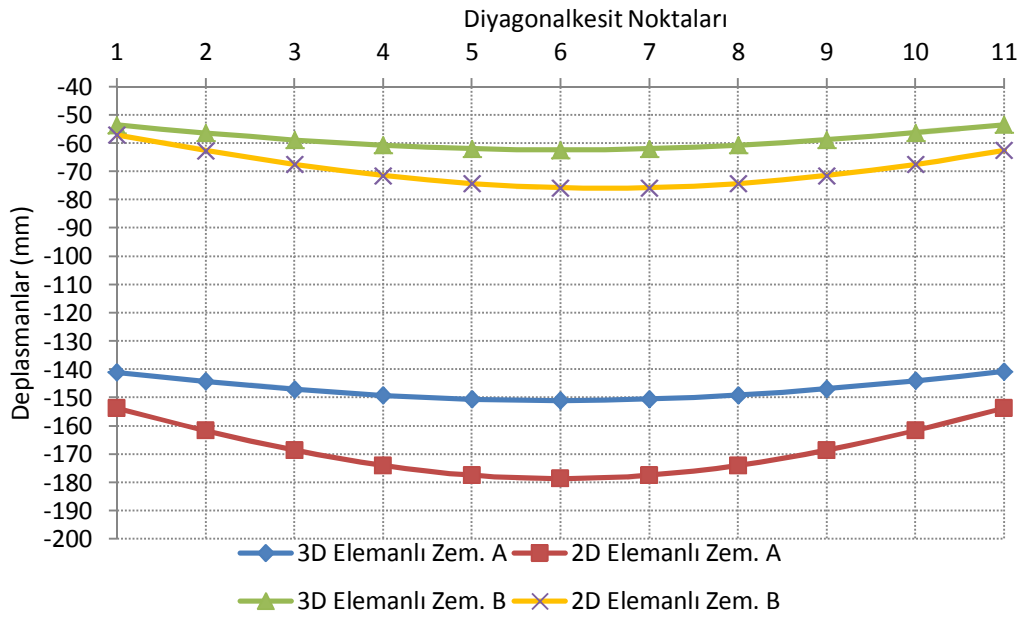
Şekil 5.48. Diyagonal kesit noktalarının temel üzerinde gösterimi



Şekil 5.49. Bina yüklemesinde 50 cm'lik temelin diyagonal kesit noktalarında oluşan deplasmanlar



Şekil 5.50. Kolon yüklemesinde 50 cm'lik temelin diyagonal kesit noktalarında oluşan deplasmanlar



Şekil 5.51. Yayıllı yük altındaki 50 cm'lik temelin diyagonal kesit noktalarında oluşan deplasmanlar

Tüm bu en, boy ve diyagonal kesit grafiklerinden temelin oluşturduğu deplasman şeklinin maruz kaldığı yükleme şeklinden ve temel kalınlıklarının değişiminden nasıl etkilendiği görülmektedir.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR

Üstyapı rijitliğinin yayılı temeldeki etkileri; modelleme, zemin koşulları ve farklı temel kalınlıklarına göre analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre bu konunun önem arz ettiği ve yapılacak olan temel hesaplamalarında dikkate alınması gerektiği belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1. Günümüzde üstyapı - temel - zemin etkileşimi gibi karmaşık geoteknik problemleri hesaplamak sonlu eleman paket yazılımları ile mümkün hale gelmiştir.
2. Yapılan çözümler sonucunda problemin gerçekçi ve daha doğru sonuçlar vermesi için yazılımlarca doğru bir şekilde modellenmesi gerektiği, modellemeler arasında da farklar meydana geldiği görülmüştür.
3. Yapılan çalışmada, 3 boyutlu elemanlardan oluşan modellerin 2 boyutlulara göre daha az toplam ve farklı oturma hesapladığı ve bu oturmaların da zemin koşullarına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir.
4. Üstyapı rijitliğinin etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çeşitli yüklemelerde maksimum oturmaların yerlerinin, temeldeki oturma dağılımlarının, toplam ve farklı oturmalarındaki değerlerin değişkenlik gösterdiği yani üstyapının, temel ve zemin ile etkileşim halinde olduğu görülmüştür.
5. Çözüm şekillerinin, kullanıcının tecrübesine ve projede uygulanabilir olması durumlarına göre belirlenebileceği görülmektedir. Bu çalışmada kullanılan projenin tam simetrik özellikler taşıması ve modellenabilirliğinin zor olması nedeniyle en doğru modelleme şeklinin 3 boyutlu elemanlarla gerçekleştirilebileceği görülmüştür.

6. Yapılan birinci çalışmanın neticesinde en uygun çözümlerin binanın da modellenerek etkilerinin hesaba dahil edilebildiği 3 boyutlu çözümler olduğu düşünülmektedir.

7. Üstyapı eleman boyutlarının değiştirilerek temeldeki etkilerinin incelendiği çalışmada, bina yükünün artmasına rağmen temelde meydana gelen farklı oturmaların azaldığı görülmektedir.

8. Üstyapı rijitliğini gereğinden fazla arttırmaktansa temel rijitliğini arttırarak farklı oturmaların önlenmesini sağlamanın daha ekonomik ve daha güvenli olacağı düşünülmektedir.

BÖLÜM 7. TARTIŞMALAR ve ÖNERİLER

Bu tezde son zamanlarda daha da önem kazanan üstyapı - temel- zemin etkileşimi konusu dikkate alınarak üstyapı rijitliğinin yayılı temellerdeki etkileri incelemeye alınmıştır. Yayılı temel sistemi iki ve üç boyutlu elemanlarla modellenmiş, üstyapı rijitliğini temsilen farklı yüklemeler altında oluşan toplam ve farklı oturmalarındaki değişimler iki farklı zemin üzerinde temel kalınlığına bağlı olarak değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmelere göre üst yapı rijitliğinin temelde meydana gelebilecek oturmalarda önemli rol aldığı dolayısıyla ekonomik ve gerçekçi çözümler için üst yapı rijitliğinin de hesaplamalarda değerlendirilmesi gerektiği görülmektedir.

Araştırmanın bundan sonraki aşaması yayılı temelde üstyapı rijitliğinin deprem koşullarında analizi olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] BOWLES, J.E., Foundation Analysis and Design, McGraw-Hill Book Company, Singapore, 1004pp., 1988
- [2] BUDHU, M., Foundations and Earth Retaining Structures, Wiley, USA, 2007
- [3] CODUTO, D. P., Foundation Design: Principles and Practices, 2nd Edition, Prentice Hall, USA, 2001
- [4] ÇAMLIBEL, N., Yüzeysel Yapı Temelleri, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000
- [5] KIM, J.-H., CHO, J., KIM, Y.-W., KIM, T., KANG, D.-E., Structural Design of the Stadium in Korea – Yongin Citizen Sports Park, The Fourth Structural Engineers World Congress, SEWC2011, Italy, 2011
- [6] KOERNER, R. M., Construction and Geotechnical Methods in Foundation Engineering, Mc Graw-Hill, pp. 1-55, Singapor, 1985
- [7] L'HERMINIER, R., BACHELIER, M., SOEIRO, F., Etude et observations concernant le radier de fondation du premier reacteur atomique au centre de Marcoule, Proc. 4th Int. Conf. Soil Mech. Foundn Engng, London, England, Aug. 1957, 1, 307-311. Butterworths Scientific Publications, London, 1957
- [8] Mc DONALD, D.H., SKEMPTON, A.W., A Survey of Comparison between Calculated and Observed Settlements of Structures on Clay, Conf. on Correlation of Calculated and Observed Stresses and Displacements, ICE London, pp. 318-337, 1955
- [9] MEYERHOF, G. G., The Settlement Analysis of Building Frames, Structural Engineer, Vol.25, pp. 369-409, 1947
- [10] MEYERHOF, G. G., Penetration Tests and Bearing Capacity of Cohesionless Soils, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol.82, No. 1, pp. 1-19, 1956
- [11] MIDAS GTS Tutorial Manual, MIDAS Information Tech. Co. Ltd., 2009

- [12] MIDAS GTS Analysis References Manual, MIDAS Information Tech. Co. Ltd., 2009
- [13] MORRISON, J., Raft foundations for two Middle East tower blocks, Design applications of raft foundations (Ed: J. A. HEMSLEY), Thomas Telford, London, 626 pp., 2000
- [14] MURRELLS, C., GASTEBLED, O., Dubai Tower Piled Raft Foundation, Advances in 3D FEA Applications in Geotechnical Engineering Seminar, The Institution of Structural Engineers, London, 2007
- [15] NATH B., Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodunun Temelleri (Çev. D. GÜNAY), SAÜ, s. 1- 234, Adapazarı, 1995
- [16] ÖNALP, A., İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi, Cilt 2, KTÜ Yayın No:3, s. 594-1225, Trabzon, 1983
- [17] ÖNALP, A., SERT, S., Geoteknik Bilgisi 3 Bina Temelleri, Genişletilmiş Baskı, Birsen Yayınevi, 426 s., İstanbul, 2010
- [18] ÖZMEN, G., ORAKDÖĞEN, E., DARILMAZ, K., Örneklerle SAP2000 – V12, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2009
- [19] POTTS, D. M., ZDRAVKOVIC, L., Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering: Theory, Vol:1, Thomas Telford, pp. 440, London, 2001
- [20] POTTS, D. M., ZDRAVKOVIC, L., Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering: Application, Vol:2, Thomas Telford, pp. 427, London, 2001
- [21] REUL, O., RANDOLPH, M. F., Study of the Influence of Finite Element Mesh Refinement on the Calculated Bearing Behaviour of a Piled Raft, Proc. 8th Int. Symp. Numer. Models Geomechs., Rome, pp. 259-264, 2002
- [22] SERT, S., Yayılı Temeller Geleneksel ve Bilgisayar Hesap Metodlarının Karşılaştırılması, Y. Lisans Tezi, SAÜ FBE, Sakarya, 1996
- [23] SERT, S., Alüvyal Ortamda Kazıklı Yayılı Temellerin 3 Boyutlu Analizi, Doktora Tezi, SAÜ FBE, Sakarya, 2003
- [24] YONGFEI, W., Analysis on the Influence for a High-rise Building Foundation Pit to Suzhou Rail Transit Line 1 Project, Fujian Architecture & Construction, 2011-02, 2011

ÖZGEÇMİŞ

Aybars Nafi KILIÇ, 1985 yılında Adapazarı' nda doğdu. İlk ve orta dereceli eğitimini Adapazarı'nda tamamladı. 2004 yılında Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği bölümüne girdi ve 2008 yılında mezun oldu. 2008 yılı sonunda özel bir kuruluştaki şantiye şefi olarak çalışmaya başlamış olup, halen bu görevini sürdürmektedir.