

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ADAPAZARI ZEMİNİNDE ÇOK KATLI YAPI
YAPILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Osman ASLAN

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Zeki GÜNDÜZ

Mayıs 2018

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

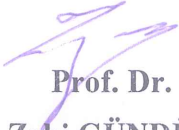
ADAPAZARI ZEMİNİNDE ÇOK KATLI YAPI
YAPILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ


YÜKSEK LİSANS TEZİ


Osman ASLAN

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK

Bu tez 17.05.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Zeki GÜNDÜZ
Jüri Başkanı


Doç. Dr.
Sedat SERT
Üye


Dr. Öğr. Üyesi
Uğur DAĞDEVİREN
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Osman ASLAN

17.05.2018

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitime başladığım günden itibaren bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, tezin başından sonuna kadar beni destekleyen, sonuca doğru götüren danışman hocam sayın Prof. Dr. Zeki GÜNDÜZ' e çok teşekkür ederim.

Tez çalışmamın yapılması sırasında bana çok yardımcı olan sınıf arkadaşım ve hocam Sayın Doç. Dr. Sedat SERT'e ve meslektaşım ve Plaxis 2D hocam İnşaat Yük. Müh. Müge İNANIR'a teşekkür ederim.

Ayrıca desteğinden ve sabrından dolayı sevgili eşim Fulya ASLAN'a, prenses kızım Pelin ASLAN'a, babam Süleyman ASLAN'a, kardeşlerime ve arkadaşlarıma her zaman benim yanımda oldukları için çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY	xi

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
1.2. Tanımlar	2
1.2.1. Radye temel.....	2
1.2.2. Radye Temel Tipleri.....	2
1.2.3. Toplam Oturma (Δ).....	3
1.2.4. Farklı Oturmalar ($\delta\Delta$).....	3
1.2.5. Oturma Kriterleri.....	4

BÖLÜM 2.

ADAPAZARI ÖRNEĞİ	5
2.1. Adapazarı İlçesinin Konumu.....	5
2.2. Adapazarı'nın Jeolojisi, Jeomorfolojisi ve Tektoniği	6
2.3. 1999 Depremleri.....	8
2.4. Geoteknik Özellikler	10
2.4.1. Laboratuvar deneyleri	10
2.4.2. Arazi deneyleri	11

2.4.3. Sağlam tabakaların başlangıç derinlikleri ve kalınlıkları	13
--	----

BÖLÜM 3.

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ VE PLAXIS YAZILIMI.....	16
3.1. Sonlu Elemanlar Yöntemine Genel Bakış.....	16
3.2. Yapı-Zemin Ara Yüzeyinin Modellenmesi	18
3.3. Plaxis 2D Yazılımı	20
3.4. Model Özellikleri	24
3.4.1. Sonlu eleman ağı boyutlarının seçimi ve eleman sayısının belirlenmesi.....	24
3.4.2. Sınır şartlarının belirlenmesi	25
3.4.3. Yapı, zemin ve ara yüzey özellikleri.....	27
3.4.4. Hardening-Soil model	29
3.4.5. Nümerik analizlerde kullanılan dinamik modül girdileri.....	30

BÖLÜM 4.

SAYISAL ÇÖZÜMLER.....	31
4.1 Sayısal Analizlere Giriş.....	31
4.2. Sayısal Analizlerin Grafikleri ve Yorumlar	33
4.2.1. Kat sayısının etkisi	34
4.2.2. Bodrum kat yüksekliği etkisi.....	40
4.2.3. Zemin profili etkisi.....	46

BÖLÜM 5.

SONUÇ VE ÖNERİLER	52
-------------------------	----

KAYNAKLAR	54
-----------------	----

ÖZGEÇMİŞ	57
----------------	----

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$[k]$: Rijitlik Matrisi
$[K]$: Sistemin rijitlik matrisi
$\{q\}$: Düğüm deplasman vektörü
$\{Q\}$: Yük vektörü
$\{r\}$: Deplasman vektörü
$\{R\}$: Toplam yük vektörü
C_1 ve C_2	: Boyutsuz iyileştirme katsayıları
c'_{ref}	: Efektif kohezyon
c_u	: Drenajsız kayma direnci
E	: Young modülü
E_{50}^{ref}	: Referans elastisite modülü (kPa)
E_{oed}^{ref}	: Ödometre referans elastisite modülü (kPa)
E_{ur}^{ref}	: Referans boşaltma-yeniden yükleme elastisite modülü
γ_n	: Doğal birim hacim ağırlık (kN/m^3)
γ_k	: Kuru birim hacim ağırlık (kN/m^3)
K_0	: Sükunetteki yanal zemin basınç katsayısı
K_{0x} ve K_{0y}	: Yatay ve düşey permeabilite katsayıları
m	: “Pekleşen zemin” modelinde gerilmeye bağlılığı gösteren üstlük
\emptyset	: İçsel sürtünme açısı
OCR	: Aşırı konsolidasyon oranı
P_{ref}	: Referans gerilme (100 kPa)
q_c	: Uç direnci
R_{inter}	: Yapı- zemin arayüzey dayanım azaltma faktörü
SPT-N	: Standart Penetrasyon deneyi darbe sayısı
t	: Radye temel kalınlığı
U_y	: Maksimum düşey yerdeğiştirme

YASS	: Yeraltı su seviyesi
Δ	: Toplam oturma
$\Delta\delta$: Farklı oturmalar
ρ_{doymun}	: Doygun birim hacim ağırlık (kN/m ³)
ν	: Poisson oranı
ϕ'	: Efektif kayma direnci açısı
ϕ_u	: Kayma direnci açısı
Ψ	: Genleşme açısı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Bodrum katlı radye temel.....	3
Şekil 2.1. Adapazarı'nın yeri	5
Şekil 2.2. Adapazarı Merkez 1/100 000 ölçekli jeoloji haritası.....	7
Şekil 2.3. Hasar nedenleri	9
Şekil 2.4. Adapazarı kent merkezi zemin profilleri	12
Şekil 2.5. CPT sonuçlarına göre sıkı tabaka ($q_{cmax}>15$ MPa) başlangıcı histogramı	13
Şekil 2.6. CPT sonuçlarına göre sıkı tabaka ($q_{cmax}>30$ MPa) başlangıcı histogramı	13
Şekil 2.7. Sondaj sonuçlarına göre çok sıkı tabaka başlangıcı histogramı.....	14
Şekil 2.8. Sondaj sonuçlarına göre çok sıkı tabaka kalınlıkları histogramı	14
Şekil 3.1. a: Sürekli elemanlar ile yapı-zemin etkileşimi, b: Yapı-zemin etkileşiminin ince ara yüzey elemanlarla modellenmesi, c: Yapı-zemin etkileşiminin yaylarla modellenmesi, d: Yapı-zemin etkileşiminin özel ara yüzey elemanlarla modellenmesi.....	19
Şekil 3.2. İnce ara yüzey elemanları (Desai, ark., 1984)	20
Şekil 3.3. Zemin elemanlarında düğümlerin ve gerilme noktalarının yerleşimi.....	21
Şekil 3.4. Sonlu eleman ağı boyutları	24
Şekil 3.5. Sonlu eleman ağı iki boyutlu görünümü.	25
Şekil 3.6. Yapı- zemin etkileşim problemi için geliştirilen sonlu eleman modeli. ..	26
Şekil 3.7. Kullanılan sınır şartları görülmektedir.....	26
Şekil 3.8. Adapazarı kent merkezi zemin profili tip1.	27
Şekil 3.9. Adapazarı kent merkezi zemin profili tip2.	28
Şekil 3.10. Adapazarı kent merkezi zemin profili tip3.	28
Şekil 3.11. 17.08.1999 $M_w=7.4$ Marmara depremi gözlenmiş ivme zaman grafığı.	30

Şekil 4.1. Bodrumsuz 5 katlı bina modeli	31
Şekil 4.2. Bodrumsuz 5 katlı binanın oturma-zaman grafiği	32
Şekil 4.3. Tip1 zemininde 5 katlı 2m bodrumlu binanın oturma-zaman grafiği.....	32
Şekil 4.4. Bitişik nizam modelleme	33
Şekil 4.5. Bitişik bodrumlu binanın oturma grafiği	33
Şekil 4.6. Bitişik bodrumsuz üç katlı binanın oturma grafiği	33
Şekil 4.7. Tip 1 zeminde, bodrum kat 4 m, 5, 6 ve 7 katlı binaların oturma grafiği	34
Şekil 4.8. Tip 1 zeminde, bodrum kat 5 m, 5, 6 ve 7 katlı binaların oturma grafiği	35
Şekil 4.8. Tip 1 zeminde, bodrum kat 6 m, 5, 6 ve 7 katlı binaların oturma grafiği	35
Şekil 4.9. Tip 2 zeminde, bodrum kat 4 m, 5, 6 ve 7 katlı binaların oturma grafiği	36
Şekil 4.10. Tip 2 zeminde, bodrum kat 5 m, 5, 6 ve 7 katlı binaların oturma grafiği	36
Şekil 4.11. Tip 2 zeminde, bodrum kat 6 m, 5, 6 ve 7 katlı binaların oturma grafiği	37
Şekil 4.12. Tip 3 zeminde, bodrum kat 4 m, 5, 6 ve 7 katlı binaların oturma grafiği	37
Şekil 4.13. Tip 3 zeminde, bodrum kat 5 m, 5, 6 ve 7 katlı binaların oturma grafiği	38
Şekil 4.14, Tip 3 zeminde, bodrum kat 6 m, 5, 6 ve 7 katlı binaların oturma grafiği	39
Şekil 4.15. Tip 1 zemininde, 5 katlı binada, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.	40
Şekil 4.16. Tip 1 zemininde, 6 katlı binada, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.	41
Şekil 4.17. Tip 1 zemininde, 7 katlı binada, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.	41
Şekil 4.18. Tip 2 zemininde, 5 katlı binada, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.	42

Şekil 4.19. Tip 2 zemininde, 6 katlı binada, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.	43
Şekil 4.20. Tip 2 zemininde, 7 katlı binada, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.	43
Şekil 4.21. Tip 3 zemininde, 5 katlı binada, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.	44
Şekil 4.22. Tip 3 zemininde, 6 katlı binada, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.	44
Şekil 4.23. Tip 3 zemininde, 7 katlı binada, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.	45
Şekil 4.24. Tip1, Tip2 ve Tip3 zeminlerde, 5 katlı binada, 4 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.	46
Şekil 4.25. Tip1, Tip2 ve Tip3 zeminlerde, 5 katlı binada, 5 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.	47
Şekil 4.26. Tip1, Tip2 ve Tip3 zeminlerde, 5 katlı binada, 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.	47
Şekil 4.27. Tip1, Tip2 ve Tip3 zeminlerde, 6 katlı binada, 4 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.	48
Şekil 4.28. Tip1, Tip2 ve Tip3 zeminlerde, 6 katlı binada, 5 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.	48
Şekil 4.29. Tip1, Tip2 ve Tip3 zeminlerde, 6 katlı binada, 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.	49
Şekil 4.30. Tip1, Tip2 ve Tip3 zeminlerde, 7 katlı binada, 4 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.	50
Şekil 4.31. Tip1, Tip2 ve Tip3 zeminlerde, 7 katlı binada, 5 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.	50
Şekil 4.32. Tip1, Tip2 ve Tip3 zeminlerde, 7 katlı binada, 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.	51

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1: Radye temelli yapılar için oturma kriterleri.....	4
Tablo 3.1. Modelde kullanılan zemin, yapı ve ara yüzey özellikleri.....	29
Tablo 4.1. Tip 1 zemininde 4, 5 ve 6 m derinlikte bodrum katlara sahip 5, 6 ve 7 katlı binaların temel altlarında oluşan oturmalar (U_y).	39
Tablo 4.2. Tip 2 zemininde 4, 5 ve 6 m derinlikte bodrum katlara sahip 5, 6 ve 7 katlı binaların temel altlarında oluşan oturmalar (U_y).	40
Tablo 4.3. Tip 3 zemininde 4, 5 ve 6 m derinlikte bodrum katlara sahip 5, 6 ve 7 katlı binaların temel altlarında oluşan oturmalar (U_y).	40
Tablo 4.4. Tip 1 zemininde 5, 6 ve 7 katlı binalarda, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturmalar (U_y).	46
Tablo 4.5. Tip 2 zemininde 5, 6 ve 7 katlı binalarda, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturmalar (U_y).	46
Tablo 4.6. Tip 3 zemininde 5, 6 ve 7 katlı binalarda, 4,5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturmalar (U_y).	46
Tablo 4.7. 5 katlı binada, T1, T2 ve T3 zemin modellerinde, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturmalar (U_y).	51
Tablo 4.8. 6 katlı binada, T1, T2 ve T3 zemin modellerinde, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturmalar (U_y).	51
Tablo 4.9. 7 katlı binada, T1, T2 ve T3 zemin modellerinde, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturmalar (U_y).	51

ÖZET

Anahtar kelimeler: Bodrumlu radye temel, Adapazarı zeminleri, Sıkı kum tabakaları, iki boyutlu sonlu eleman çözümlü.

Yüksek lisans tezi olan bu çalışmanın amacı, Adapazarı zemininde çok katlı bina yapılmaz deyip önce iki katlıdan daha sonra üç katlıdan fazla bina yapılmasına izin vermeyen, aldıkları bu kararın da hiçbir bilimsel dayanağı olmadan alanlara bir bilimsel yanıt niteliğindedir. Adapazarı zeminleri incelenerek bazı bölgeler de sağlam tabakaların olduğu tespit edilmiştir. Bu sağlam tabakalarda çok katlı bina yapabilmeye şartları nelerdir, bu tür zeminlerde yapılacak çok katlı bina ne tür özelliklere sahip olmalıdır, sorularının irdelemesi yapılmaktadır.

Bu çalışmada, Plaxis 2D sonlu eleman yazılımı kullanılarak daha önceden tespit edilen Adapazarı zemin profilleri kullanılarak farklı modellerin analizleri yapılmıştır. Üç tip zemin profili üzerinde 5 katlı bodrumsuz, 5 katlı bodrumlu (4, 5 ve 6 m derinlik) farklı derinliklerdeki bina, 6 katlı bodrumlu(4, 5 ve 6 m derinlik) farklı derinliklerdeki bina, 7 katlı bodrumlu(4, 5 ve 6 m derinlik) farklı derinliklerdeki bina modelleri analizleri yapılarak uygun koşulları sağlayan çözümlerinin incelenmesi yapılmıştır.

INVESTIGATION OF CONSTRUCTION MANY-STORIED BUILDING ABILITY ON THE GROUND OF ADAPAZARI

SUMMARY

Keywords: Basements raft Foundation, Soils of Adapazari, Dense sand layers, two-dimensional finite element solution.

The aim of this study as his master's thesis is to specify in-storied building on the ground of Adapazari for the purpose of scientific angle and ability to make conditions too- storied buildings by reviewing.

In this study, Plaxis 2D finite element software detected before using Adapazari's soils profiles through using different models analysis were scoped out. Three types of soil profile on 5-storied basement, 5-storied bass (4,5 and 6 m depth)-storied building in the deeps, 6 different bass (4,5 and 6 m depth)-storied building in the deeps, 7 different bass (4,5 and 6 m depth) in the deeps building different models the actual resolution of the appropriate fixed easily enough by modifying requirements were analyzed.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı

Günümüzde yüksek teknoloji hızlı bir şekilde ilerleme göstermektedir. Yüksek teknoloji ile birlikte bilgisayarların hızları ve kapasiteleri artmaktadır. Sayısal analiz yöntemlerindeki gelişmeler ve geoteknik mühendisliği yazılımları sayesinde yapı-zemin etkileşimleri ve zeminlerin doğrusal olmayan yük-şekil değiştirme davranışları iki boyutlu modelleme yapılarak hızlı, gerçekçi ve ekonomik çözümler sunmaktadır.

1999 Marmara depreminde Adapazarı'nın alüvyon zemini üzerine yapılmış çok katlı binalarda ağır hasar ve yıkımlar meydana gelmiştir. Karşılaşılan yıkım ve can kaybının nedenlerinden birisi de zayıf zemin koşulları gösterilmektedir. Bilimsel temellere dayanmayan ve mühendislik yaklaşımı taşımayan düşünce sebebi ile başta 2 kat daha sonra 3 kat yapılaşmaya izin verilerek yüksek yapılaşmaya gidilmesi tamamen engellenmiştir. Halbuki zemin incelemelerinin gerektiği gibi yapılarak doğru temel sistemleriyle yüksek yapılaşmaya gidilebileceği bilinmektedir. Adapazarı zeminleri ile ilgili yapılan birçok akademik çalışmada da aynı sonuç görülmektedir.

Bu çalışmanın amacı, öncelikle bodrumlu, radye temelli sistemlerinin yapı-zemin etkileşimlerini ve zeminlerin doğrusal olmayan yük-şekil değiştirme davranışlarını iki boyutlu modelleme yaparak analizlerini yapmak ve Adapazarı zeminlerinde çok katlı yapı yapılabilişliğini araştırmaktır.

1.2. Tanımlar

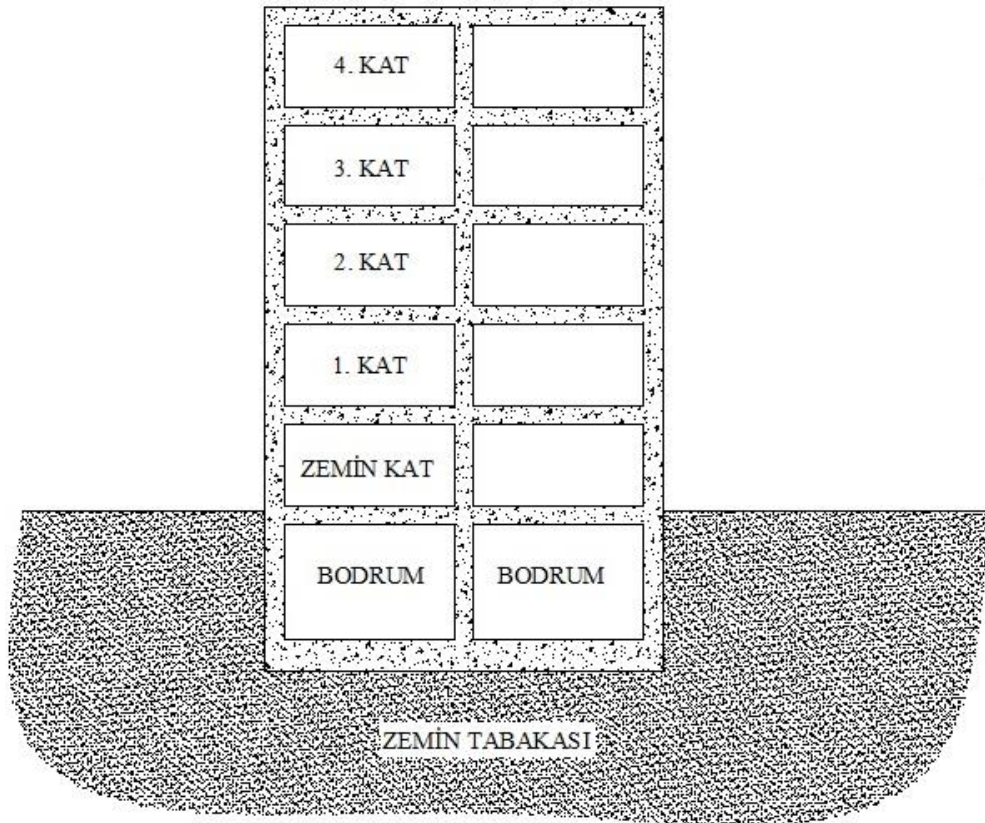
1.2.1. Radye temel

Radye temeller, yüzeysel temel çeşitlerinden biridir. Radye temel; yapı alanı altında bütün kolon yüklerini alacak şekilde oluşturulmaktadır. Radye temeller büyük kolon/duvar yükleri halinde ve zayıf zemin şartlarında tercih edilmektedir. Tekil temel alanları toplamı yapı alanının yarısından daha fazla bir alanı kapladığı durumlarda radye temel daha ekonomik olabilmektedir.

1.2.2. Radye Temel Tipleri

Radye temellerin birçok tipi yaygın olarak kullanılmaktadır.

- Üniform kalınlıkta plak radye temel
- Kolon altında kalınlaştırılmış plak radye temel
- Kirişli radye temel, kirişler altta veya üste olabilir. Kolonlar, kirişlerin kesim noktalarına yerleştirilir.
- Bodrum katlı radye temel (Şekil 1.1.). Duvar, radye temel için rijitleştirici rol oynamaktadır.



Şekil 1.1. Bodrum katlı radye temel

1.2.3. Toplam Oturma (Δ)

Yük altında yapı temelinin herhangi bir noktasında zeminin elastik ve plastik hareketleri sonucunda oluşan yer değiştirmelerdir. Toplam oturmalar yapıya zarar vermemekle birlikte kanal, su ve gaz bağlantılarının kopmasına neden olabilmektedir.

1.2.4. Farklı Oturmalar ($\delta\Delta$)

Yapının eğilmesine sebep olan farklı oturmalar yapının görüntüsü bozduğu gibi yapı içindeki alet ve makinaların çalışmasını da engelleyen, temelin değişik yerlerinde farklı miktarda oturmasıdır.

1.2.5. Oturma Kriterleri

Estetik açıdan kötü görünüme yol açmalarına ve kullanıcıda tedirginliğe neden olmasına rağmen yapı temellerinde meydana gelen toplam ve farklı oturmalar yapısal hasara yol açmayabilir.

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 radye temeller için yapıların dayanabileceği ve kullanılması önerilen toplam oturma ve farklı oturma değerleri verilmiştir.

Tablo 1.1: Radye temelli yapılar için oturma kriterleri (Mc Donald ve Skempton, 1955)

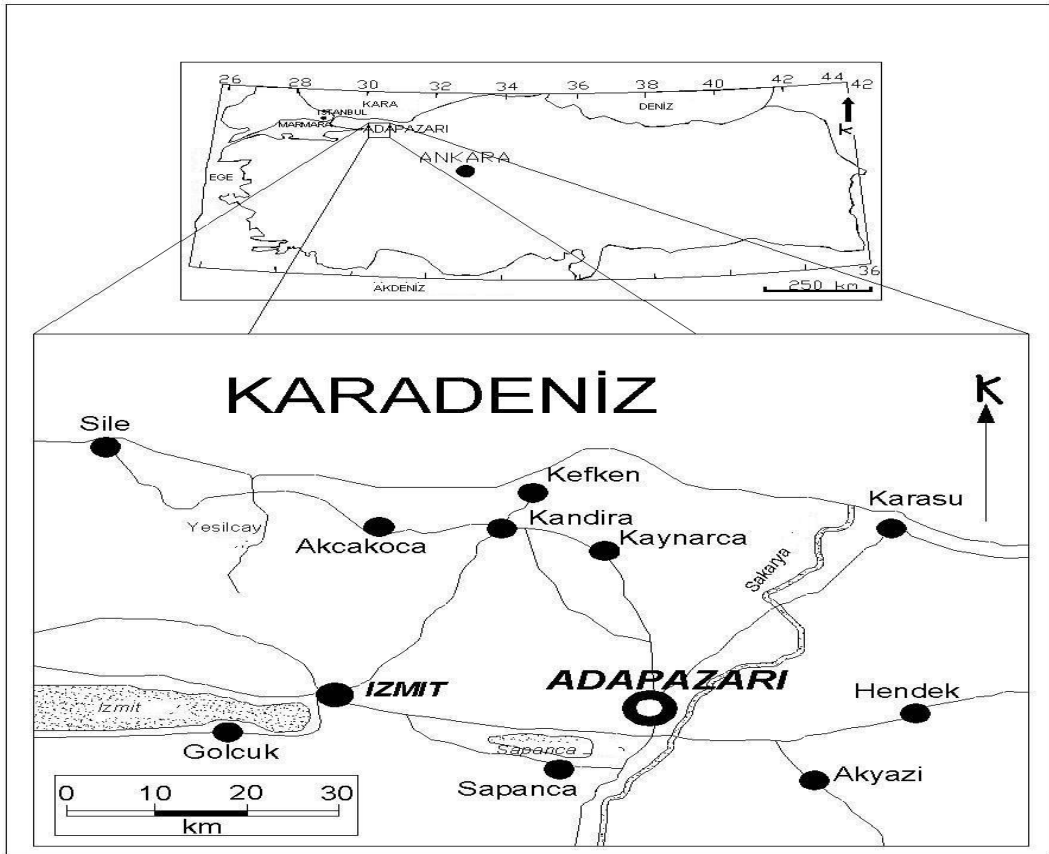
Kriter	Zemin Türü	Yapının Dayanabileceği	Önerilen
$\delta\Delta_{max}$ (mm)	Kil	45	38
	Kum	32	25
Δ_{max} (mm)	Kil	76-127	64-102
	Kum	51-76	38-64

Radye temellerde Türkiye uygulaması için uygun olabileceği düşünülen toplam oturma sınırları, Önalp (1983) tarafından kilde 100 mm, kumda 60 mm olarak verilmiştir. Bu değerler yapının dayanabileceği üst değerler olarak belirtilmiştir. Tasarım sırasında radye temellerde 40 mm'ye göre hesap yapılması önerilmiş ve bu durumda farklı oturmaların toplam oturmaların yarısı civarında gerçekleşeceği belirtilmiştir.

BÖLÜM 2. ADAPAZARI ÖRNEĞİ

2.1. Adapazarı İlçesinin Konumu

$40^{\circ} 46' 42''$ enlemi ve $30^{\circ} 24' 11''$ boylamı arasında kalan, deniz seviyesine göre yüksekliği 31 m olan Adapazarı ilçesi 1900'lü yılların ilk yarısından sonra artan göç ve sanayileşme ile birlikte Marmara Bölgesi'nin doğusunda Türkiye'nin önemli bir bölgesinde yer almaktadır (Şekil 2.1.).



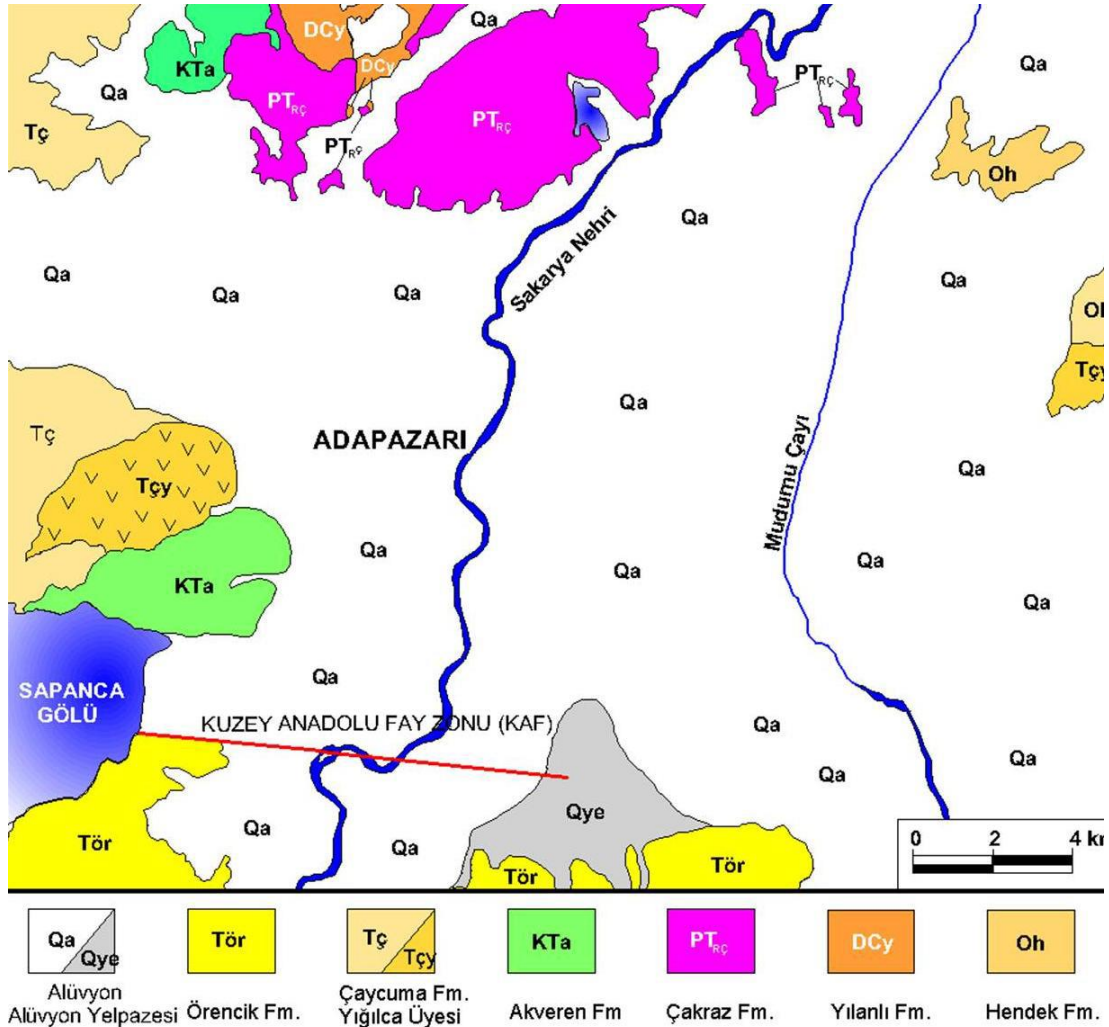
Şekil 2.1. Adapazarı'nın yeri

Sanayileşme ile birlikte artan nüfus Adapazarı ilçesinde ve civarında plansız ve alt yapısız yapılaşmaya sebep olmuştur. Kuzey Anadolu Fay zonunun (KAF) Bolu'dan Yalova'ya kadar uzanan kesiminde meydana gelen deprem 220 km uzunluğundaki segmenti harekete geçirmiştir. Bu zonun batı kısmında yer alan Adapazarı baseni 25 km-40 km alana sahip Sakarya Nehri'nin ve kollarının oluşturduğu taşıma-alüvyon-depozit zemin olarak gelişmiştir. Bu zemin üzerine yapılan yapılarda ağır hasar görülmüştür. Adapazarı'nda hasarın en yoğun olarak gözlemlendiği bölgede temel zeminini düşük plastisiteli veya plastik olmayan siltli zemin tabakalarıdır. Düşük plastisiteli silt tabakasının kalınlığı genel olarak 3,0 m ile 15,0 m arasında değişmekle birlikte yer yer 15,0 m'yi aşmaktadır. Bu tabakanın bazı yerlerinde kum içeriği %50'ye kadar ulaşmaktadır. Laboratuvar deney sonuçlarının ve sınıvlaşma analizlerinin birlikte değerlendirilmesi sonucunda plastik olmayan veya düşük plastisiteli siltlerin ve ince dane oranları düşük kumların sınıvlaşma eğiliminde oldukları ve yer yer killerde ve plastik siltlerde taşıma gücü kaybının olduğu anlaşılmıştır. Adapazarı zeminlerinin genel olarak kil, silt ve kumlardan oluştuğunu belirtmişlerdir.

2.2. Adapazarı'nın Jeolojisi, Jeomorfolojisi ve Tektoniği

Adapazarı kent merkezi genç kuvaterner, geniş alana yayılmış olan alüvyon ile temsil edilir. Adapazarı, Hendek ve Akyazı ovaları tutturulmamış kum, kil, silt ve çakıldan oluşmaktadır. Alüvyonu oluşturan gereçler Sakarya Nehri, Çark Deresi ve Mudurnu Çayı tarafından Kuzey Anadolu Fay zonu ve güneyindeki kayalardan taşınmıştır. Komazawa ve ark. (2001), yaptıkları gravite ve tremor (titreşincik) çalışmaları sonucunda alüvyon kalınlığının 1000-1500 metre kalınlıkta olduğunu açıklamışlar ve şehrin merkezinde sağlam zemin yaklaşık 1000 m derinde olduğunu belirtmektedirler. MTA'nın yaptığı çalışmalarda ova kenarlarında düşük olan alüvyon kalınlığının ova ortalarında 150 m kalınlığa ulaştığı bildirilmektedir. DSİ'nin katkılarıyla Adapazarı Yenigün Mahallesi'nde yaptırılan 200 metrelik sondaj sonucunda alüvyon içinde kalınmıştır. Bölgenin bulunduğu Sakarya havzası 58.000 km²'lik su toplama alanıyla 4 milyar m³ üzerinde yıllık ortalama su hacmi ile Türkiye'nin büyük havzalarından biridir. Bolu, Ankara, Konya, Afyonkarahisar, Kütahya ve Bursa arasında 2.075.000 hektar ovalık alan vardır. Ovaya su taşıyan Sakarya Nehri'nin yüksek boşalımlı

olmasından dolayı sellenmeyi önleyecek az miktarda bitki örtüsünün bulunması sebebiyle ova aşırı hacimde çökelle doludur. Ayrıca Sakarya Nehri Geyve Boğazı'ndan ani çıkışının ardından düz Adapazarı ovasında hızını kaybettiğinden çakıl, kum, kil ve silt malzemeleri ovaya bırakmış ve yatağın gittikçe dolması sonucu azalan akım hızı ile kil ve silt istiflenmesine yol açmaktadır (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Adapazarı Merkez 1/100 000 ölçekli jeoloji haritası (MTA, 1998 ve Bol, 2013)

Bölge doğudan batıya uzanan Kuzey Anadolu Fayından dolayı aktif konumdadır. Bu hat üzerinde yer alan Adapazarı ile ilgili deprem kayıtları incelendiğinde bölgenin oldukça yüksek bir sismisiteye sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca Adapazarı kenti kalınca bir alüviyal dolgu, yani zayıf zeminde yer alması nedeniyle muhtelif tarihlerde meydana gelmiş olan şiddetli depremlerde büyük hasar almıştır. Jeoloji ve yerel zemin

koşullarından dolayı, deprem esnasında sıvılaşma ve zemin büyütmesi açısından büyük potansiyele sahiptir.

2.3. 1999 Depremleri

17 Ağustos 1999 tarihinde 03:01:37 yerel zamanında meydana gelen depremin yüzey dalga manyitüdü 7.8 (USGS), cisim dalga manyitüdü 6.3 (USGS), süre manyitüdü 6.7 (Kandilli), moment manyitüdü 7.4 (USGS, Kandilli), episenter koordinatları 40.702K, 29.987D (USGS) ve derinliği 17 km (USGS)'dir. Manyitüdü $M_w=7.4$ olan deprem Türkiye'nin batı kesiminde yer alan Gölcük İlçesine yakın meydana gelen deprem, Kuzey Anadolu Fay (KAF) hattı üzerinde dört segment olarak oluşmuştur. (<http://koeri.boun.edu.tr>)

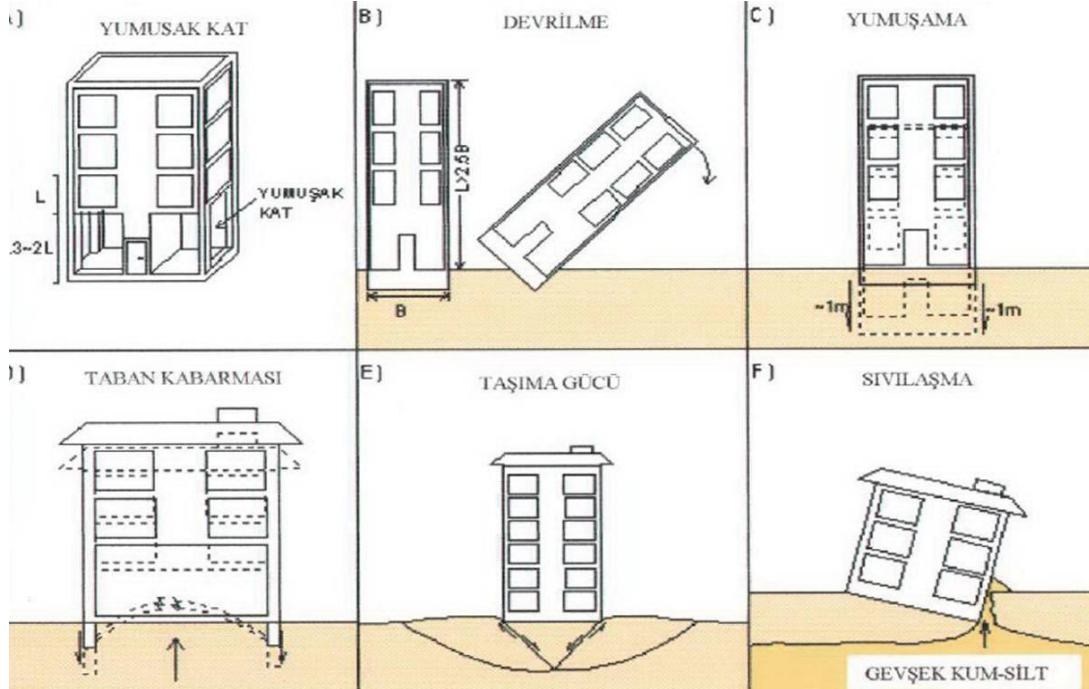
17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin ana kaydı Adapazarı şehrinin güney batısında yer alan Sakarya Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü deprem istasyonunda alınmış olup gözlenen yüzey kırılmasının sadece 3.3 km kuzeyindedir. Bu istasyonda faya hemen Paralel olan doğu-batı ve düşey yönde ivmeler kayıt edilmiştir. Doğü-batı yönündeki kaydın en büyük zemin ivmesi 0.415g, en büyük hız 81 cm/sn ve statik öteleme 214cm'dir (Anderson ark., 2000; Bray ark., 2001).

Sismik olarak çok aktif olan bu bölgede yaklaşık olarak 80 yıllık süreçte 1926 yılında meydana gelen Hendek depremi, 1943'te X şiddetinde meydana gelen Adapazarı-Hendek depremi, 1967 yılında manyitüdü 6.8 olan Sakarya depremi ve 1957 yılında Mudurnu depremi, 12 Kasım 1999 yılında 7,2 büyüklüğündeki Düzce depremi sırasında kırılan faylar ile bu depremler sırasında uzunluğu 150 m'den fazla genişliği 1 cm'den fazla olan kırıklar gözlenmiştir.

Bray ve Stewart (2000), depremlerde hasar gören yapılarda yapılan gözlemler sonucunda oturma, taşıma gücü kaybı ve yanal yer değiştirmelerin yeraltı su seviyesinin yüzeye yakınlığı nedeniyle bodrumsuz inşa edilen ve temelleri yüzeye oturtulan binalarda oluştuğunu belirtmişlerdir.

Önalp ve ark. (2001), 1999 depremleri sonucunda ortaya çıkan hasarları değerlendirmişler ve kentte meydana gelen büyük kaybın sebebi olarak sadece zemin koşullarının gösterilemeyeceğini belirtmişlerdir. Yapılan ayrıntılı çalışmalar sonucunda hasarların sebepleri 6 maddede toplanmıştır.

- Yönetmeliklere uymayan yapı tasarımı,
- Yükseklik/ genişlik oranı 2.5'ten büyük veya gömme derinliği sıfır olan yapılarda devrilme, kayma ve komşu yapılarla çarpışma,
- Zemin yüzeyinde yenilme belirtisi olmamasına karşın drenajsız şartlarda yumuşak silt ve killerde görülen zemin yumuşaması sebebiyle 1m'ye varan oturmalar,
- Radye temel olmaması durumunda yapının zemin içine battığı ve döşemelerde kabarmalar veya patlamaların olduğu durumlar,
- Temel taşıma gücünün aşılması,
- Sıvılaşma



Şekil 2.3. Hasar nedenleri (Önalp vd., 2001)

Önalp ve ark. (2001) tarafından yapılan araştırmalar sonucunda bazı bölgelerde yüzeysel temel güvenli taşıma gücünün 45 kPa gibi bir değerde çıkması ve bunun 3 m derinlik boyunca değişmemesi 80 kPa'lık güvenli taşıma gücüne karşılık olarak her yer ve şartta kullanılan 0,8 kg/cm² lik "zemin emniyet gerilmesi" değerinin ne kadar yanılıcı olduğunu ortaya koymaktadır.

2.4. Geoteknik Özellikler

Depremden sonra 600 dolayında sığ sondaj gerçekleştirilmiş, bunlardan elde edilen örselenmiş ve örselenmemiş numuneler Sakarya Üniversitesi Geoteknik Laboratuvarı'nda TS1900/1987'ye göre gerekli deneylere tabi tutulmuş ve TS1500/2000 uyarınca sınıflandırılmışlardır. Buna ek olarak Sakarya Üniversitesi yaklaşık 250 adet Koni Penetrasyon Deneyi (CPTU) yapmıştır (Sert, 2003).

2.4.1. Laboratuvar deneyleri

Sert (2003), Önalp ve ark. (2000), tarafından yürütölen çalışmaların sonucunda üç eksenli UU kesme deneylerinden drenajsız kayma direncinin üst 5 m derinlik için $c_u=45\pm 15$ kPa, 15 m derinlik boyunca tüm numuneler için $c_u=54\pm 22$ kPa şeklinde verildiğini belirtmiştir. Ayrıca yapılan kesme kutusu deneyleri sonunda sıkı kumların bulunduğu derinlik ve bölgelerde kayma direnci açısının $\phi' \geq 35^\circ$ gibi değerler alabildiğinin görüldüğü de belirtilmiştir. Bunun yanında killi-kumlu zemin numunelerinde drenajsız kayma direnci değerinin $c_u=3-119$ kPa, kayma direnci açısının da $\phi_u=4^\circ-35^\circ$ arasında değiştiği belirlenmiştir.

Üç eksenli UU kesme deneyi sonuçlarına göre yapılan bir diğer çalışmada da üst 5 m derinlik için drenajsız kayma direncinin 25 kPa ile 70 kPa arasında değiştiği belirtilmiş, ortalama değerde 40 kPa olarak bildirilmiştir. Aynı değerde 5 ile 15 m arası için ise 85 kPa olarak verilmiştir. (Önalp ve ark., 2001)

Çoğunlukla killi zeminler üzerinde yapılan üç eksenli UU kesme deneylerinde doğal birim hacim ağırlıklarının 17-20 kN/m³, boşluk oranlarının da 0.7-1.3 arasında

değiştirdiği görülmüştür. Ayrıca, hemen hemen tüm numunelerde doygunluk derecesinin %100 olduğu bulunmuştur (Sert, 2003).

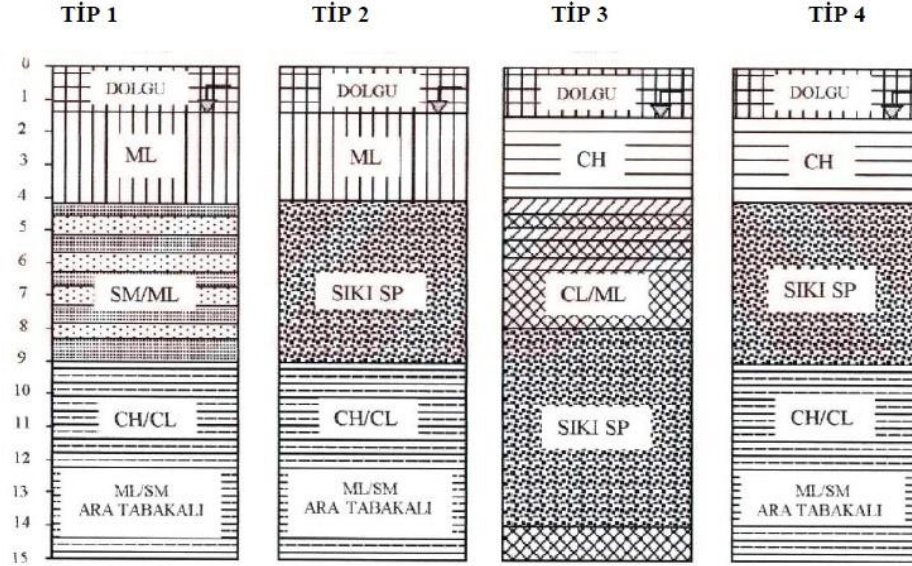
Yüzeyle yakın tabakalarda sıkça rastlanan orta plastisiteli kil ve siltlerde yapılan üç eksenli konsolidasyonlu- drenajsız (CIU) deneylerde kayma direnci parametreleri $c'=16-35$ kPa ve $\phi'=20^0-35^0$ arasında bulunurken, daha derinlerdeki CH killerde $c'\geq 100$ kPa olan değerlere rastlanmış ve $\phi'=10^0-25^0$ değerleri elde edilmiştir (Sert, 2003).

Konsolidasyon deneylerinde yüzeyle yakın numunelerde aşırı konsolidasyon oranının (OCR) 4'ü aşabildiği görülmüş, derinlere indikçe de bu değer 1 olmuştur (Sert, 2003).

2.4.2. Arazi deneyleri

Önalp ve ark.(2000,2001), kent merkezinde üst 5 m'de killer ve plastik olmayan siltlerin, bunların altında da sıkı kum veya hafif aşırı konsolide killerin bulunduğu kesitlerde sık sık karşılaşıldığını belirtmişlerdir. Üst 5 m için SPTN değerlerinin 2 ile 10 arasında değiştiği, sonda uç dirençlerinin de 2 MPa' dan küçük ölçüldüğü vurgulanmıştır. Bu derinliğin altında vuruşlar 20' nin üzerinde çıkmakta ve refüye yönelmektedir. Buradan kentte minimum yüzeysel temel derinliğinin 3m olması gerektiği veya yüksek yapılaşmaya derin temel sistemleri ile gidilebileceği sonucuna varılmaktadır. Üst katmanlardaki kayma direnci düşük zeminlerin aksine kent merkezinde eski nehir yataklarının bulunduğu bölümler yüksek yapılaşma için sağlam bir temel zemini oluşturabilecek sıkı kum ve çakıllı kumları içermektedir. Bol ve ark. (2002), Adapazarı'nın iki mahallesini içeren çalışmalarında 104 sondaj ve 57 sondalama (CPTU) sonuçlarını kullanarak Sakarya nehrinin eski yatağını oluşturan kanalın güneyden kuzey batıya doğru uzanan kolunu ortaya çıkarmışlardır. Bu kesimde yapılmış sondajlarda SPTN değeri refü (SPTN>50) veren ve CPTU deneyinde uç direnci (q_c) 30 MPa' ı aşan sıkı kum ve çakıllara rastlanmaktadır. Adapazarı'nda birbirine çok yakın bölgelerde dahi nehir sistemlerinde farklı çökme özelliklerini (Shantser, 1951) yansıtan oluşumlar nedeniyle birbirine hiç benzemeyen temel ortamları ile karşılaşılabilirdiği görülmektedir. Burada da olduğu gibi sonda uç

dirençlerinin (q_c) 35 MPa' ı aştığı durumlarda efektif kayma direnci açısı (ϕ') Lunne ark. (1997)' ye göre 40° den yüksek çıkabilmektedir (Sert, 2003).



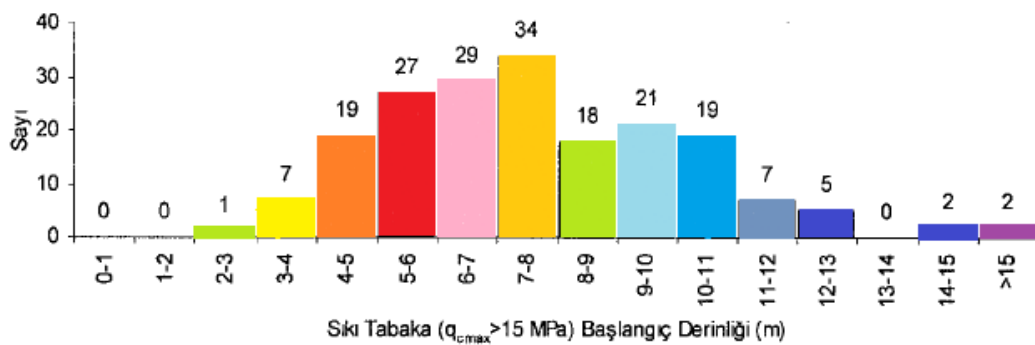
Şekil 2.4. Adapazarı kent merkezi zemin profilleri (Sancio ark., 2002)

Sancio ve ark. (2002), Adapazarı merkezinde zemin problemlerinin görüldüğü değişik yerlerde ve yıkımların çok olduğu belli eksenler boyunca toplam 46 sondaj ve 135 sondalama yapmışlar ve bunlara dayanarak çalıştıkları alanlarda üst 15 m için 4 ayrı tipte zemin profili sunmuşlardır (Şekil 2.4.). Dikkate değer olan bulgu, bu kesitlerin üçünde kalınlığı 6 m'ye varan sıkı kum ve çakıllı kumların varlığıdır. Sıkı kumların üstünde killi silt ve siltli killerin, derin katmanlarda ise silt ve kum ara katmanlı kil katmanlarının varlığı belirtilmiştir. Deprem sonrasında DSİ tarafından yapılan ve ana kayaya ulaşamayan 200 m' lik bir sondajda yukarıdaki sonuçlara benzer olarak üst katmanlarda genel olarak ince kum katmanları içeren kil ve siltler geçilmiş, daha derinlerde ise killerle karşılaşmıştır. 50 m ile 70 m arasında ise birkaç CL simgesi dışında tüm kesitin yüksek plastisiteli killerden oluştuğu görülmüştür (Sert, 2003).

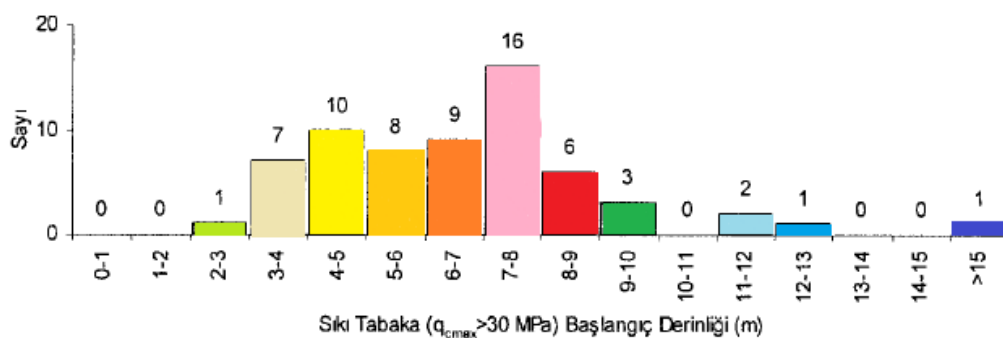
2.4.3. Sağlam tabakaların başlangıç derinlikleri ve kalınlıkları

Şekil 2.5., 2.6., 2.7. ve 2.8.'de Sert (2003) ve Sert ve Bol (2005) tarafından incelenen sonda ve sondaj bilgilerinden elde edilen sıkı/ çok sıkı kum ve çakıllı kum tabakalarının başlangıç derinlikleri ve kalınlıklarına ait bilgiler sunulmuştur.

Bu çalışmalarla Adapazarı merkezinde yapılan 225 adet CPT sonuçları değerlendirildiğinde uç dirençlerinin 191 kesitte 15 MPa' ı, 64 kesitte de 30 MPa' ı aştığı sıkı ve çok sıkı tabakaların varlığı ortaya çıkarılmıştır (Sert ve Bol, 2005). 200 kN kapasiteli CPT deney aletinin ankrajların sökülmesi sebebi ile sıkı tabaka kalınlığının her zaman ölçülemediğini belirtmişler, ancak birçok durumda sıkı tabakaların kalınlığının 5 m' yi geçtiğinin yapılan sondajlar tarafından doğrulandığını da belirtmişlerdir.



Şekil 2.5. CPT sonuçlarına göre sıkı tabaka ($q_{cmax} > 15$ MPa) başlangıcı histogramı



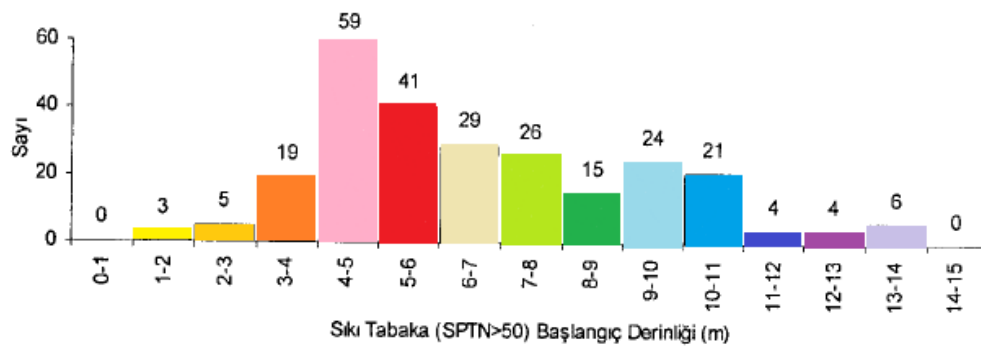
Şekil 2.6. CPT sonuçlarına göre sıkı tabaka ($q_{cmax} > 30$ MPa) başlangıcı histogramı

CPT deney sonuçlarına göre sıkı ve çok sıkı tabakaların başlangıç derinlikleri Şekil 2.5. ve 2.6.'da gösterilmiştir. Dikkati çeken ilk nokta, üst 3 m' de bir kesit dışında hiçbir durumda sıkı/ çok sıkı tabakalarla karşılaşılmasıdır. Sıkı ve çok sıkı

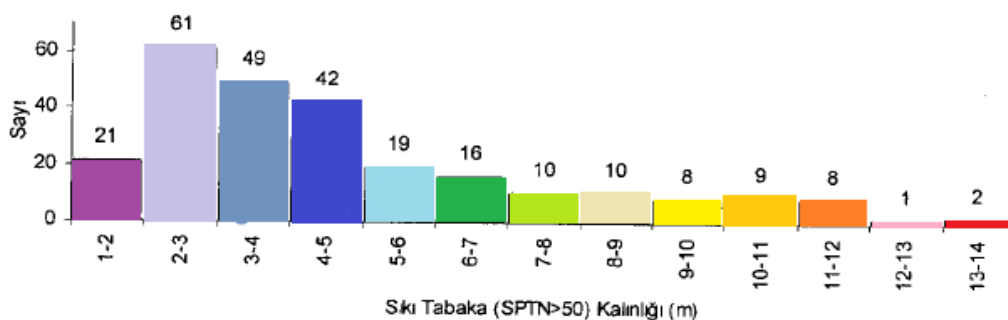
tabakaların başlangıç derinliklerinin %65' den fazlası 5 m ile 10 m arasında bulunmaktadır. Çok sıkı tabakaların %30' u 4-5 m'den başlarken 10 m' den daha derinlerdeki çok sıkı tabaka oranı %5' te kalmaktadır (Sert, 2003), (Sert ve Bol 2005).

Sert (2003) ve Sert ve Bol (2005) Adapazarı merkezinde yapılan 600 civarında sondaj değerlendirilmiş ve bunların yarısına yakınında ham SPT-N değerlerinin refü verdiği çok sıkı tabakaların bulunduğunu ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar sondaj sonuçlarından da 3 m' de sağlam tabakaların hemen hemen hiç bulunmadığının anlaşıldığını, çok sıkı tabakaların tespit edildiği 256 sondaja göre bunların 86 tanesinin üst 5 m' de, 135 tanesinin 5 m ile 10 m arasında ve 35 tanesinin de 10 m' den daha derinde başladığını belirtmişlerdir. (Şekil 2.7.).

Şekil 2.8.'de Sert (2003) tarafından hazırlanan sondajlarda ortaya çıkan sıkı tabaka kalınlıkları grafikleri sunulmuştur. Yazarlar buradan 2 m ile 5 m arasındaki kalınlıklara en fazla rastlandığı söylenebilmektedir. 256 sıkı tabakanın kalınlıklarınının 173'ü sıfır ile 5 m arasında, 63' ü 5 m ile 10 m arasında ve 20 tanesi de 10 m' den daha fazla çıkmaktadır.



Şekil 2.7. Sondaj sonuçlarına göre çok sıkı tabaka başlangıcı histogramı (Sert, 2003)



Şekil 2.8. Sondaj sonuçlarına göre çok sıkı tabaka kalınlıkları histogramı (Sert, 2003)

Sert (2003) ve Sert ve Bol (2005), alışmaları sonucunda $q_c > 20$ MPa ve $SPTN > 50$ değerlerini sağlayan çok sıkı tabakalar için CPT ve SPT sonuçlarına birlikte bakıldığında, bu tabakaların başlangıç derinliklerinde farklılık olduğunu belirtmişlerdir. Sert (2003) ve Sert ve Bol (2005), 4-8 m'lerden başlayan sıkı tabakaların sayısının derinlere gidildikçe CPT sonuçlarına göre artarken SPT sonuçlarına göre düşmekte olduğunu belirtmişlerdir ve CPT' nin SPT gibi sondör ölçüm hatalarına açık olmaması nedeniyle daha güvenilir olduğunun düşünüldüğünü vurgulamışlardır.

BÖLÜM 3. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ VE PLAXIS YAZILIMI

3.1. Sonlu Elemanlar Yöntemine Genel Bakış

Sonlu elemanlar yöntemi, günümüzde geoteknik mühendisliği dahil birçok mühendislik dalında yaygın olarak kullanılan ileri düzeyde bir sayısal analiz yöntemidir.

Sonlu elemanlar yöntemi sayısal analiz yöntemleri arasında bilgisayar yazılımı için en uygun formülasyona sahiptir. Bunun nedeni, karmaşık sınır koşulları ve nonlinear malzeme davranışı, homojen olmayan malzemeler gibi zor ve karmaşık problemlerin çözümünde sistematik bir programlamaya müsaade etmesidir. Herhangi bir geoteknik tasarım yapılırken iç ve dış kuvvetlerden dolayı kesit tesirlerinin (eğilme momenti, kesme kuvvetleri) değeri, yerel ve toptan göçme durumları, yapıda ve komşu yapı veya zeminde meydana gelecek deformasyonlar, oluşturulan yapı nedeniyle çevre yapılar veya servis ağlarında oluşacak etkilerin dikkate alınması gerekmektedir. Analitik çözüm yöntemleri, karmaşık ve çok bilinmeyenli durumları tek bir çözümde ele alamadıklarından sadece göçme için fikir verebilmektedir. Sonlu eleman yönteminde, gerçeğe uygun zemin özellikleri tanımlanabilmekte, tüm dış yapı ve yükleme etkileri dikkate alınabilmektedir.

Sonlu elemanlar yönteminde problemin geometrisi oluşturularak sistem, sonlu sayıda elemana bölünür. Her eleman şekli, bu elemanı oluşturan düğüm noktaları koordinatlarıyla belirlenir. Yapıyı oluşturan tek bir elemanın davranışı tanımlanabilirse yapının bütünü için de davranışın tanımlanması mümkün olacaktır. Çözüm için bir asıl değişken seçilerek tek bir elemanda bu değişkenin davranışı modellenir ve bu, matris tekniğiyle tüm sisteme uygulanarak bilinmeyenler hesaplanır.

Deplasmanların ana değişken olarak seçildiği sonlu eleman yöntemi çözümlerinde, problemin her bir düğüm noktasındaki deplasmanlar bilinmeyenlerdir. Deplasman değerleri çözüldüğünde, gerilme ve zorlanmalar deplasmanlara bağlı olarak bulunurlar.

Sonlu elemanlar yönteminin işleyişi kısaca şöyle özetlenebilir;

Modelin elemanlara ayrılması: Bir boyutlu cisimler düğümlerle, iki boyutlu cisimler çizgilerle, üç boyutlu cisimler düzlemlerle sonlu elemanlara ayrılırlar. İki boyutlu elemanlar üçgen veya dörtgen, üç boyutlu elemanlar, dikdörtgenler prizması, kama, dört yüzlü veya altı yüzlü olabilir.

Deplasman modellerinin seçilmesi: Elemanda yükleme sonucu oluşacak deplasmanları yansıtacak deplasman fonksiyonları genellikle polinom seçilir. En basit deplasman modeli lineer polinomdur.

Eleman rijitlik matrisinin oluşturulması: Rijitlik matrisi, elemanın geometrik ve malzeme özelliklerinden elde edilen denge denklemleri katsayılarını ve minimum potansiyel enerji ilkesinden faydalanılarak elde edilen katsayıları içermektedir. Rijitlik matrisi $[k]$, yük vektörü $\{Q\}$ ve düğüm deplasman vektörü $\{q\}$ arasındaki ilişki şu şekilde gösterilir;

$$[k] * \{q\} = \{Q\} \quad (3.1)$$

Modelin bütünü için rijitlik matrisi ve yük vektörünün oluşturulması: Her bir elemanın rijitlik matrisi ve eleman yük vektörleri toplanarak sistemin rijitlik matrisi ve yük vektörü oluşturulur. Sistemin rijitlik matrisi $[K]$, toplam yük vektörü $\{R\}$ ve bütün sistem için düğüm noktaları deplasman vektörü $\{r\}$ şu şekilde gösterilir;

$$[K] * \{r\} = \{R\} \quad (3.2)$$

Bu eşitlikler uygun eşitlik ilişkilendirilmesi ile geometrik sınır koşulları girilmediği sürece çözülemez.

Bilinmeyen deplasmanlar için çözüm: Bilinmeyen deplasmanlar için yukarıdaki eşitlikler çözülür. Lineer analizlerde matris teknikleriyle doğrudan çözüm yapılırken, doğrusal olmayan zemin davranışı için analizlerde her bir yük adımında yük vektörleri ve rijitlik matrisleri tekrar oluşturulur.

Gerilme ve zorlanmaların hesaplanması: Deplasmanlar hesaplandıktan sonra gerilme ve zorlanmalar bu deplasmanlara bağlı olarak elde edilirler.

3.2. Yapı-Zemin Ara Yüzeyinin Modellenmesi

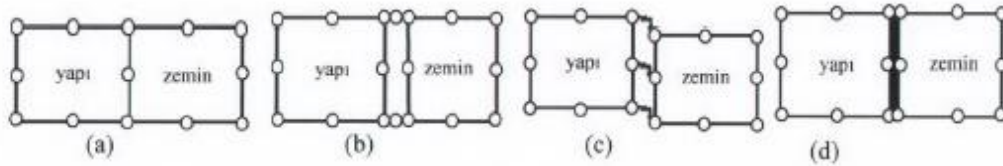
Yapı- zemin etkileşimi geoteknik problemlerinde önemli bir yer tutmaktadır. Sonlu eleman analizinde yapı ve zeminin birbiriyle uyumlu deplasman yapan sürekli elemanlarla modellenmesi gerçekte oluşacak farklı deplasmanları ve gerilmeleri yansıtmamaktadır. (Şekil 3.1a). Bu nedenle ara yüzey elemanları kullanılarak, temel ile zemin arasındaki farklı deplasmanlar hesaplanabilmektedir. Potts ve Zdravkovic (2001) yapı- zemin ara yüzeyini modellemek için kullanılan yöntemleri şu şekilde özetlemiştir. (Şekil 3.1. b, c, d):

Standart yapısal modellere dayanan ince sürekli ara yüzey elemanları (Pande ve Sharma, 1979; Griffiths, 1985).

Sadece karşılıklı düğüm noktalarını birleştiren farklı yaylardan oluşan bağlantı elemanları (Hermann, 1978; Frank ark., 1982).

Sıfır veya sonlu kalınlıkta özel ara yüzey elemanları (Goodman ark., 1968; Ghaboussi ark., 1973; Carol ve Alonso. 1983; Wilson. 1977; Desai ark., 1984; Beer. 1985; Potts ve Day. 1991).

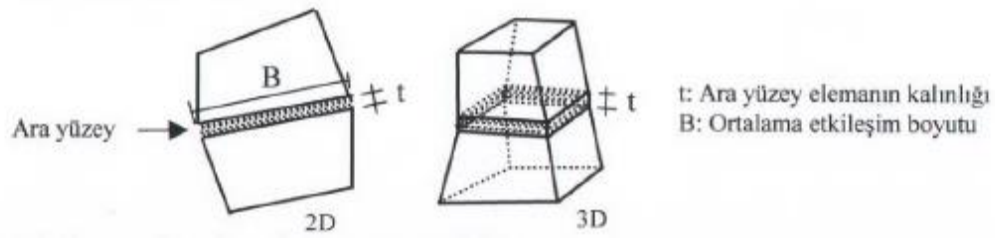
Yapı ve zemin ayrı ayrı modellendiği, ara yüzeydeki gerilme ve deplasman uyumunu sağlayan eşitlikler yardımıyla birbirine bağlandığı melez yöntem (Francavilla ve Zienkiewicz. 1975; Sachdeva ve Ramakrishnan. 1981; Katona. 1983; Lai ve Booker. 1989)



Şekil 3.1. a: Sürekli elemanlar ile yapı-zemin etkileşimi
 b: Yapı-zemin etkileşiminin ince ara yüzey elemanlarla modellenmesi
 c: Yapı-zemin etkileşiminin yaylarla modellenmesi
 d: Yapı-zemin etkileşiminin özel ara yüzey elemanlarla modellenmesi

Plaxis yazılımı, yapı-zemin etkileşiminin modellenmesinde yukarıda sayılan seçenekler içinde en çok kullanılan sıfır kalınlıklı ara yüzey elemanlarını kullanmaktadır. Yazılımda ayrıca, ince ara yüzey elemanları da modellenebilmektedir. Sıfır kalınlıkta ara yüzey elemanlarıyla çözüm yapılırken özellikle aşırı farklılıklar gösteren rijitliğe sahip elemanların olduğu modellerde sayısal çözümsüzlükler ve yakınsama sorunları ortaya çıkabilmektedir (Day ve Potts. 1994). Sıfır kalınlıklı elemanın her iki tarafındaki komşu düğüm noktaları aynı koordinatlara sahip olduğundan ağ oluşurken problem çıkabilmektedir. Ayrıca, ara yüzey elemanlarının kesiştiği durumlarda da sonlu eleman ağında problem olabilmektedir (Day ve Potts. 1991).

Desai ark. (1984). Yaptıkları parametrik çalışmada ince ara yüzey elemanları için en uygun kalınlığın, komşu elemanın ortalama boyutuna oranının 0,01 ile 0,1 arasında olduğu durumda gerçekleştiğini belirtmişlerdir (Şekil 3.2.). Pande ve Sharma (1979). Çok daha küçük oranlarla da tatminkar sonuç alınabileceğini belirtmişlerdir. Ara yüzey elemanın kalınlığı komşu elemanın kalınlığına oranla çok fazla olursa o da sürekli eleman gibi davranmakta; çok küçük olursa bu kez de hesaplama süresi uzamaktadır.



Şekil 3.2. İnce ara yüzey elemanları (Desai, ark., 1984)

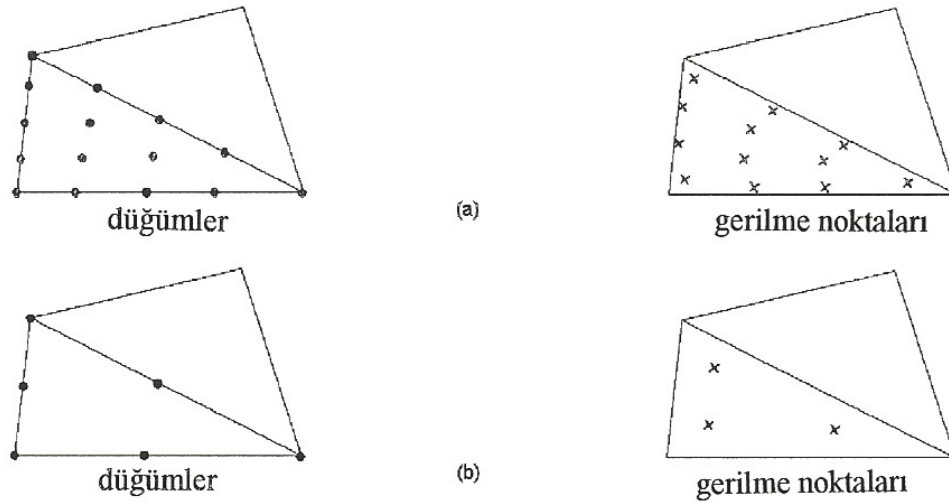
3.3. Plaxis 2D Yazılımı

Plaxis 2D yazılımı geoteknik mühendisliği problemlerinin nümerik analizi için geliştirilmiş bir sonlu elemanlar yazılımıdır. Programın yapısı iki parçadan oluşmaktadır. Plaxis 2D input, problemin tanımı ve aynı zamanda fiziksel gösterimi yapılıdır. Hesap kademeleri tanımlanır. Bunlar başlangıç durumu ve inşaat aşamalarından oluşmaktadır. Plaxis 2D output, inşaat aşamasının belirli bir anı için tüm modeldeki sonuçları görüntüleme ve bir noktada tüm inşaat safhalarında oluşmuş bütün sonuçları görüntüleme. Bu yazılım, geoteknik mühendisliği projelerinin tasarımında ihtiyaç duyulan deformasyon ve stabilite analizleri, yapı-zemin etkileşimi, gerilme-şekil değiştirme, yükleme, konsolidasyon, taşıma gücü, akım ağı, zemin dinamiği konularında ve malzeme çeşitliliği olan durumlarda kullanılmakta ve gerçeğe yakın sonuçlar vermektedir.

Uygulanan sonlu elemanlar formülasyonunda deplasman yöntemi kullanılmıştır, yani deplasmanlar esas bilinmeyen olarak kabul edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemine göre, bir sürekli ortam birçok elemana ayrılır ve her bir eleman üzerindeki düğüm noktaları bir serbestlik derecesine sahiptir.

Plaxis 2D yazılımında sonlu elemanlar ağının oluşturulmasında üçgen elemanlar kullanılmaktadır. Bu üçgen elemanlar 6 veya 15 düğüm noktalı olarak seçilebilmektedir. Gerilmelerin ve göçme yüzeylerinin daha doğru hesaplanabilmesi için 15 düğüm noktalı elemanın seçilmesi daha doğru olmaktadır. Düğüm noktalarının elemanlar üzerindeki dağılımı Şekil 3.3.'de gösterilmektedir. Analizlerde yer değiştirmeler düğüm noktalarında, gerilmeler ise Şekil 3.3.'teki gibi gerilme noktalarında hesaplanmaktadır. 6 düğüm noktalı üçgen elemanda 3 gerilme noktası,

15 düğüm noktalı üçgen elemanda ise 12 gerilme noktası vardır. Bu çalışmada, sonlu elemanlar modellerinin karşılaştırılmasını yapmak için gerçekleştirilen analizlerde 15 düğüm noktalı elemanlardan faydalanılmıştır.



Şekil 3.3. Zemin elemanlarında düğümlerin ve gerilme noktalarının yerleşimi

Plaxis 2D input, SOIL (Zemin tabaka bilgisinin tanımı), STRUCTURES (Yapısal eleman, yük ve sınır koşullarının tanımı), MESH (Sonlu elemanlar ağının oluşturulması), WATER LEVELS (Boşluk suyu basıncı dağılımının tanımlanması), STAGED CONSTRUCTION (İnşa kademelerinin tanımlanması) modlarından oluşmaktadır.

Soil (Zemin) Modu kısmında alt katmanların tanımlanması yapılır. Sondaj kuyusu oluşturulur. Birden fazla sondaj kuyusu oluşturulabilir. Ayrıca kuyular arasındaki zemin tabakalarının enterpolasyonu yapılır. Her zemin tabakası bütün kuyularda gösterilir. Bu gösterimde zemin tabakasının sıfır kalınlığı olabilir. Tüm zemin tabakalarının kalınlıkları girilir. Her bir zemin tabakası için başlangıç su seviyesi tanımlanır. Hidrostatik dağılım, komşu tabakalardan enterpolasyon, kuru, kullanıcı tanımlı boşluk suyu basıncı tanımlamaları yapılabilir. Başlangıç durumunda K_0 yöntemi için OCR, POP, K_{0x} ve K_{0y} tanımlamaları yapılır. Malzemeler, malzeme özellikleri penceresi açılarak, malzeme tipi belirlenir ve malzeme tanımlaması yapılır.

Malzeme özellikleri başka projelerde de kullanılabilmesi için genel veri tabanında saklanabilir.

Structures (Yapı elemanı) modu kısmında yapı elemanlarının tanımlanması yapılır. Noktalar (Points) Create point butonuna tıklayarak Fixed- end anchor oluşturulur. Nokta yükler, nokta tanımlı deplasmanlar ve Fixed- end anchor için kullanılır. Çizgiler (Lines) Create line butonuna tıklayarak Plate, Geogrid, Embedded pile row, interfaces, node-to-node anchor oluşturulur. Kirişler, çizgisel yükler, çizgide tanımlı deplasmanlar, Node-to-node anchor ve Embedded pile row için kullanılır. Zemin kesitinin en alt kısmında tüm deplasmanlar sınırlandırılmıştır. Varsayılan sınır koşulları zemin sınırlarına özel koşullar tanımlanarak değiştirilebilir.

Mesh (Ağ) modu kısmında genel boyut; Model boyutuna göre ortalama eleman büyüklüğü tanımlanır. Eleman boyutu yerel olarak küçültülebilir veya büyütülebilir. Çizim alanındaki değişik renkler farklı eleman boyutunu ifade eder. Yeşil= küçültülmüş, açık ton= daha küçük, sarı= büyütülmüş, açık ton= daha büyük.

Water Levels (Su seviyesi) modu kısmında bir veya birden çok sondaj kuyusu oluşturulabilir. Birden çok sondaj kuyusu için yatay olmayan su seviyesi mümkündür. Su seviyeleri kullanıcı tarafından manuel olarak tanımlanabilir. Ayrıca her bir hacim için su seviyesi tanımlanabilir. Mevcut seçenekler; Genel seviye (Varsayılan), özel seviye, hidrolik yük (head), kullanıcı tanımlı, Enterpole ve kuru seçenekleridir.

Staged Construction (Kademeli İnşaat) modu kısmında inşaata başlamadan önce başlangıç durumunun tanımlanması yapılarak işe başlanır. Başlangıç su durumu/ başlangıç boşluk suyu basınçları, yeraltı su seviyesine bağlı olarak hidrostatik boşluk suyu basıncı dağılımı ve/veya yeraltı suyu akış hesabına bağlı hidrostatik olmayan boşluk suyu basıncı dağılımı. Başlangıç geometri durumu/ başlangıç gerilmeler, başlangıçtaki durumu modellemek için zemin ve yapısal elemanların aktif/deaktif edilmesi, K_0 veya gravity loading (ağırlık yüklemesi) yöntemine göre başlangıç gerilmelerin hesaplanması yapılır. Bu kısımda, başlangıç durumdaki boşluk suyu basınçları ve basınç gerilmeleri, drenajlı veya drenajsız genel deformasyon analizi,

konsolidasyon, deformasyon, konsolidasyon ve kararsız durumdaki su akışını dikkate alan zamana bağlı analiz, dinamik analiz, inşa kademelerinin belirli bir aşamasında güvenlik sayısının belirlenmesi hesapları yapılabilir.

Aşama ayarları, ek fonksiyonlar işlemlerimizi kolaylaştırır. Aşamadan başla (Start from phase), hesap aşamalarının sırasını değiştirir. Deplasmanları sıfırla (reset displacements to zero), hesap aşamasının başında tüm deplasmanları sıfırlar. Drenajsız davranışı ihmal et (ignore undrained behaviour), bu hesap safhasında artık boşluk suyu basıncı oluşmaz. Zaman aralığı (time interval), İnşaat süresini tanımlar. Zaman aralığı manuel olarak değiştirilebilir. Dinamik analiz, konsolidasyon ve zamana bağlı zemin davranışı- krip için inşaat süresi tanımlanır.

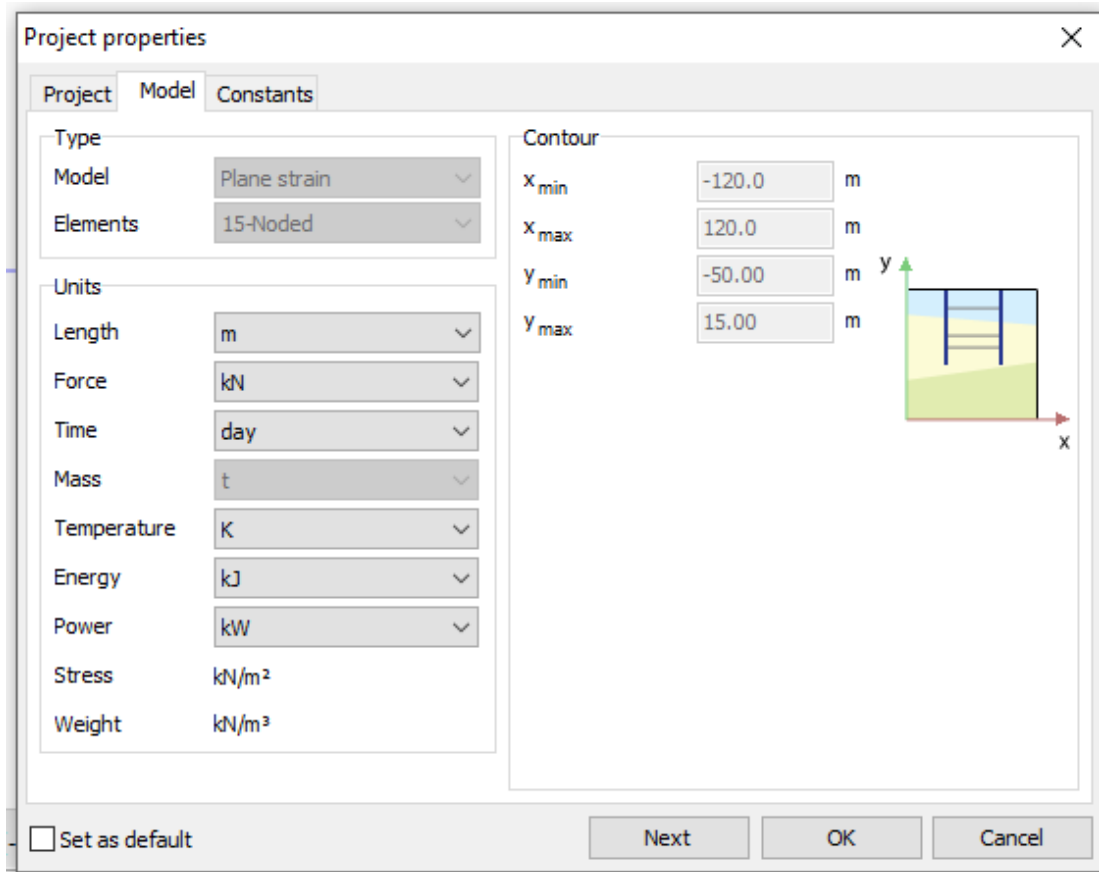
Plaxis 2D Output, input kısmında yapılan hesapların sonuçları hem grafik hem de tablolar halinde görüntülenebilir. Deplasmanlar, gerilmeler ve birim deformasyonların hesap sonuçları ve grafikleri alınabilir. Ayrıca su akış analiz sonuçları, dinamik analiz sonuçları, yapısal kuvvetler, enkesit, rapor oluşturma ve animasyon oluşturma imkanları mevcuttur.

Programda zemin özelliklerini belirlemek amacıyla zemin mekaniği problemlerinin analizinde çok yaygın olarak kullanılan Mohr-Coulomb (MC), kum, çakıl gibi kohezyonsuz zeminlerde ve çok aşırı konsolide kohezyonlu zeminlerde kullanılan Hardening Soil Model (HS), geoteknik problemlerin analizinde sıkça kullanılan efektif gerilmelere göre analiz yapan ve yumuşak zeminlerin davranışını daha iyi modelleyebilen Soft Soil Creep Model (SSC) ve Lineer Elastic Model olmak üzere dört farklı zemin modeli kullanılabilir. Mohr-Coulomb modelinde malzeme davranışı elasto plastik olarak alınmıştır. Bu modelde Young Modülü (E), Poisson oranı (ν), içsel sürtünme açısı (ϕ), genleşme açısı (ψ), zemin kuru ve doğal birim hacim ağırlıkları (γ_d ve γ_{nat}), yatay ve düşey permeabilite katsayıları (k_x ve k_z) ve zeminin herhangi bir yapısal elemanla temasta olması durumunda ara yüzey elemanlar tanımlanmaktadır. Tüm malzeme parametreleri tanımlandıktan sonra her bir malzeme ilgili ortama atanarak sonlu elemanlar ağının oluşturulması safhasına geçilir.

3.4. Model Özellikleri

3.4.1. Sonlu eleman ağı boyutlarının seçimi ve eleman sayısının belirlenmesi

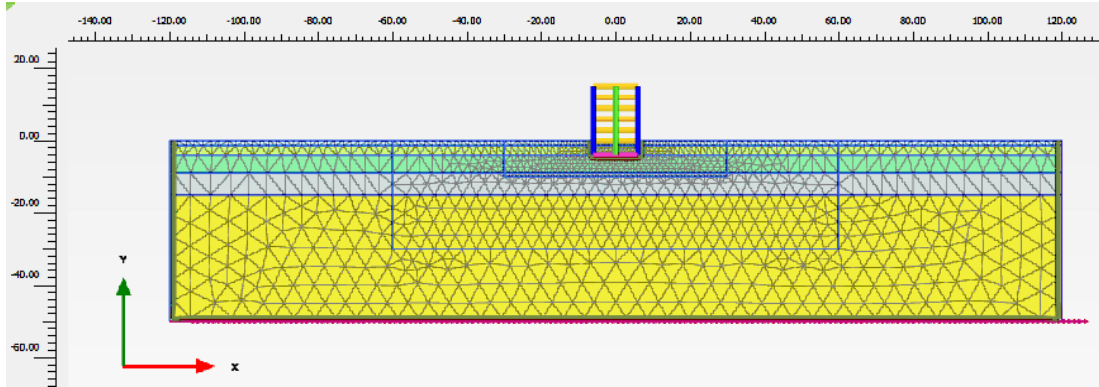
Sonlu eleman ağı boyutlarının x, y ve z eksenlerin de alınan farklı değerler ile yapılan farklı modellerde çözümlere bakıldığında, model boyutlarının daha büyük olduğu durumlarda gerilme ve deplasmanların dağılımında önemli değişiklikler görülmemiştir. Sonlu eleman boyutları ana çözümlerde kullanılmak üzere Şekil 3.4.'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Sonlu eleman ağı boyutları

Sonlu eleman çözümünde gerilmelerin yüksek olduğu yerlerde elemanların sıklaştırılması ile sonuçlar daha gerçekçi olarak bulunmakta, ağın kenar ve köşelerine doğru ise elemanların büyütülmesi ile büyük hacimli problemlerde eleman sayısının gereğinden fazla olmasını önlemekte, böylece çözüm zamanından önemli ölçüde

tasarruf sağlamaktadır (Potts ve Zdravkovic, 2001; Reul ve Randolph, 2002). Bu doğrultuda eleman büyüklüklerinin ve sayılarının farklı olduğu modellerde deneme çözümü yapılarak sonuçta kullanımı uygun bulunan sonlu eleman modeli Şekil 3.5.'te görülmektedir.



Şekil 3.5. Sonlu eleman ağı iki boyutlu görünümü.

3.4.2. Sınır şartlarının belirlenmesi

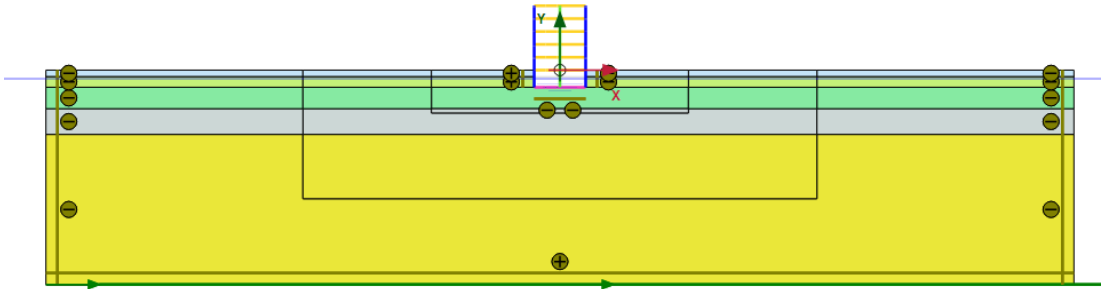
Oluşturulan modellerde gerçeğe yakın çözümler yapmak için sınır şartlarının belirlenmesi çok önemlidir. Bu çalışmada, sınırsız ortam olarak kabul edilen zemin sonlu serbestlik dereceli ayrık bir sisteme dönüştürülerek modellenmesi uygun sınır şartlarının kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir.

Dalga yayılım probleminin sonlu eleman simülasyonu için yük kaynağından uzak bölgelere iletilen dalgaları model sınırlarında serbest bırakmak ve yayılan enerjiyi bu kesim noktasında tüketmek için viskoz sönümleyici elemanlar (White ve diğ., 1977) ve sonsuz elemanlar (Lynn ve Hadid, 1981) kullanılmaktadır. Bu yakın sınırlarla hapsedilen ortamdaki dalgaların karmaşık bir şekilde saçılması nedeniyle sonsuza uzanan bölgelerdeki gerçek dalga yayılma hareketi tam idealize edilmediği için doğruluk düzeyi tartışılır sonuçlar elde edilmektedir.

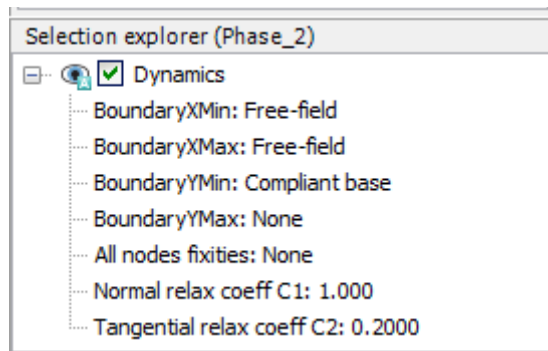
Dinamik analizlerde viskoz yapay sınırların geçirimsizliğinin tanımlanmasındaki belirsizliklerden dolayı sınırlarda olası dalga yansımalarının yapısal davranışının kararlılığını bozmasına yol açmadan kalıcı titreşimi elde etmek için bölge sınırlarını

statik çözümlere göre daha uzakta oluşturmak güvenli bir çözüm yoludur. Yapılan araştırmalardan bu sınır yerlerinin üst yapıdan en az temel taban genişliğinin 8-10 katı kadar uzakta olacak şekilde düzenlenmesi gerektiği önerilmektedir (Rosset ve Kausel, 1976). Aksi takdirde gerilme dalgalarının sınırlardan yansıyor tekrar problemin ele alındığı bölgeye geri dönmesi sonucunda sayısal sonuçların hassasiyetinin bozulmasına yol açacaktır.

Bu çalışmada yansımaların etkisini yok etmek için yapay sönümleyicilerin yapının merkezine sağ tarafından 120 m, sol tarafından 120 m sınırlara uzakta olacak şekilde yerleştirilmesiyle özel önlem alınmıştır. Geliştirilen çözüm yönteminde, sistemden dışarıya doğru yayılan ve zeminin sonsuzluğu nedeni ile zemin ortamında kaybolan enerjiyi tanımlamak için bölgenin sınırlarında eşdeğer anlamda kullanılan, radyasyon sönümü adı verilen ve malzeme sönümü ile ilgisi bulunmayan bir sönüm mekanizması kullanılmıştır (Şekil 3.6.). Kullanılan sınır şartlarının soğrulma karakteristikleri dalgaların frekansına bağlı olmadığı için bu yapay sınırlar hem harmonik hem de harmonik olmayan dalgaları sönümleyebilmektedir (Şekil 3.7.).



Şekil 3.6. Yapı- zemin etkileşim problemi için geliştirilen sonlu eleman modeli.

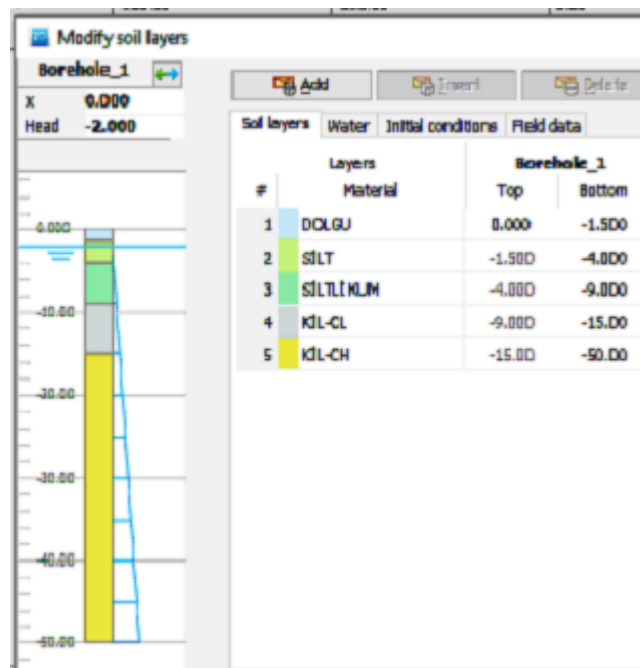


Şekil 3.7. Kullanılan sınır şartları görülmektedir.

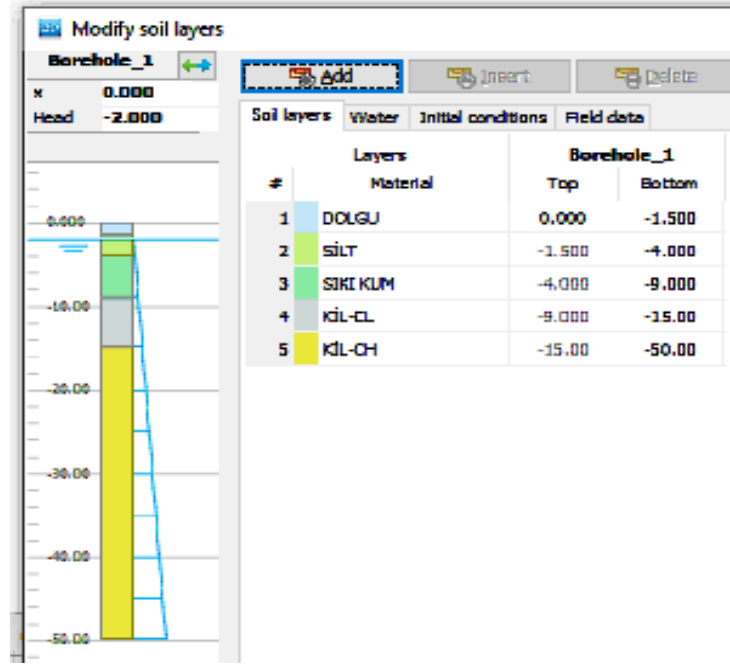
Sınırlarda enerjinin tam anlamıyla tüketilebilmesi dalgaların geçme açısına bağlıdır. Mühendisliğin pratik uygulamaları açısından, gelen dalgaların sınırlara dik veya küçük açıyla ($\theta \leq 30$) etki ettiği varsayıldığından, boyutsuz iyileştirme katsayıları (c_1 ve c_2) birim değerinde hesaba katılmaktadır. Bu çalışmada basınç dalgası için $c_1=1$ ve kayma dalgasının sınırlarda rasyonel ölçüde geçirirmliliğini sağlamak için tavsiye edilen değeri $c_2=0.2$ olarak alınmıştır (Brinkgreve ve diğ., 2002).

3.4.3. Yapı, zemin ve ara yüzey özellikleri

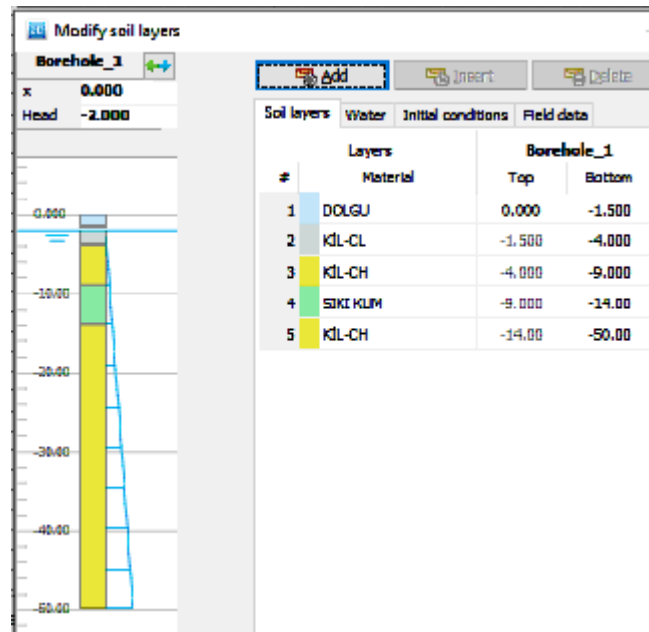
Adapazarı zemin özellikleri dikkate alınarak seçilen 3 ayrı kesitte 5 tabaka bulunmaktadır. Tip1 kesitinde, ilk 1.5 m dolgu tabakasıdır. 1.5 m ile 4.0 m arası silt (ML), 4.0 m ile 9.0 m arası siltli kum (SM), 9.0 m ile 15.0 m arası kil (CL), 15.0 m ile 50.0 m arası kil (CH) tabakasından oluşmaktadır (Şekil 3.8.). Tip 2 kesitinde, ilk 1.5 m dolgu tabakasıdır. 1.5 m ile 4.0 m arası silt (ML), 4.0 m ile 9.0 m arası sıkı kum (SP), 9.0 m ile 15.0 m arası kil (CL), 15.0 m ile 50 m arası kil (CH) tabakasından oluşmaktadır (Şekil 3.9.). Tip 3 kesitinde, ilk 1.5 m dolgu tabakasıdır. 1.5 m ile 4.0 m arası kil (CL), 4.0 m ile 9.0 m arası kil (CH), 9.0 m ile 14.0 m arası sıkı kum (SP), 14.0 m ile 50.0 m arası kil (CH) tabakasıdır (Şekil 3.10.).



Şekil 3.8. Adapazarı kent merkezi zemin profili tip1.



Şekil 3.9. Adapazarı kent merkezi zemin profili tip2.



Şekil 3.10. Adapazarı kent merkezi zemin profili tip3.

Malzeme tipi, sıkı kum tabakasında yükleme anında boşluk suyu basıncı oluşmadığı kabulü ile “drenajlı”, diğerleri ise “drenajsız” seçilmiştir. Plaxis yazılımı, efektif parametreler (E' , ν' , c' , ϕ') ile hesap yapılmaktadır. Zemin özellikleri pekleşen zemin modeli ile temsil edilmiştir. Sıkı kum tabakasının özellikleri Sert (2003) tarafından, koni penetrasyon deneyi sonuçları kullanılarak Robertson ve Campanella (1983),

Lunne vd. (1997) ve Lengkeek (2003) uyarınca bulunduğu haliyle kullanılmıştır. Aynı şekilde sıkı kum tabakasının üstünde ve altında yer alan killi tabakaların özellikleri Sert (2003) tarafından laboratuvarında yapılan CIU üç eksenli deneylerden ve konsolidasyon deneylerinde ölçülmüştür. Seçilen modelde kullanılan zemin, yapı ve ara yüzey özellikleri Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Modelde kullanılan zemin, yapı ve ara yüzey özellikleri

Derinlik (m)	0-1.5	1.5-4.0	4.0-9.0	9.0-15.0	15.0-50.0	Değişken zemin	Yapı
İsim	Dolgu	Silt	Sıkı kum	Kil	Kil	Siltli Kum	Beton
Malzeme modeli	HS	HS	HS	HS	HS	HS	Lineer elastik
Malzeme tipi	Drenajlı	Drenajsız	Drenajlı	Drenajsız	Drenajsız	Drenajlı	Geçirimsiz
$\rho_{\text{doğgun}}$ (kN/m ³)	17	19	21	19	20	20	24
Power(m)	0.5	0.6	0.5	0.8	0.8	0.5	---
E_{50}^{ref} (kPa)	10.000	15.000	37.500	20.000	25.000	16.000	30.000.000
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$ (kPa)	10.000	15.000	37.500	20.000	25.000	16.000	---
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$ (kPa)	30.000	45.000	112.500	60.000	75.000	48.000	---
c'_{ref} (kN/m ²)	1	30	1	60	80	1	---
ϕ' (°)	20	20	40	15	15	30	---
ψ (°)	0	0	10	0	0	10	---
v'_{ur}	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
P_{ref} (kPa)	100	100	100	100	100	100	---
K_0^{nc}	0.5152	0.500	0.3572	0.7412	0.7412	0.500	---
R_{inter}	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	---

3.4.4. Hardening-Soil model

Akma yüzeyi asal gerilme uzayında sabit değildir. Pekleşme, kayma pekleşmesi ve sıkışma pekleşmesi şeklindedir. Drenajlı üç eksenli deneyin özel bir durumunda, eksenel şekil değiştirme ve deviatorik gerilme arasında tanımlanan ilişki bir hiperbol ile modellenmektedir. Hardening-soil model hiperbolik modelin yerini almış daha gelişmiş bir modeldir.

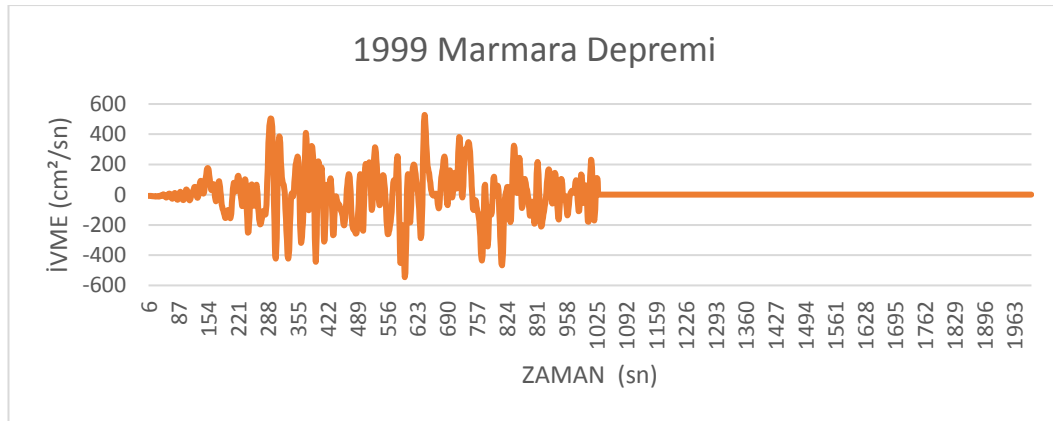
Model Özellikleri

- Gerilme, üstel bir kurala göre rijitliğe bağlıdır.
- Bir referans deviator gerilmeye plastik şekil değiştirme oluşur.
- Bir referans sıkışma basıncına göre plastik şekil değiştirme oluşur.
- Elastik yükleme ve boşaltma
- Mohr coulomb göçme kriteri ile akma ve göçme hesapları yapılabilir.

3.4.5. Nümerik analizlerde kullanılan dinamik modül girdileri

Adapazarı deprem bölgeleri haritasında 1. derece deprem bölgesi içinde kalmaktadır. Moment büyüklüğü 7.4 olan 1999 Marmara depremi eski bir göl yatağı ve taşkın havzası olan şehir merkezinde SKR doğu batı istasyonunda maksimum yer ivmesi 0.407 g olarak ölçülmüştür.

Plaxis dinamik modülü gerçek deprem kaydı (.SMC) kullanarak analiz yapmaktadır. Bu çalışmamızda 1999 marmara depremi kayıtları kullanılmıştır (Şekil 3.11.).

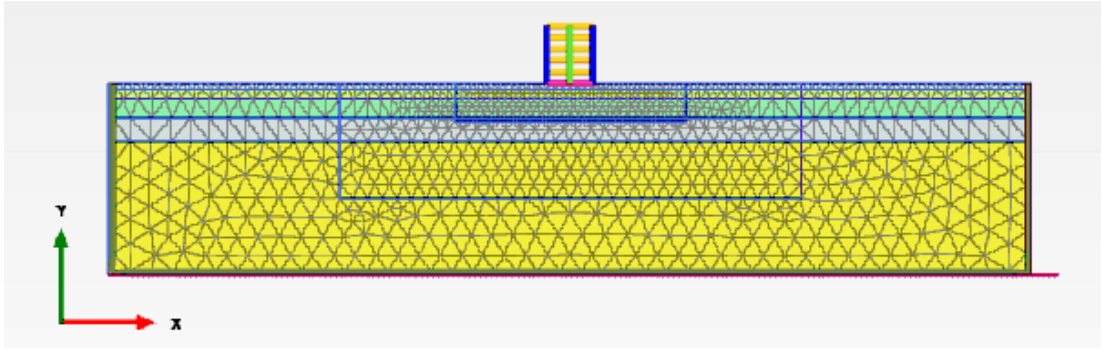


Şekil 3.11. 17.08.1999 $M_w=7.4$ Marmara depremi gözlenmiş ivme zaman grafiği.

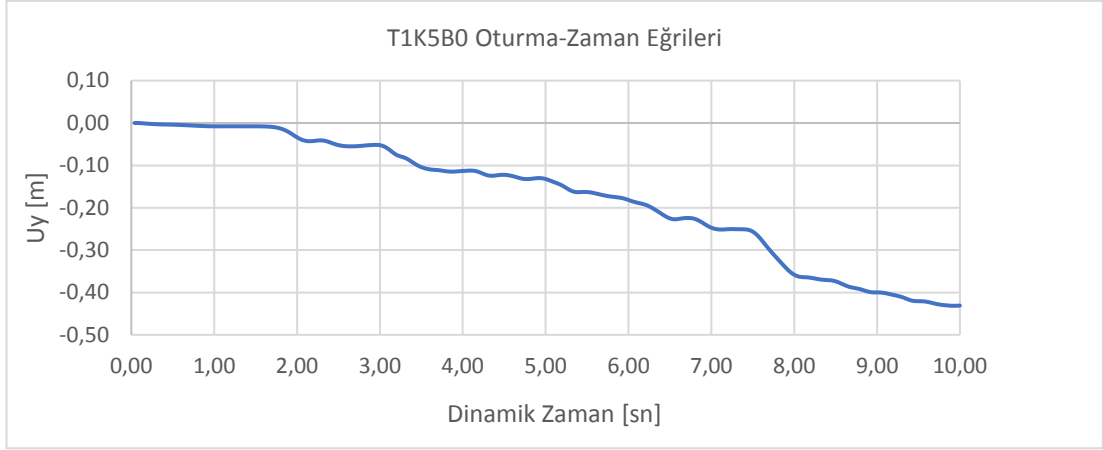
BÖLÜM 4. SAYISAL ÇÖZÜMLER

4.1 Sayısal Analizlere Giriş

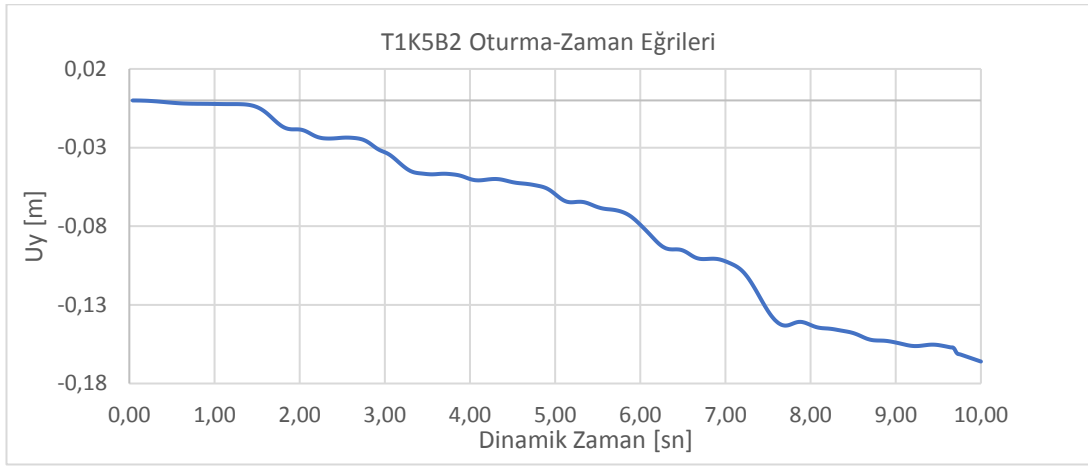
Hesaplamalarda kullandığımız bilgisayar, intel(R) Core™ İ7 CPU Q720 1.60 GHz işlemci, 8 GB yüklü bellek (RAM), 64 bit işletim sistemine sahiptir. Bu çalışma için Plaxis 2D yazılımı kullanılarak 29 adet model oluşturulmuştur. Hesaplamalar 3 aşamada yapılmaktadır. Bu hesaplar 5 katlı ve bodrumlu bir binada oluşturduğumuz meshlere bağlı olarak 17946 adet düğüm noktasında, 25284 adet basınç noktasında ve 2107 element üzerinde yapılmaktadır. Bir modelin hesabı 1050 sn (17.5 dk) sürmektedir. İlk önce bodrumsuz bir model oluşturulmuştur (Şekil 4.1.). Bu binada hesaplamalar yapılırken dinamik modüle 1999 marmara depremi gerçek deprem kayıtları yüklenerek, beş katlı bodrumsuz binanın temelının alt noktasındaki oturmalar bulunmuştur.



Şekil 4.1. Bodrumsuz 5 katlı bina modeli

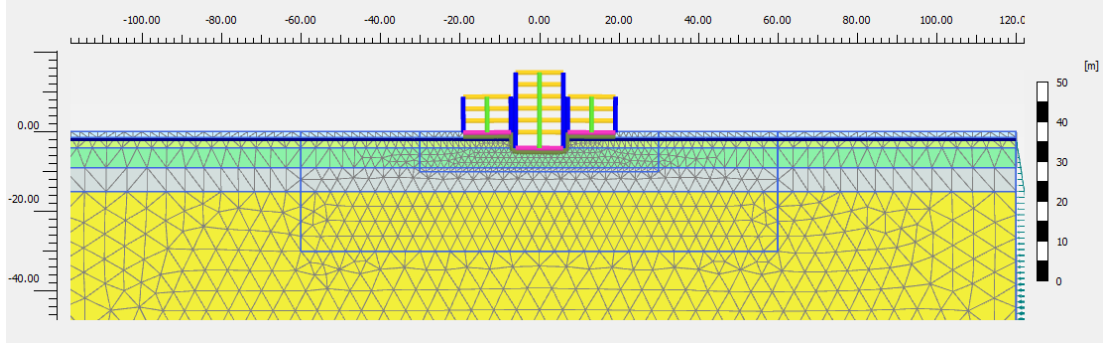


Şekil 4.2. Bodrumsuz 5 katlı binanın oturma-zaman grafiği

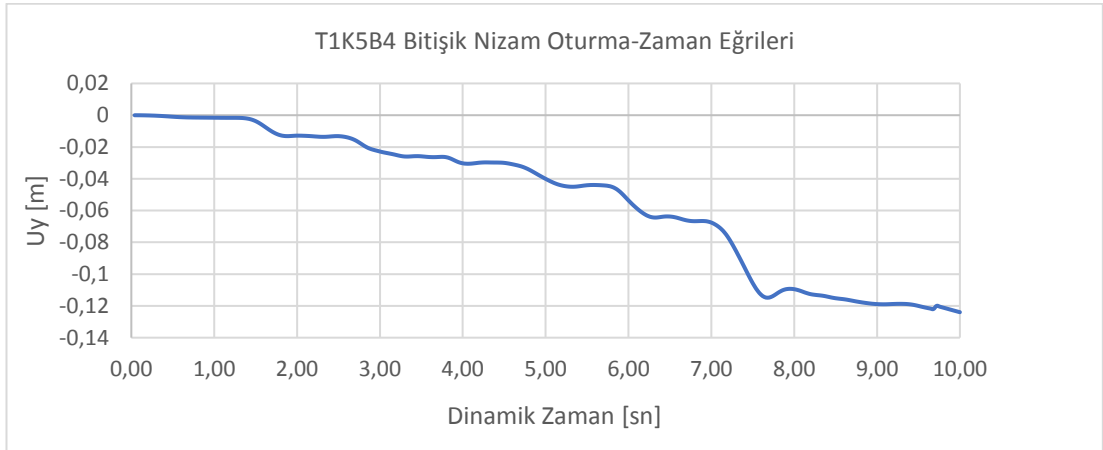


Şekil 4.3. Tip1 zemininde 5 katlı 2m bodrumlu binanın oturma-zaman grafiği

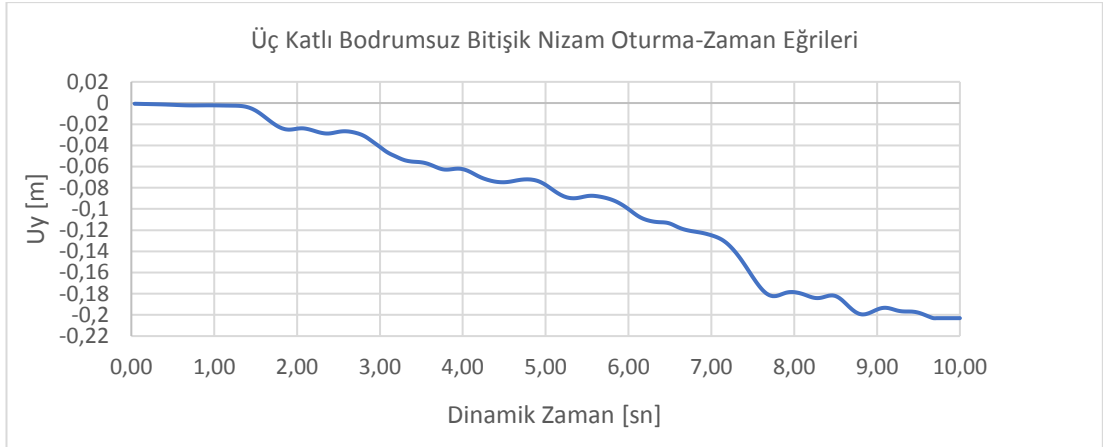
Yapılan hesaplar sonucunda Tip 1 zemininde bodrumsuz, beş katlı bina dinamik durumda 43 cm oturma yapmıştır (Şekil 4.2.). Aynı zeminde 5 katlı 2 m bodrumlu bina dinamik durumda 17 cm oturma yapmıştır. Bu binanın statik durumdaki oturmaları 9.4 cm bulunmuştur(Şekil 4.3.). Diğer bir modelde beş katlı bodrumlu binanın iki yanına bodrumsuz beş katlı bina konularak binalarda oluşacak oturmalar hesaplanmak istenmiştir. Fakat dinamik hesaplama sırasında zeminin yenildiği gözlenmiştir. Ayrıca beş katlı, bodrumlu bir binanın yanlarına üç katlı, bodrumsuz iki adet bina konulmuştur (Şekil 4.4.). Bu modelin hesaplanması sonucun da bodrumlu binanın oturmalarının fazla olması gözlenmiştir (Şekil 4.5.). Bununla birlikte bu binaya bitişik olan bodrumsuz üç katlı binaların oturmalarının azaldığı görülmektedir (Şekil 4.6.).



Şekil 4.4. Bitişik nizam modelleme



Şekil 4.5. Bitişik bodrumlu binanın oturma grafiği



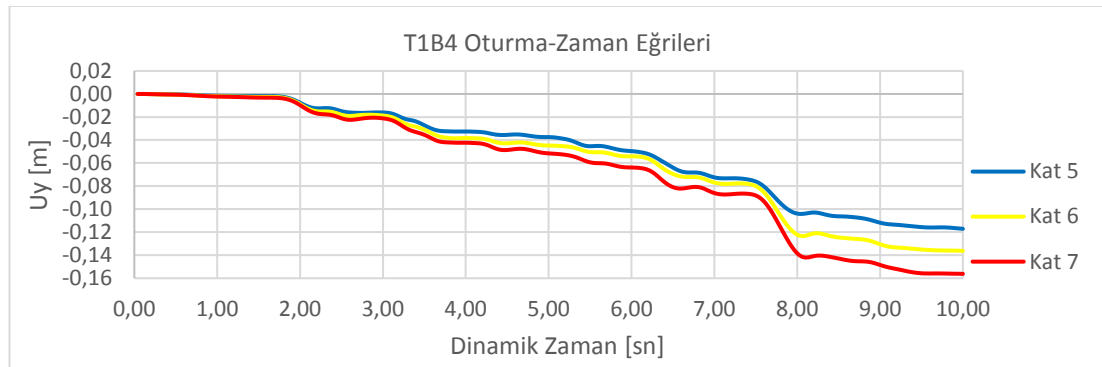
Şekil 4.6. Bitişik bodrumsuz üç katlı binanın oturma grafiği

4.2. Sayısal Analizlerin Grafikleri ve Yorumlar

Bu yapılan modeller bizim için aynı zamanda referans noktaları olmuştur. Asıl modellerimiz 27 adettir. Bu modeller, zemin tipi, kat adedi ve bodrum kat derinliği

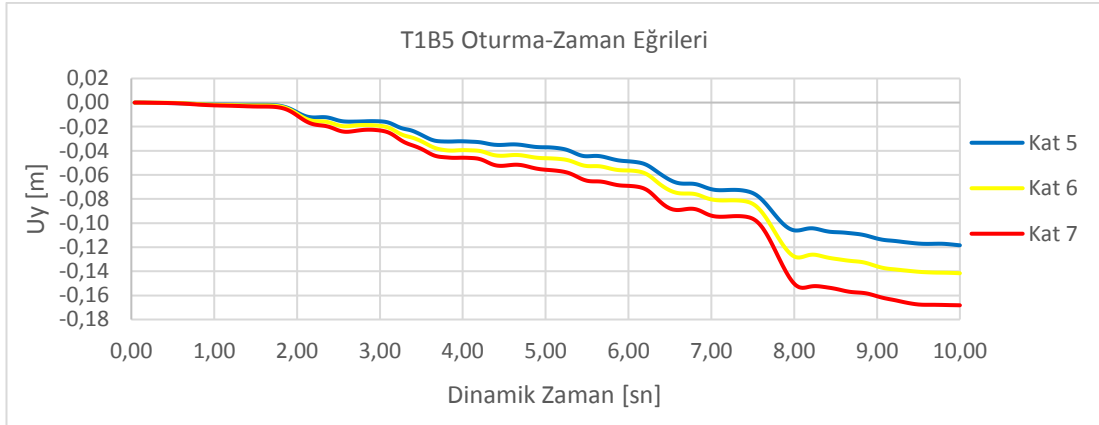
özelliklerinin kombinasyonudur. Üç tip zemin modellenmiştir. Zemin modelleri T1, T2, T3 olarak sembolleştirilmiştir. Grafiklerin sağ üst köşesinde görülen T1 sembolü bu modelde tip 1 zemin özelliklerinin kullanıldığını göstermektedir. Tip1 kesitinde, ilk 1.5 m dolgu tabakasıdır. 1.5 m ile 4.0 m arası silt (ML), 4.0 m ile 9.0 m arası siltli kum (SM), 9.0 m ile 15.0 m arası kil (CL), 15.0 m ile 50.0 m arası kil (CH) tabakasından oluşmaktadır. Kat yükseklikleri 3 m alınmıştır. Buna göre 5 katlı, 6 katlı ve 7 katlı bina modellenmiştir. Zemin modellerinde olduğu gibi K5, K6, K7 olarak sembolleştirilmiştir. Bodrum kat yükseklikleri 4m, 5m ve 6m seçilmiştir. Bunlarda zemin ve kat adetlerinde olduğu gibi B4, B5 ve B6 olarak sembolleştirilmiştir. Oluşturulan bu modeller Plaxis 2D yazılımı ile hesaplanmıştır. Bu hesaplama sonucu binanın altında oluşan oturma- zaman grafikleri incelenecektir.

4.2.1. Kat sayısının etkisi



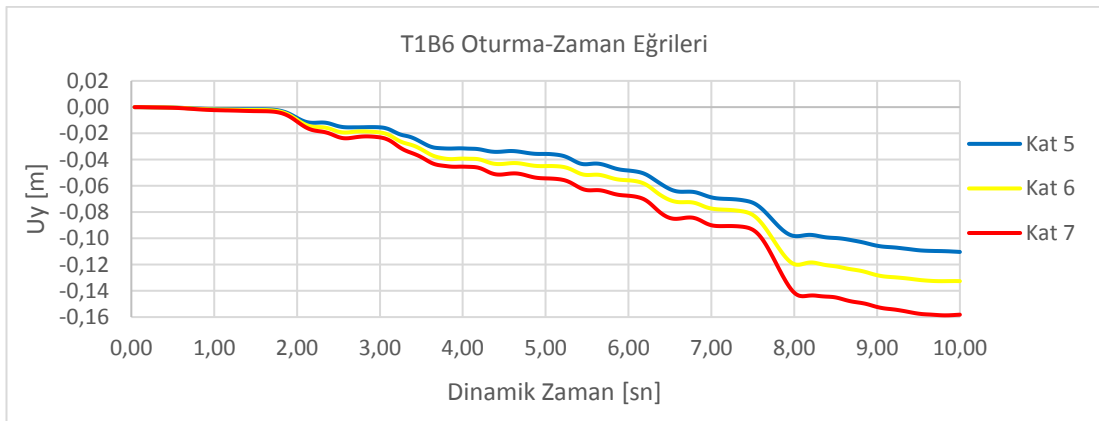
Şekil 4.7. Tip 1 zeminde, bodrum kat 4 m, 5, 6 ve 7 katlı binaların oturma grafiği

Tip 1 zemininde bodrum kat yüksekliği 4m seçilerek 5, 6 ve 7 katlı binaların oturma-zaman grafiği Şekil 4.7.'de gösterilmektedir. Bina kat adedi arttıkça binanın toplam ağırlığı da artmaktadır. Dolayısı 7 katlı binada oturmaların daha fazla olduğu görülmektedir. Oturmalar Tablo 4.1.'de de verildiği gibi sırası ile 11,80 cm, 13,80 cm ve 15,80 cm'dir. Statik durumdaki oturmalar 5,00 cm, 6,21 cm ve 7,43 cm bulunmuştur.



Şekil 4.8. Tip 1 zeminde, bodrum kat yüksekliği 5 m, 5, 6 ve 7 katlı binaların oturma grafiği

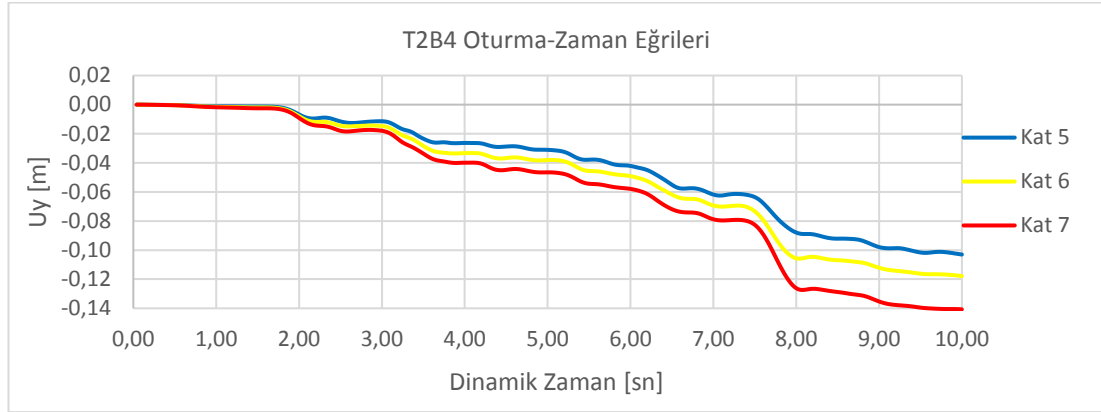
Tip 1 zemininde bodrum kat yüksekliği 5 m seçilerek 5, 6 ve 7 katlı binaların oturma-zaman grafiği Şekil 4.8.'de gösterilmektedir. Bina kat adedi arttıkça binanın toplam ağırlığı da artmaktadır. Dolayısı ile kat adedi fazla olan 7 katlı binada oturmaların daha fazla olduğu görülmektedir. Oturmalar Tablo 4.1.'de de verildiği gibi sırası ile 12,00 cm, 14,00 cm ve 17,00 cm'dir. Statik durumdaki oturmalar 4,86 cm, 6,50 cm ve 7,67 cm bulunmuştur. Böyle bir durumda depremden sonra oturmaların yaklaşık olarak 2 kat arttığı görülmektedir.



Şekil 4.8. Tip 1 zeminde, bodrum kat yüksekliği 6 m, 5, 6 ve 7 katlı binaların oturma grafiği

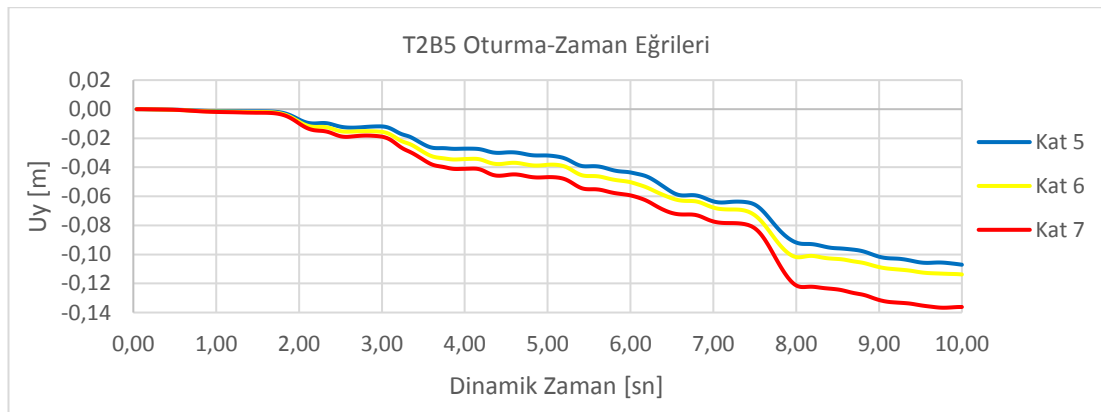
Tip 1 zemininde bodrum kat yüksekliği 6 m seçilerek 5, 6 ve 7 katlı binaların oturma-zaman grafiği Şekil 4.8.'de gösterilmektedir. Bina kat adedi arttıkça binanın toplam ağırlığı da artmaktadır. Dolayısı ile kat adedi fazla olan 7 katlı binada oturmaların daha fazla olduğu görülmektedir. Oturmalar Tablo 4.1.'de de verildiği gibi sırası ile 11,00

cm, 13,00 cm ve 16,00 cm'dir. Statik durumdaki oturmalar 4,57 cm, 5,79 cm ve 7,14 cm bulunmuştur. Temel gömme derinliği arttıkça oturmaların azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.9. Tip 2 zeminde, bodrum kat 4 m, 5, 6 ve 7 katlı binaların oturma grafiği

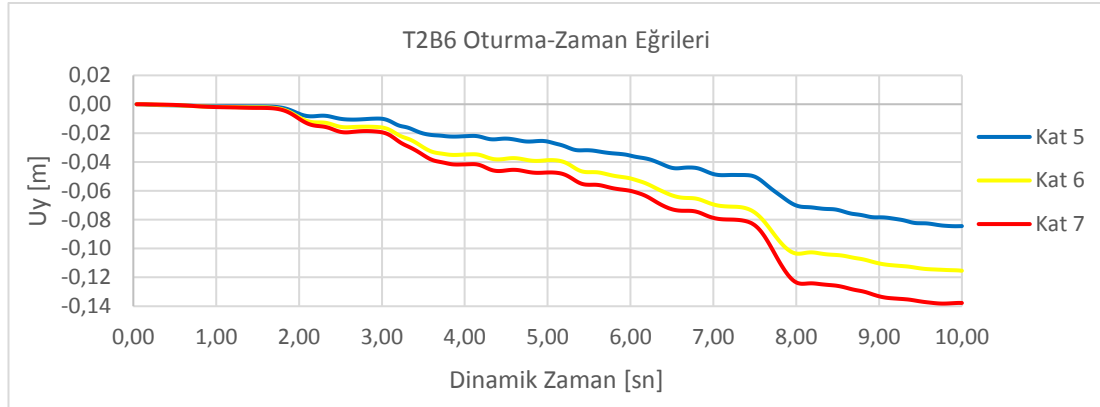
Tip 2 zemininde bodrum kat yüksekliği 4m seçilerek 5, 6 ve 7 katlı binaların oturma-zaman grafiği Şekil 4.9.'da gösterilmektedir. Bina kat adedi arttıkça binanın toplam ağırlığı da artmıştır. Dolayısı ile kat adedi fazla olan 7 katlı binada oturmaların daha fazla olduğu görülmektedir. Oturmalar Tablo 4.2.'de de verildiği gibi sırası ile 10,00 cm, 12,00 cm ve 14,00 cm'dir. Statik durumdaki oturmalar 3,19 cm, 4,16 cm ve 5,25 cm bulunmuştur.



Şekil 4.10. Tip 2 zeminde, bodrum kat 5 m, 5, 6 ve 7 katlı binaların oturma grafiği

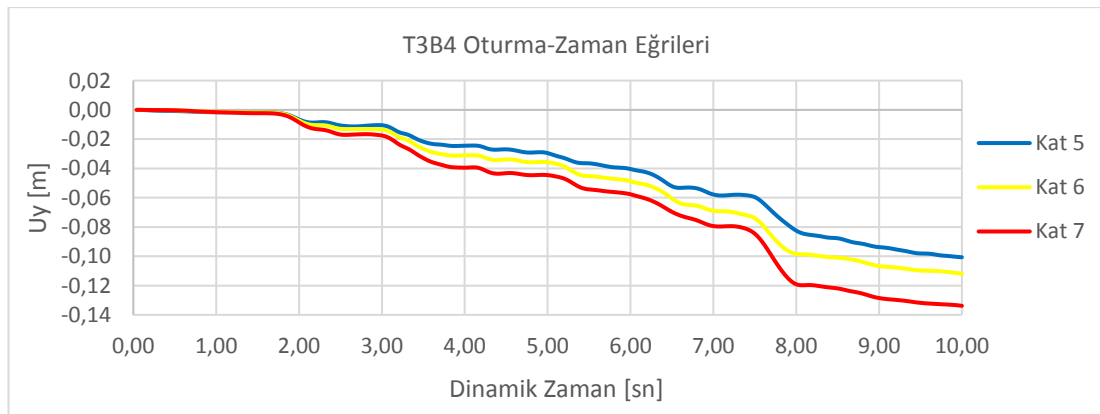
Tip 2 zemininde bodrum kat yüksekliği 5 m seçilerek 5, 6 ve 7 katlı binaların oturma-zaman grafiği Şekil 4.10.'da gösterilmektedir. Bina kat adedi arttıkça binanın toplam ağırlığı artmaktadır. Dolayısı ile kat adedi fazla olan 7 katlı binada oturmaların daha

fazla olduğu görülmektedir. Oturmalar Tablo 4.2.'de de verildiği gibi sırası ile 10,30 cm, 11,20 cm ve 13,30 cm'dir. Statik durumdaki oturmalar 3,36 cm, 4,32 cm ve 5,44 cm bulunmuştur. Tip 2 zemini Tip 1 zeminine göre daha sağlam tabakalardan oluştuğu için oturmaların daha düşük çıktığı görülmektedir.



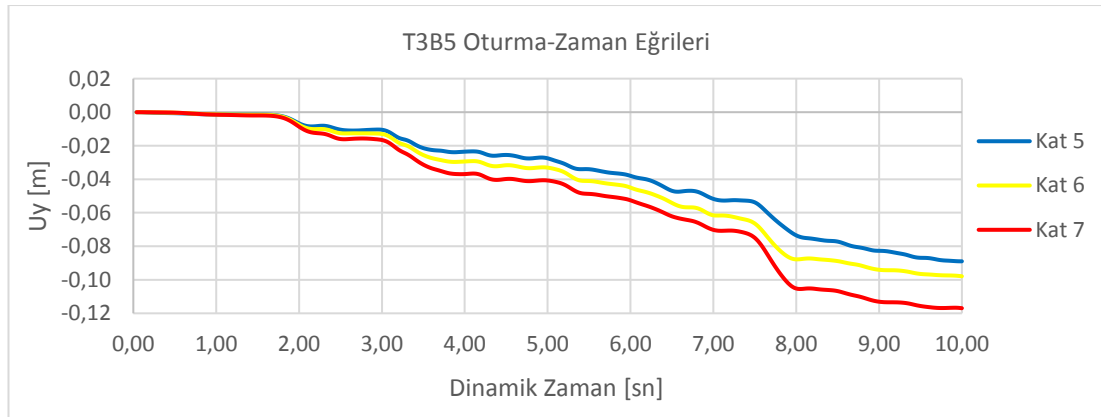
Şekil 4.11. Tip 2 zeminde, bodrum kat 6 m, 5, 6 ve 7 katlı binaların oturma grafiği

Tip 2 zemininde bodrum kat yüksekliği 6 m seçilerek 5, 6 ve 7 katlı binaların oturma-zaman grafiği Şekil 4.11.'de gösterilmektedir. Bina kat adedi arttıkça binanın toplam ağırlığı da artmaktadır. Dolayısı ile kat adedi fazla olan 7 katlı binada oturmaların daha fazla olduğu görülmektedir. Oturmalar Tablo 4.2.'de de verildiği gibi sırası ile 8,50 cm, 11,50 cm ve 13,80 cm'dir. Statik durumdaki oturmalar 3,10 cm, 4,22 cm ve 5,27 cm bulunmuştur. Tip 2 zemini Tip 1 zeminine göre daha sağlam tabakalardan oluştuğu için oturmaların daha düşük çıktığı bulunmuştur. Ayrıca bu tür zeminlerde bodrumlu 5 katlı bina yapılabirliği görülmektedir.



Şekil 4.12. Tip 3 zeminde, bodrum kat 4 m, 5, 6 ve 7 katlı binaların oturma grafiği

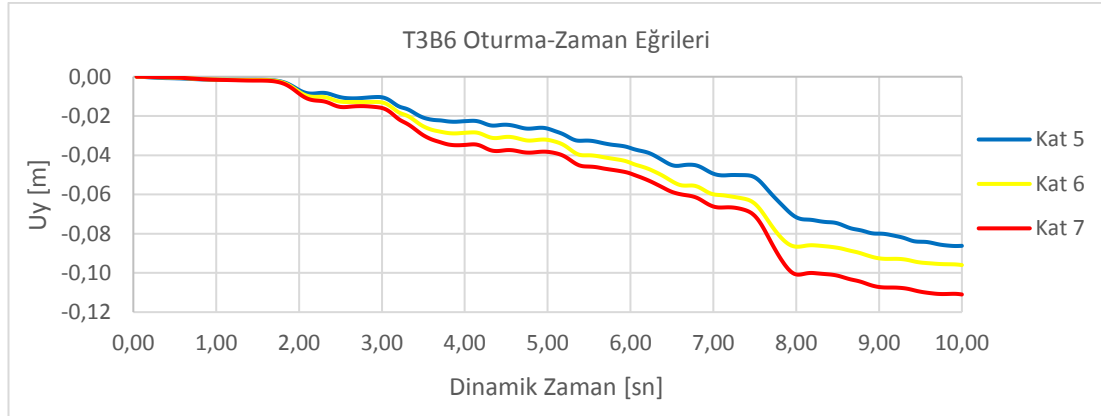
Tip 3 zemininde bodrum kat yüksekliği 4 m seçilerek 5, 6 ve 7 katlı binaların oturma-zaman grafiği Şekil 4.12.'de gösterilmektedir. İlk 1.5 m dolgu tabakasıdır. 1.5 m ile 4.0 m arası kil (CL), 4.0 m ile 9.0 m arası kil (CH), 9.0 m ile 14.0 m arası sıkı kum (SP), 14.0 m ile 50.0 m arası kil (CH) tabakasıdır (Şekil 3.10.). Bina kat adedi arttıkça binanın toplam ağırlığı da artmaktadır. Dolayısı ile kat adedi fazla olan 7 katlı binada oturmaların daha fazla olduğu görülmektedir. Oturmalar Tablo 4.3.'de de verildiği gibi sırası ile 10,00 cm, 11,00 cm ve 13,50 cm'dir. Statik durumdaki oturmalar 2,71 cm, 3,75 cm ve 4,85 cm bulunmuştur. Tip 3 zemini Tip 2 ve Tip 1 zeminlerine göre daha sağlam tabakalardan oluştuğu için oturmaların daha düşük çıktığı görülmektedir.



Şekil 4.13. Tip 3 zeminde, bodrum kat 5 m, 5, 6 ve 7 katlı binaların oturma grafiği

Tip 3 zemininde bodrum kat yüksekliği 5m seçilerek 5, 6 ve 7 katlı binaların oturma-zaman grafiği Şekil 4.13.'de gösterilmektedir. İlk 1.5 m dolgu tabakasıdır. 1.5 m ile 4.0 m arası kil (CL), 4.0 m ile 9.0 m arası kil (CH), 9.0 m ile 14.0 m arası sıkı kum (SP), 14.0 m ile 50.0 m arası kil (CH) tabakasıdır (Şekil 3.10.).

Bina kat adedi arttıkça binanın toplam ağırlığı da artmaktadır. Dolayısı ile kat adedi fazla olan 7 katlı binada oturmaların daha fazla olduğu görülmektedir. Oturmalar Tablo 4.3.'te de verildiği gibi sırası ile 8,80 cm, 9,80 cm ve 11,60 cm'dir. Statik durumdaki oturmalar 2,98 cm, 3,95 cm ve 4,95 cm bulunmuştur.



Şekil 4.14, Tip 3 zeminde, bodrum kat 6 m, 5, 6 ve 7 katlı binaların oturma grafiği

Tip 3 zemininde bodrum kat yüksekliği 6 m seçilerek 5, 6 ve 7 katlı binaların oturma-zaman grafiği Şekil 4.14, 'oe gösterilmektedir. İlk 1.5 m dolgu tabakasıdır. 1.5 m ile 4.0 m arası kil (CL), 4.0 m ile 9.0 m arası kil (CH), 9.0 m ile 14.0 m arası sıkı kum (SP), 14.0 m ile 50.0 m arası kil (CH) tabakasıdır (Şekil 3.10.). Bina kat adedi arttıkça binanın toplam ağırlığı da artmaktadır. Dolayısı ile kat adedi fazla olan 7 katlı binada oturmaların daha fazla olduğu görülmektedir. Oturmalar Tablo 4.3. 'te de verildiği gibi sırası ile 8,50 cm, 9,50 cm ve 11,00 cm'dir. Statik durumdaki oturmalar 3,06 cm, 3,93 cm ve 4,88 cm bulunmuştur. Ayrıca bu tür zeminlerde 5m bodrumlu 5 ve 6 katlı bina yapılabirliği ile 6m bodrumlu 5, 6 ve 7 katlı bina yapılabirliği görülmektedir.

Tablo 4.1. Tip 1 zemininde 4, 5 ve 6 m derinlikte bodrum katlara sahip 5, 6 ve 7 katlı binaların temel altlarında oluşan oturmalar (U_y).

U_y (cm)	T1B4		T1B5		T1B6	
	Statik	Deprem	Statik	Deprem	Statik	Deprem
K5 (5 katlı)	5,00	11,80	4,86	12,00	4,57	11,00
K6 (6 katlı)	6,21	13,80	6,50	14,00	5,79	13,00
K7 (7 katlı)	7,43	15,80	7,67	17,00	7,14	16,00

Tip1 zemininde, ilk 1.5 m dolgu tabakasıdır. 1.5 m ile 4.0 m arası silt (ML), 4.0 m ile 9.0 m arası siltli kum (SM), 9.0 m ile 15.0 m arası kil (CL), 15.0 m ile 50.0 m arası kil (CH) tabakasından oluşmaktadır (Şekil 3.8.).

Tablo 4.2. Tip 2 zemininde 4, 5 ve 6 m derinlikte bodrum katlara sahip 5, 6 ve 7 katlı binaların temel altlarında oluşan oturmalar (U_y)..

U_y (cm)	T2B4		T2B5		T2B6	
	Statik	Deprem	Statik	Deprem	Statik	Deprem
K5 (5 katlı)	3,19	10,00	3,36	10,30	3,10	8,50
K6 (6 katlı)	4,16	12,00	4,32	11,20	4,22	11,50
K7 (7 katlı)	5,25	14,00	5,44	13,30	5,27	13,80

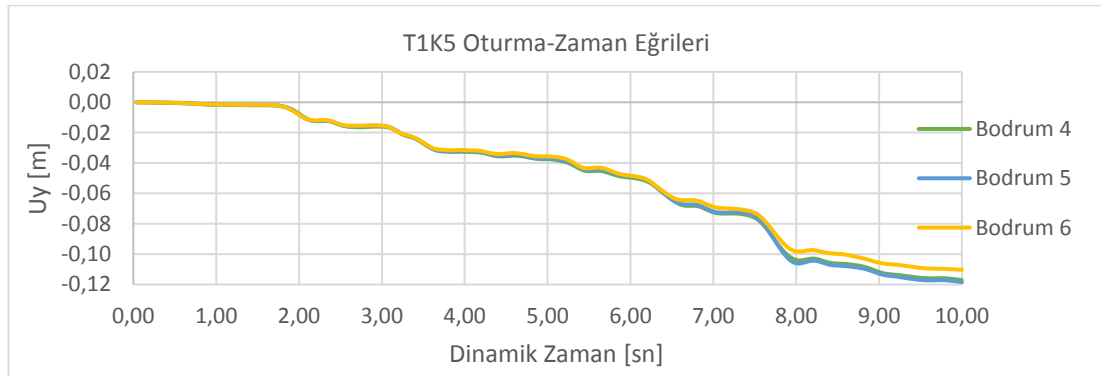
Tip 2 kesitinde, ilk 1.5 m dolgu tabakasıdır. 1.5 m ile 4.0 m arası silt (ML), 4.0 m ile 9.0 m arası sıkı kum (SP), 9.0 m ile 15.0 m arası kil (CL), 15.0 m ile 50 m arası kil (CH) tabakasından oluşmaktadır (Şekil 3.9.).

Tablo 4.3. Tip 3 zemininde 4, 5 ve 6 m derinlikte bodrum katlara sahip 5, 6 ve 7 katlı binaların temel altlarında oluşan oturmalar (U_y)..

U_y (cm)	T3B4		T3B5		T3B6	
	Statik	Deprem	Statik	Deprem	Statik	Deprem
K5 (5 katlı)	2,71	10,00	2,98	8,80	3,06	8,50
K6 (6 katlı)	3,75	11,00	3,95	9,80	3,93	9,50
K7 (7 katlı)	4,85	13,50	4,95	11,60	4,88	11,00

Tip 3 zemininde ilk 1.5 m dolgu tabakasıdır. 1.5 m ile 4.0 m arası kil (CL), 4.0 m ile 9.0 m arası kil (CH), 9.0 m ile 14.0 m arası sıkı kum (SP), 14.0 m ile 50.0 m arası kil (CH) tabakasıdır (Şekil 3.10.).

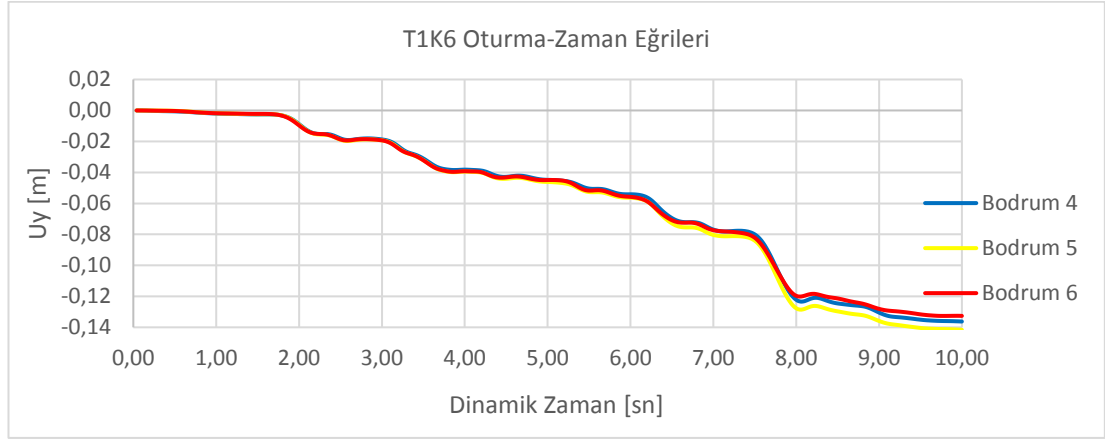
4.2.2. Bodrum kat yüksekliği etkisi



Şekil 4.15. Tip 1 zemininde, 5 katlı binada, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.

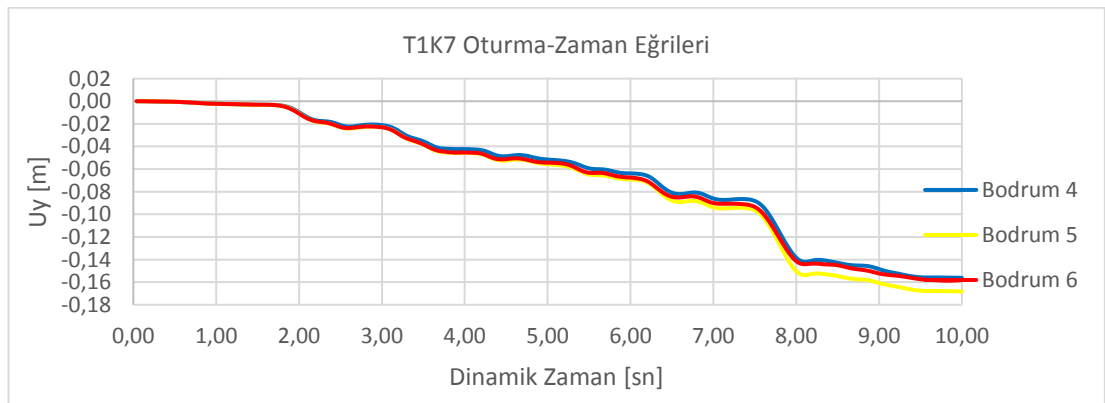
Tip 1 zemininde 5 katlı binada, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma- zaman grafiği Şekil 4.15.'te gösterilmektedir. Beş katlı bir

binada derinlik arttıkça oturmaların azaldığı görülmektedir. Oturmalar Tablo 4.4.'te de verildiği gibi sırası ile 11,00 cm, 11,90 cm ve 11,80 cm'dir. Statik durumdaki oturmalar 5,00 cm, 4,86 cm ve 4,57 cm bulunmuştur.



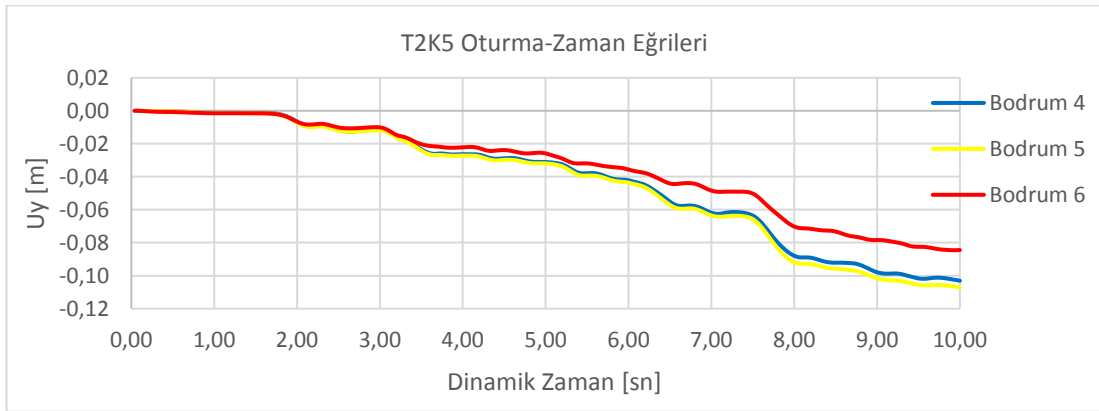
Şekil 4.16. Tip 1 zemininde, 6 katlı binada, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.

Tip 1 zemininde 6 katlı binada, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma- zaman grafiği Şekil 4.16.'te gösterilmektedir. Altı katlı bir binada derinlik arttıkça oturmaların azaldığı görülmektedir. Oturmalar Tablo 4.4.'te de verildiği gibi sırası ile 13,80 cm, 14,00 cm ve 13,20 cm'dir. Statik durumdaki oturmalar 6,21 cm 6,40 cm ve 5,79 cm bulunmuştur.



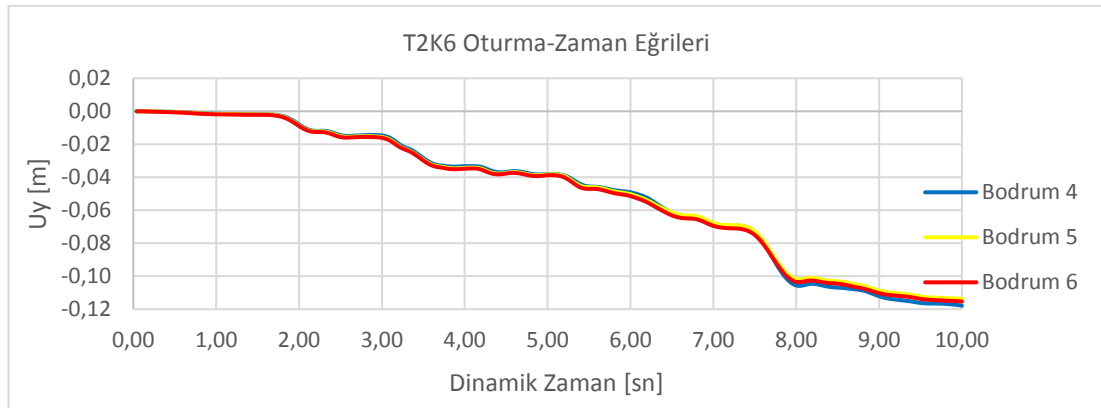
Şekil 4.17. Tip 1 zemininde, 7 katlı binada, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.

Tip 1 zemininde 7 katlı binada, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma- zaman grafiği Şekil 4.17.'de gösterilmektedir. Yedi katlı bir binada derinlik arttıkça oturmaların azaldığı görülmektedir. Oturmalar Tablo 4.4.'te de verildiği gibi sırası ile 15,80 cm, 17,00 cm ve 15,90 cm'dir. Statik durumdaki oturmalar 7,43 cm, 7,67 cm ve 7,14 cm bulunmuştur. Burada yine kat sayısı arttığından bina ağırlığı da arttığı için oturmaların arttığı görülmektedir.



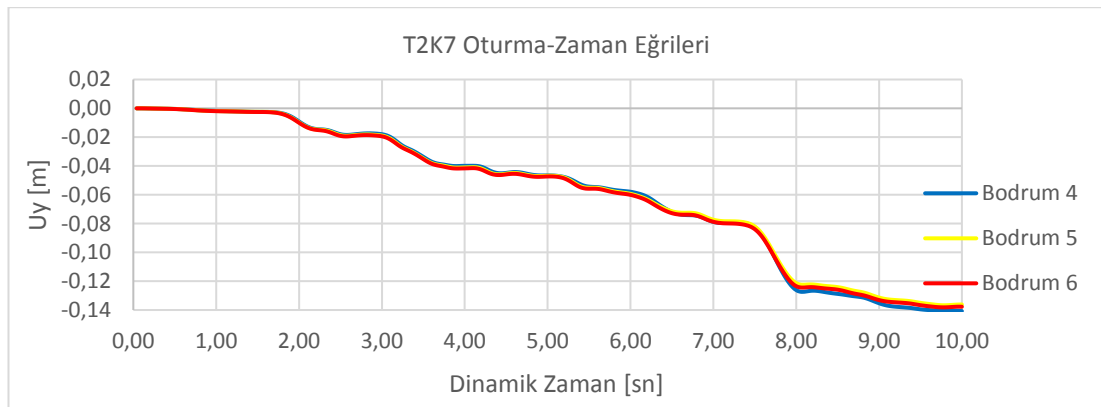
Şekil 4.18. Tip 2 zemininde, 5 katlı binada, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.

Tip 2 zemininde 5 katlı binada, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma- zaman grafiği Şekil 4.18.'de gösterilmektedir. Beş katlı bir binada derinlik arttıkça oturmaların azaldığı görülmektedir. Oturmalar Tablo 4.5.'te de verildiği gibi sırası ile 10,30 cm, 10,70 cm ve 8,50 cm'dir. Statik durumdaki oturmalar 3,19 cm, 3,36 cm ve 3,10 cm bulunmuştur. Tip 2 zemini Tip 1 zemininden daha sağlam tabakalara sahip olduğu için oturmaların daha az olduğu görülmektedir. Tip 2 zemininde 5 katlı bodrumlu bina yapılabirliği görülmektedir. Bodrum kat derinliği arttıkça oturmalar azalmaktadır.



Şekil 4.19. Tip 2 zemininde, 6 katlı binada, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.

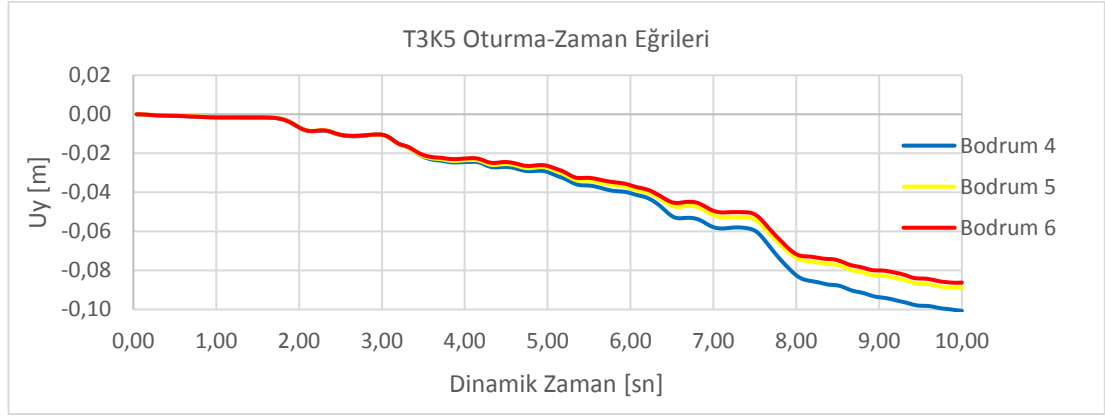
Tip 2 zemininde 6 katlı binada, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma- zaman grafiği Şekil 4.19.'da gösterilmektedir. Altı katlı bir binada derinlik arttıkça oturmaların azaldığı görülmektedir. Oturmalar Tablo 4.5.'te de verildiği gibi sırası ile 11,90 cm, 11,80 cm ve 11,80 cm'dir. Statik durumdaki oturmalar 4,16 cm, 4,32 cm ve 4,22 cm olarak bulunmuştur. Tip 2 zemini Tip 1 zemininden daha sağlam tabakalara sahip olduğu için oturmaların daha az olduğu görülmektedir.



Şekil 4.20. Tip 2 zemininde, 7 katlı binada, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.

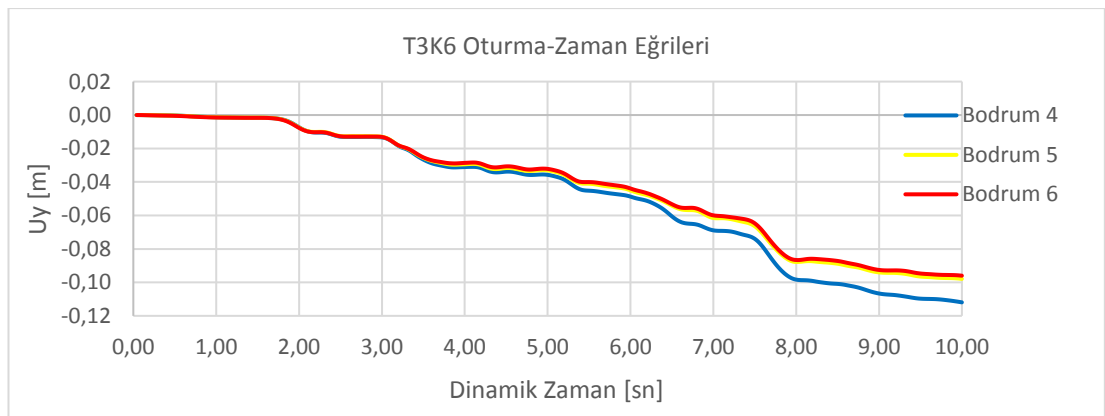
Tip 2 zemininde 7 katlı binada, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma- zaman grafiği Şekil 4.20.'de gösterilmektedir. Yedi katlı bir binada derinlik arttıkça oturmaların azaldığı görülmektedir. Oturmalar Tablo 4.5.'te de verildiği gibi sırası ile 14,00 cm, 13,80 cm ve 13,80 cm'dir. Statik durumdaki

oturmalar 5,25 cm, 5,44 cm ve 5,27 cm olarak bulunmuştur. Tip 2 zemini Tip 1 zemininden daha sağlam tabakalara sahip olduğu için oturmaların daha az olduğu görülmektedir.



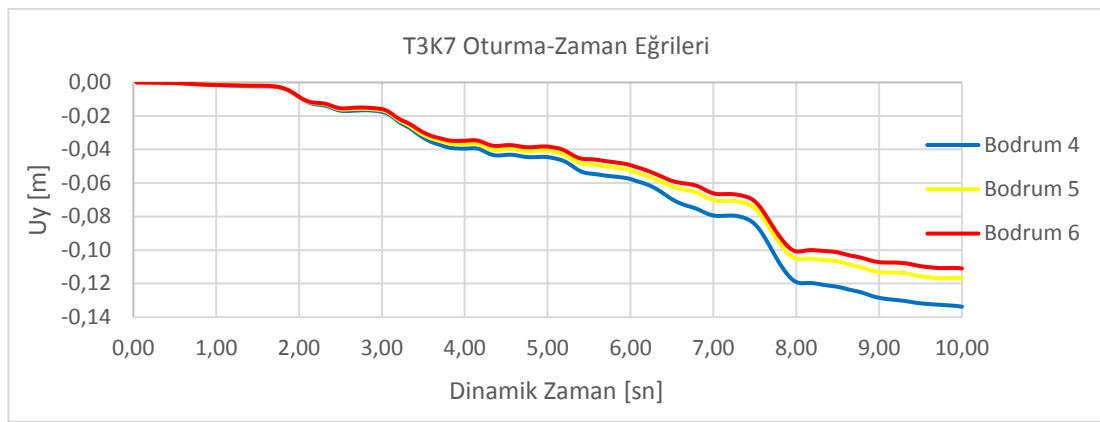
Şekil 4.21. Tip 3 zemininde, 5 katlı binada, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.

Tip 3 zemininde 5 katlı binada, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma- zaman grafiği Şekil 4.21.'de gösterilmektedir. Beş katlı bir binada derinlik arttıkça oturmaların azaldığı görülmektedir. Oturmalar Tablo 4.6.'da da verildiği gibi sırası ile 10,00 cm, 9,00 cm ve 8,60 cm'dir. Statik durumdaki oturmalar 2,71 cm, 2,98 cm ve 3,10 cm olarak bulunmuştur. Tip 3 zemini Tip2 ve Tip 1 zemininden daha sağlam tabakalara sahip olduğu için oturmaların daha az olduğu bulunmaktadır. Ayrıca bu zeminde 5 katlı bodrumlu bina yapılabilirliği görülmektedir.



Şekil 4.22. Tip 3 zemininde, 6 katlı binada, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.

Tip 3 zemininde 6 katlı binada, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma- zaman grafiği Şekil 4.22.'de gösterilmektedir. Altı katlı bir binada derinlik arttıkça oturmaların azaldığı görülmektedir. Oturmalar Tablo 4.6.'da da verildiği gibi sırası ile 11,20 cm, 9,70 cm ve 9,50 cm'dir. Statik durumdaki oturmalar 3,75 cm, 3,95 cm ve 3,93 cm olarak bulunmuştur. Tip 3 zemini Tip2 ve Tip 1 zemininden daha sağlam tabakalara sahip olduğu için oturmaların daha az olduğu gözlenmektedir. Ayrıca bu zeminde 5 ve 6 katlı bodrumlu bina yapılabirliği görülmektedir.



Şekil 4.23. Tip 3 zemininde, 7 katlı binada, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.

Tip 3 zemininde 7 katlı binada, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma- zaman grafiği Şekil 4.23.'de gösterilmektedir. İlk 1.5 m dolgu tabakasıdır. 1.5 m ile 4.0 m arası kil (CL), 4.0 m ile 9.0 m arası kil (CH), 9.0 m ile 14.0 m arası sıkı kum (SP), 14.0 m ile 50.0 m arası kil (CH) tabakasıdır (Şekil 3.10.).

Yedi katlı bir binada derinlik arttıkça oturmaların azaldığı görülmektedir. Oturmalar Tablo 4.6.'da da verildiği gibi sırası ile 13,40 cm, 11,80 cm ve 11,00 cm'dir. Statik durumdaki oturmalar 4,85 cm, 4,95 cm ve 4,88 cm olarak bulunmuştur. Tip 3 zemini Tip2 ve Tip 1 zemininden daha sağlam tabakalara sahip olduğu için oturmaların daha az olduğu görülmektedir.

Tablo 4.4. Tip 1 zemininde 5, 6 ve 7 katlı binalarda, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturmalar (U_y)..

U_y (cm)	T1K5		T1K6		T1K7	
	Statik	Deprem	Statik	Deprem	Statik	Deprem
B4 ($h_{\text{bodrum}}=4$ m)	5,00	11,00	6,21	13,80	7,43	15,80
B5 ($h_{\text{bodrum}}=5$ m)	4,86	11,90	6,40	14,00	7,67	17,00
B6 ($h_{\text{bodrum}}=6$ m)	4,57	11,80	5,79	13,20	7,14	15,90

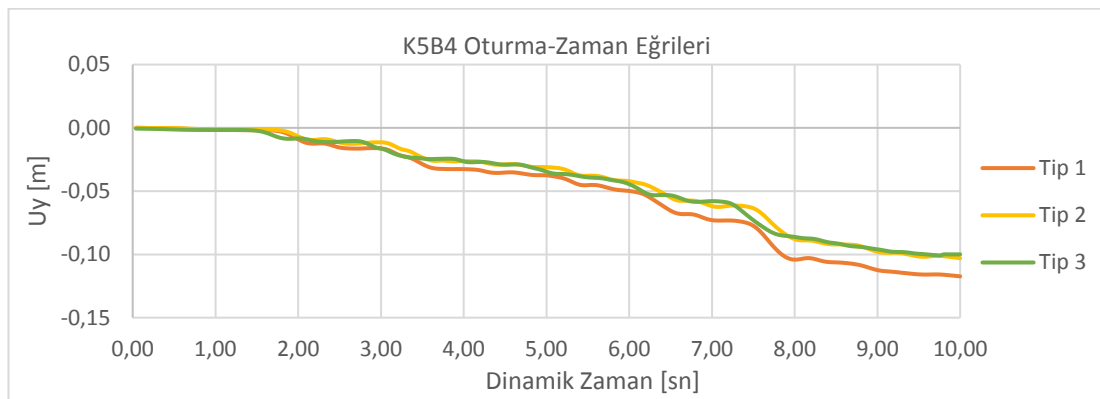
Tablo 4.5. Tip 2 zemininde 5, 6 ve 7 katlı binalarda, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturmalar (U_y)..

U_y (cm)	T2K5		T2K6		T2K7	
	Statik	Deprem	Statik	Deprem	Statik	Deprem
B4 ($h_{\text{bodrum}}=4$ m)	3,19	10,30	4,16	11,90	5,25	14,00
B5 ($h_{\text{bodrum}}=5$ m)	3,36	10,70	4,32	11,80	5,44	13,80
B6 ($h_{\text{bodrum}}=6$ m)	3,10	8,50	4,22	11,80	5,27	13,80

Tablo 4.6. Tip 3 zemininde 5, 6 ve 7 katlı binalarda, 4,5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturmalar (U_y)..

U_y (cm)	T3K5		T3K6		T3K7	
	Statik	Deprem	Statik	Deprem	Statik	Deprem
B4 ($h_{\text{bodrum}}=4$ m)	2,71	10,00	3,75	11,20	4,85	13,40
B5 ($h_{\text{bodrum}}=5$ m)	2,98	9,00	3,95	9,70	4,95	11,80
B6 ($h_{\text{bodrum}}=6$ m)	3,10	8,60	3,93	9,50	4,88	11,00

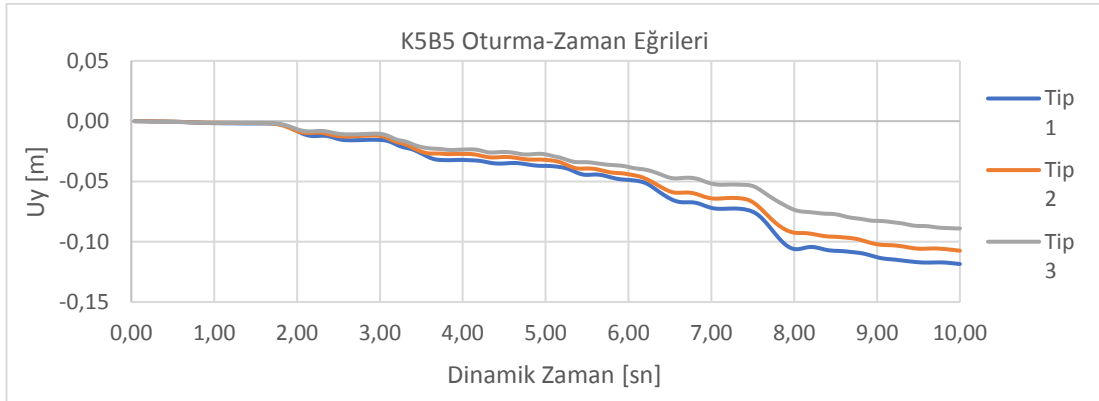
4.2.3. Zemin profili etkisi



Şekil 4.24. Tip1, Tip2 ve Tip3 zeminlerde, 5 katlı binada, 4 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.

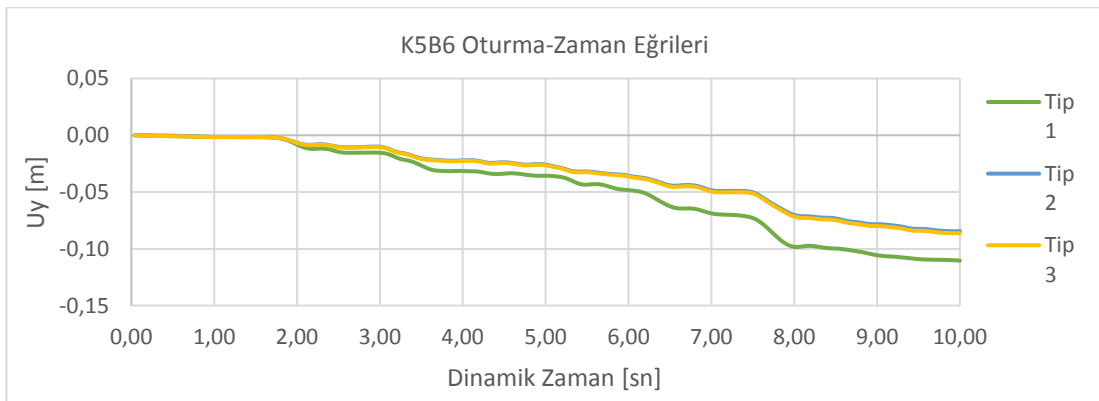
Tip1, Tip 2 ve Tip 3 zeminlerinde, 5 katlı bir binada, 4m derinlikteki bodrum katların altlarında oluşan oturma- zaman grafiği Şekil 4.24.'te görülmektedir. Beş katlı ve 4m bodrum derinliğine sahip bir binada zemin özellikleri değişikçe oturmalarındaki oluşan farklılıklar Tablo 4.7.'de de gösterildiği gibi sırasıyla 11.80, 10,20 ve 10,00 cm'dir.

Statik durumdaki oturmalar 5,00 cm, 3,19 cm ve 2,71 cm olarak bulunmuştur. Zemin tabakaları kalitesi artıkça oturmaların azaldığı görülmektedir. Tip 2 ve Tip 3 zeminlerde 5 katlı ve 4m bodrumlu bina yapılabirliği gözlemlenmektedir.



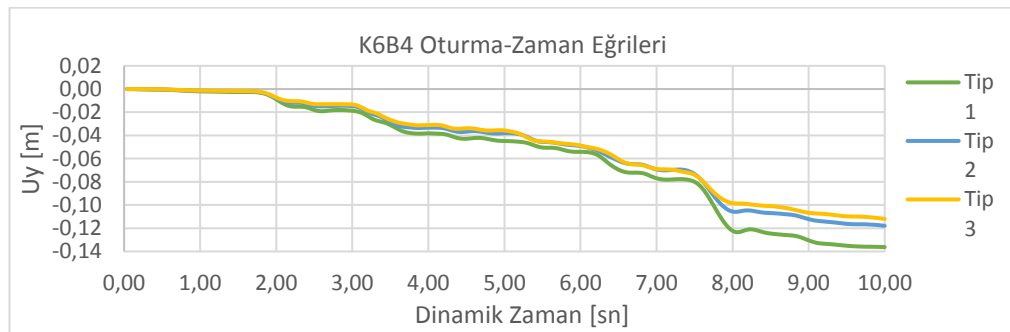
Şekil 4.25. Tip1, Tip2 ve Tip3 zeminlerde, 5 katlı binada, 5 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.

Tip1, Tip 2 ve Tip 3 zeminlerinde, 5 katlı bir binada, 5m derinlikteki bodrum katların altlarında oluşan oturma- zaman grafiği Şekil 4.25.'te görülmektedir. Beş katlı ve 5m bodrum derinliğine sahip bir binada zemin özellikleri değişikçe oturmalarındaki oluşan farklılıklar Tablo 4.7.'de de gösterildiği gibi sırasıyla 12,00, 10,80 ve 8,50 cm'dir. Statik durumdaki oturmalar 4,86 cm, 3,36 cm ve 2,98 cm olarak bulunmuştur. Zemin tabakaları kalitesi artıkça oturmaların azaldığı görülmektedir. Tip 2 ve Tip 3 zeminlerde 5 katlı ve 5m bodrumlu bina yapılabirliği gözlemlenmektedir.



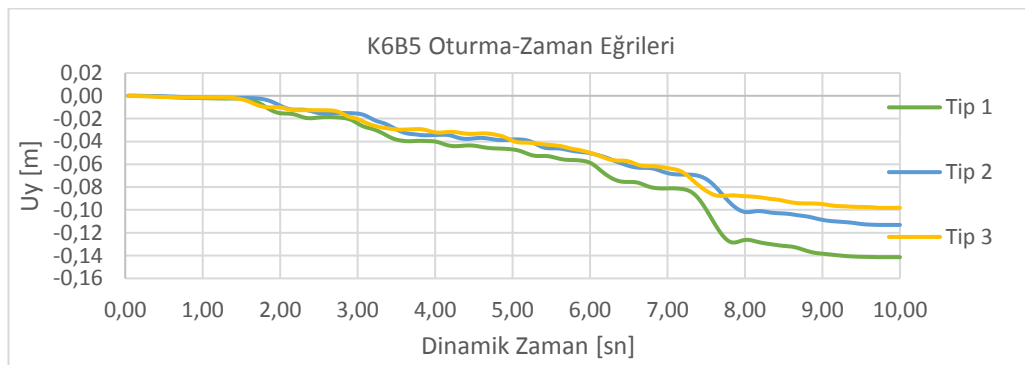
Şekil 4.26. Tip1, Tip2 ve Tip3 zeminlerde, 5 katlı binada, 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.

Tip1, Tip 2 ve Tip 3 zeminlerinde, 5 katlı bir binada, 6m derinlikteki bodrum katların altlarında oluşan oturma- zaman grafiği Şekil 4.26.'da görülmektedir. Beş katlı ve 6m bodrum derinliğine sahip bir binada zemin özellikleri değiştikçe oturmalarındaki oluşan farklılıklar Tablo 4.7.'de de gösterildiği gibi sırasıyla 11,00, 8,40 ve 8,60 cm'dir. Statik durumdaki oturmalar 4,57 cm, 3,10 cm ve 3,06 cm olarak bulunmuştur. Zemin tabakaları kalitesi artıkça oturmaların azaldığı görülmektedir. Tip 2 ve Tip 3 zeminlerde 5 katlı ve 6m bodrumlu bina yapılabirliği gözlemlenmektedir.



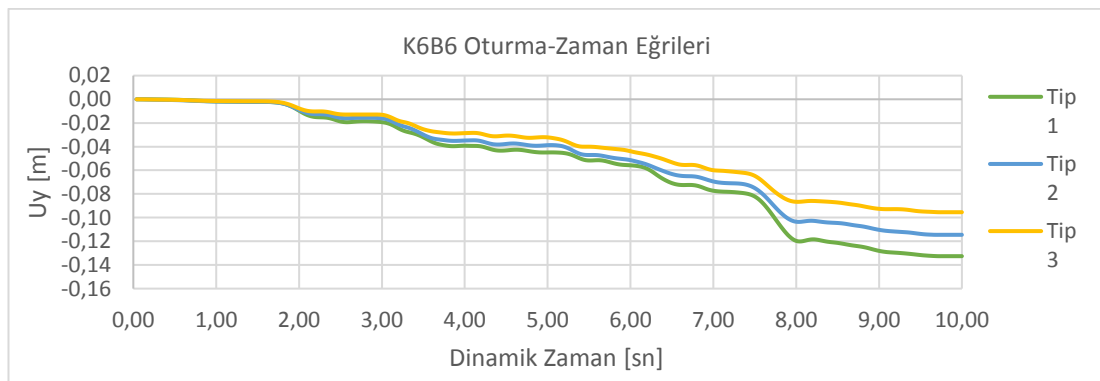
Şekil 4.27. Tip1, Tip2 ve Tip3 zeminlerde, 6 katlı binada, 4 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.

Tip1, Tip 2 ve Tip 3 zeminlerinde, 6 katlı bir binada, 4 m derinlikteki bodrum katların altlarında oluşan oturma- zaman grafiği Şekil 4.27.'de görülmektedir. Altı katlı ve 4 m bodrum derinliğine sahip bir binada zemin özellikleri değiştikçe oturmalarındaki oluşan farklılıklar Tablo 4.8.'de de gösterildiği gibi sırasıyla 13,50, 11,90 ve 11,20 cm'dir. Statik durumdaki oturmalar 6,21 cm, 4,16 cm ve 3,75 cm olarak bulunmuştur. Zemin tabakaları kalitesi artıkça oturmaların azaldığı görülmektedir.



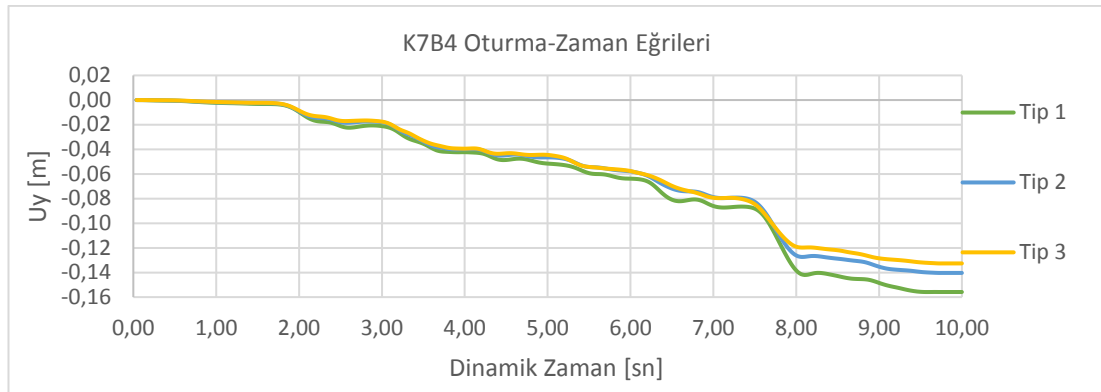
Şekil 4.28. Tip1, Tip2 ve Tip3 zeminlerde, 6 katlı binada, 5 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.

Tip1, Tip 2 ve Tip 3 zeminlerinde, 6 katlı bir binada, 5 m derinlikteki bodrum katların altlarında oluşan oturma- zaman grafiği Şekil 4.28.'de görülmektedir. Altı katlı ve 5 m bodrum derinliğine sahip bir binada zemin özellikleri değiştikçe oturmalarındaki oluşan farklılıklar Tablo 4.8.'de de gösterildiği gibi sırasıyla 14,00, 10,80 ve 9,90 cm'dir. Statik durumdaki oturmalar 6,50 cm, 4,32 cm ve 3,95 cm olarak bulunmuştur. Zemin tabakaları kalitesi artıkça oturmaların azaldığı görülmektedir. Ayrıca 6 katlı ve 5m bodrum kat derinliği olan bir yapının Tip 2 ve Tip 3 zeminlerinde yapılabirliğini göstermektedir.



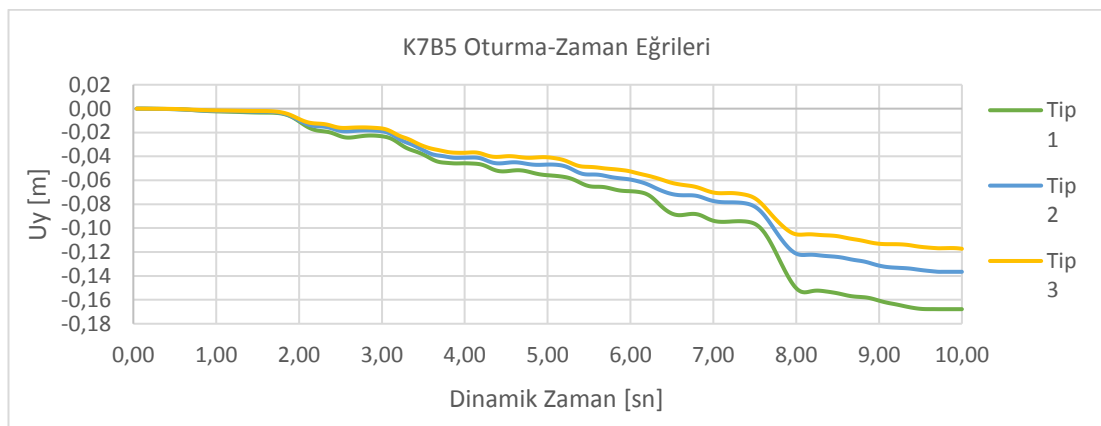
Şekil 4.29. Tip1, Tip2 ve Tip3 zeminlerde, 6 katlı binada, 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.

Tip1, Tip 2 ve Tip 3 zeminlerinde, 6 katlı bir binada, 6 m derinlikteki bodrum katların altlarında oluşan oturma- zaman grafiği Şekil 4.29.'da görülmektedir. Altı katlı ve 6 m bodrum derinliğine sahip bir binada zemin özellikleri değiştikçe oturmalarındaki oluşan farklılıklar Tablo 4.8.'de de gösterildiği gibi sırasıyla 13,20, 11,80 ve 9,60 cm'dir. Statik durumdaki oturmalar 5,79 cm, 4,22 cm ve 3,93 cm olarak bulunmuştur. Zemin tabakaları kalitesi artıkça oturmaların azaldığı görülmektedir. Ayrıca 6 katlı ve 6 m bodrum kat derinliği olan bir yapının Tip 3 zeminlerinde yapılabirliğini göstermektedir.



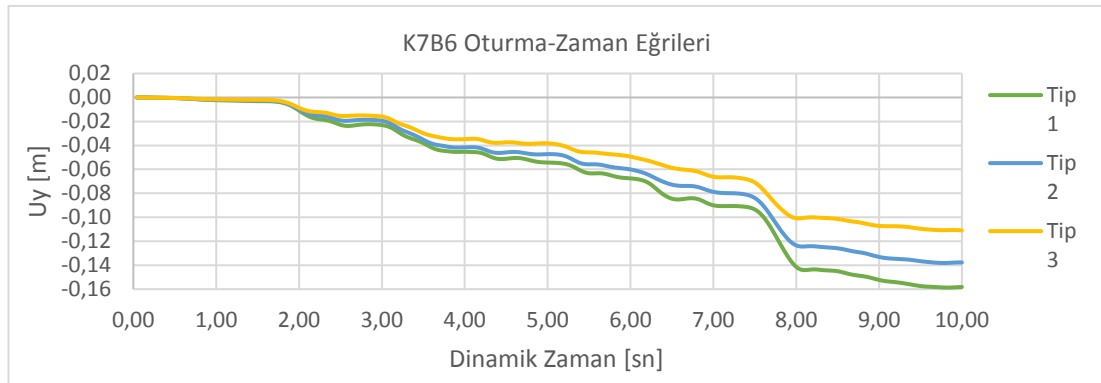
Şekil 4.30. Tip1, Tip2 ve Tip3 zeminlerde, 7 katlı binada, 4 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.

Tip1, Tip 2 ve Tip 3 zeminlerinde, 7 katlı bir binada, 4 m derinlikteki bodrum katların altlarında oluşan oturma- zaman grafiği Şekil 4.30.'da görülmektedir. Yedi katlı ve 4 m bodrum derinliğine sahip bir binada zemin özellikleri değiştikçe oturmalarındaki oluşan farklılıklar Tablo 4.9.'da da gösterildiği gibi sırasıyla 15,80, 14,00 ve 13,40 cm'dir. Statik durumdaki oturmalar 7,43 cm, 5,25 cm ve 4,85 cm olarak bulunmuştur.



Şekil 4.31. Tip1, Tip2 ve Tip3 zeminlerde, 7 katlı binada, 5 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.

Tip1, Tip 2 ve Tip 3 zeminlerinde, 7 katlı bir binada, 5 m derinlikteki bodrum katların altlarında oluşan oturma- zaman grafiği Şekil 4.31.'de görülmektedir. Yedi katlı ve 5 m bodrum derinliğine sahip bir binada zemin özellikleri değiştikçe oturmalarındaki oluşan farklılıklar Tablo 4.9.'da da gösterildiği gibi sırasıyla 15,80, 14,00 ve 13,40 cm'dir. Statik durumdaki oturmalar 7,67 cm, 5,44 cm ve 4,95 cm olarak bulunmuştur.



Şekil 4.32. Tip1, Tip2 ve Tip3 zeminlerde, 7 katlı binada, 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturma grafiği.

Tip1, Tip 2 ve Tip 3 zeminlerinde, 7 katlı bir binada, 6 m derinlikteki bodrum katlarının altlarında oluşan oturma- zaman grafiği Şekil 4.32.'de görülmektedir. Yedi katlı ve 6 m bodrum derinliğine sahip bir binada zemin özellikleri değiştikçe oturmalarındaki oluşan farklılıklar Tablo 4.9.'da da gösterildiği gibi sırasıyla 16,80, 13,80 ve 11,00 cm'dir. Statik durumdaki oturmalar 7,14 cm, 5,27 cm ve 4,88 cm olarak bulunmuştur.

Tablo 4.7. 5 katlı binada, T1, T2 ve T3 zemin modellerinde, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturmalar (U_y).

U_y (cm)	K5B4		K5B5		K5B6	
	Statik	Deprem	Statik	Deprem	Statik	Deprem
T1 (Tip 1 Zemin modeli)	5,00	11,80	4,86	12,00	4,57	11,00
T2 (Tip 2 Zemin modeli)	3,19	10,20	3,36	10,80	3,10	8,40
T3 (Tip 3 Zemin modeli)	2,71	10,00	2,98	8,50	3,06	8,60

Tablo 4.8. 6 katlı binada, T1, T2 ve T3 zemin modellerinde, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturmalar (U_y).

U_y (cm)	K6B4		K6B5		K6B6	
	Statik	Deprem	Statik	Deprem	Statik	Deprem
T1 (Tip 1 Zemin modeli)	6,21	13,50	6,50	14,00	5,79	13,20
T2 (Tip 2 Zemin modeli)	4,16	11,90	4,32	10,80	4,22	11,80
T3 (Tip 3 Zemin modeli)	3,75	11,20	3,95	9,90	3,93	9,60

Tablo 4.9. 7 katlı binada, T1, T2 ve T3 zemin modellerinde, 4, 5 ve 6 m derinlikteki bodrum katlarının temel altlarında oluşan oturmalar (U_y).

U_y (cm)	K7B4		K7B5		K7B6	
	Statik	Deprem	Statik	Deprem	Statik	Deprem
T1 (Tip 1 Zemin modeli)	7,43	15,80	7,67	16,80	7,14	16,80
T2 (Tip 2 Zemin modeli)	5,25	14,00	5,44	13,80	5,27	13,80
T3 (Tip 3 Zemin modeli)	4,85	13,40	4,95	11,80	4,88	11,00

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Adapazarı merkezinde zemin problemlerinin görüldüğü değişik yerlerde ve yıkımların çok olduğu belli eksenler boyunca yapılan araştırmalara dayanarak çalıştıkları alanlarda 4 ayrı tipte zemin profili çıkarmışlardır. Modellerimiz bu çıkartılan zemin profillerinden üç adedi üzerinde oluşturulmuştur. Binaların depremsiz ve depremlili durumdaki oturmaları hesaplanmıştır.

Adapazarı zeminlerinde 5 katlı bodrumsuz bir binanın oturması 53 cm'dir. Buna karşılık beş katlı 4m bodrum derinliğine sahip bir binanın oturması 11,80 cm'dir. Bu iki bina arasındaki oturma farkı 41,20 cm'dir. Bu demek oluyor ki 5 katlı 4m bodrum derinliğine sahip bir binanın diğer binaya göre oturmaları %78 daha azdır. Ayrıca bodrum derinliği artıkça oturmalar azalmaktadır.

Binalardaki oluşan oturmalar, zemin sıvılaşması ve depremden sonra oluşan elastik ve plastik deformasyonlardan kaynaklanmaktadır.

Bitişik nizam yapılarda, bodrumlu 5katlı binanın yanındaki bodrumsuz üç katlı binalarda oturmalar azalmaktadır. Bodrumlu 5 katlı binanın oturmaları da ayrık nizamdaki durumundan bir miktar daha azaldığı görülmektedir. Bodrum katlı binaların yanındaki az katlı binalara bu anlamda yararı olduğunu söyleyebiliriz.

Tip 2 zeminlerinde 5 katlı bodrumlu bina yapılabirliği görülmektedir. Bodrum kat derinliği arttıkça oturmalar azalmaktadır.

Tip 3 zeminlerinde 5 katlı bodrumlu ve 6 katlı bodrumlu (5 ve 6 m derinlikte) bina yapılabirliği görülmektedir.

Zemin profilleri arasındaki oturma farklılıklarına ML, SM ve CL tabakalarının sebep olduğu görülmektedir.

Adapazarı zemin profillerinde bulunan sıkı kum tabakasının deprem etkisini sönümleyerek, bu etkinin üst tabakalara azalarak geçmesini sağlamaktadır.

Adapazarı ilçesinde, konut alanlarında 3 katlı ve $H_{max}=10,00$ m konut yapılmasına izin verilmektedir. Hiçbir bilimsel temele dayandırmadan Adapazarı' ın tüm zeminini kötü diye nitelendirmek çok doğru bir yaklaşım olmamaktadır. Zira bina yapılacak yerin zemin özelliklerini de dikkate alarak kat sayısı belirlenebilir. Ayrıca bina 2 katlı olsa dahi bodrum kat yapılmasını önermekteyiz.

Zemin iyileştirilmesi yapılması şartıyla Tip 2 ve Tip 3 zeminlerinde 7 katlı bodrumlu bina yapılabilirliği görülmektedir.

Bu çalışmamız Adapazarı zeminlerinde çok katlı bina yapılabilirliğinin olduğunu net bir şekilde göstermektedir. Ayrıca problemi bodrumlu yüzeysel temel kullanarak çözmekteyiz. Bu tür zeminlerde derin temel sistemleri kullanılarak çok daha yüksek yapıların yapılabileceği benzer akademik çalışmalarda belirtilmiştir.

KAYNAKLAR

- Beer, G., "An Isoparametric Joint/Interface Element for Finite Element Analysis", Int. Jnl. Num. Meth. Eng, Vol. 21 pp. 585-600, 1985
- Bol, E., "Adapazarı Zeminlerinin Geoteknik Özellikleri", Doktora Tezi, SAÜ FBE, 195 sayfa, Adapazarı, 2003.
- Bol, E., Önalp, A., "Adapazarı Zeminlerinin Jeomorfolojik ve Geoteknik Özellikleri", ZMTM 9. Ulusal Kongresi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Cilt 1, s. 1-8, 2002.
- Bowles, J.E., "Foundation Analysis and Design", McGraw Hill Book Company, Singapore, 1004 pp., 1988.
- Bray, J., Stewart, J.P., "Damage Patterns and Foundation Performance in Adapazarı", Earthquake Spectra, Supplement to Vol. 16, pp. 163-187, 2000.
- Bray, J.D., Sancio, R.B., Assessment Of The Liquefaction Susceptibility Of Fine-Grained Soils, Journal Of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering, Asce, 132(9), 1165-1177. 2006.
- Brıngreve, R.B.J., Vermeer, P.A., "Plaxis 2D Manual", Nedherland, 2016.
- Carol, L., Alonso, E.E., "A New Joint Element for the Analysis of Fractured Rock", 5th Int. Congr. Rock Mech., Melbourne, Vol. F, pp. 147-151, 1983.
- Celep, Z., Kumbasar, N., "Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı", Sema Matbaacılık, İstanbul, 1993.
- Chan, A.H.C., A Unified Finite Element Solution To Static and Dynamic Claredon Press. 1996.
- Clough, R.W., Penzien, J., "Dynamics of Structures", Mc Graw-Hill, Taipei, Taiwan. 1993.
- Coduto, D.P., Geotechnical Engineering Principles and Practise, Prentice Hall, 1998.
- Çamlıbel, A. N., Yüzeysel Yapı Temelleri, Birsen Yayınları, 1983.
- Day, R.A., Potts, D.M., "Automatic Mesh Generation of Zero Thickness Interface Elements", Proc 7th I.C. Comp. Meth. Adv. Geomech., pp. 101-106, 1991.
- Day, R.A., Potts, D.M., "Zero Thickness Interface Elements-Numerical Stability and Application", Int. Jnl. Num. Anal. Meth. Geomech., Vol 18, pp. 689-708, 1994.
- DESAI, C.S., ZAMAN, M.M., LIGHTNER, J.G., SIRIWARDANE, H.J., "Thin-Layer Element for Interfaces and Joints", Int. J. Num. Meth. Eng., Vol. 9, pp. 913-924, 1975.

- Francavilla, A., Zienkiewicz, O.C., "A Note on Numerical Computation of Elastic Contact Problems", *Int. Jnl. Num. Meth. Eng.*, Vol. 9, pp. 913-924, 1975.
- Ghaboussi, J., Wilson, E.L., Isenberg, J., "Finite Element for Rock Joint Interfaces", *ASCE, SM10*, Vol. 99, pp. 833-848, 1973.
- Goodman, R.E., Taylor, R.L., "A Model For The Mechanics of Jointed Rocks", *ASCE, SM3*, Vol. 94, pp. 637-659, 1968.
- Griffiths, D.Y., "Numerical Modelling of Interfaces Using Conventional Finite Elements", *Proc. 5th Int. Conf. Num. Meth. Geomech.*, Nagoya, pp. 837-844, 1985.
- Hermann, L.R., "Finite Element Analysis of Contact Problems", *ASCE, EM5*, Vol. 104, pp. 1043-1057, 1978.
- Katona, M.G., "A Simple Contact-Friction Interface Element with Application to Buried Culverts", *Int. Jnl. Num. Anal. Meth. Geomech.*, Vol. 7, pp. 371-384, 1983.
- Lai, J.Y., Booker, J.R., "A Residual Force Finite Element Approach to Soil-Structure Interaction Analysis", *Research Rep. No. 604*, University of Sydney, 1989.
- Lunne, T., Robertson, P.K., Powell, J.J.M., "Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice", *E&FN Spon*, 1997.
- Mc Donald, P.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.
- MTA, "Sakarya ili Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynakları", *Mta Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi*, Ankara, 1998.
- Önalp, A., "İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi", *Cilt 2, KTÜ Yayın, No. 3*, sayfa 594-1225, Trabzon, 1983.
- Önalp, A., Arel, E., Bol, E., "A General Assesment of the Effects of 1999 Earthquake on the Soil-Structure İnteraction in Adapazarı", *Jubilee Papers in Honour of Prof. Dr. Ergün Toğrol*, İstanbul, pp. 76-89, 2001.
- Önalp, A., Bol, E., "Adapazarı Kent Merkezi Jeoloji ve Jeomorfolojisi", *Sakarya Üniversitesi, Adapazarı*, 1998.
- Önalp, A., Sert S., Bol, E., *Adapazarı Zeminlerinin Deprem Performansı*, ZMTM 8. Ulusal Kongresi, 2000, İTÜ 375-382.
- Pande, G.N. and Sharma, K.G., " On Joint/İnterface Elements and Associated Problems of Numerical III- Conditioning", *Int. Jnl. Num. Anal. Meth. Geomech.*, Vol. 3, pp.293-300, 1979.
- Potts, D.M. and Day, R.A., "Automatic Mesh Generation of Zero Thickness İnterface Elements", *Proc. of the 7th Int. Conf. On Comp. Meth. And Adv. İn Civil Eng.*, Cairns, pp. 101-106, 1991.
- Potts, D.M., Zdravković, L., "Finite Element Analysis in Geoteachnical Engineering Application", Vol. 2, *Thomas Telford*, 427 pp., London, 2001.

- 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.
- Sachdeva, T.D., Ramakrishnan, C.V., “A Finite Element Solution for The Two Dimensional Elastic Contact Problem”, Int. Jnl. Num. Meth. Eng., Vol. 17, pp.1257-1271, 1981.
- Sancio, R.B., Bray, J.D., Stewart, J.P., Youd, T.L., Christensen, C., Durgunoğlu, H.T., Önalp, A., Karadayılar, T., Seed, R.B., “Correlation Between Ground Failure and Subsurface Soil Condition in Adapazarı, Turkey”, Int. Jnl. Of Soil Dynamics and Earthquake Eng. Vol. 22, No. 9-12, pp. 1093-1102, 2002.
- Sancio, R.B., Groun Failure and Building Performance in Adapazarı, Turkey, Phd Thesis, University of California, Berkeley, California, USA.
- Sert, S., “Aluviyal Ortamda Kazıklı Yayılı Temellerin Üç Boyutlu Analizi”, SAÜ FBE, Doktora Tezi, 2003.
- Sert, S., Bol, E., “Adapazarı Zeminlerinde Değişen Katman Derinlikleri”, TMMOB İMO Adana Şubesi Geoteknik Sempozyumu, sayfa:239-251, Adana, 2005.
- Terzaghi, K., Deck, R.B., “Soil Mechanics in Eng. Practice”, Jonh Wiley and Sons, 729 Pg., 1968.
- Wilson, E.L., “Finite Elements for Foundations, Joints and Fluids”, Chapter 10 in Finite elements in Geomechanics, Edt. Gudehus, John Wiley&Sons, 1977.

ÖZGEÇMİŞ

Osman ASLAN 11.08.1970 tarihinde B. Kazancı'da doğmuştur. İlk öğrenimini, Donatım İlkokulu'nda, orta öğrenimini Atatürk Ortaokulu'nda ve lise öğrenimini Atatürk Lisesi'nde tamamlamıştır.

1989 yılında İTÜ Sakarya Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans eğitimi almaya hak kazanmıştır. 1994 yılında lisans eğitiminden mezun olmuştur. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği bölümü Yapı bilim dalında yüksek lisans eğitimine başlayarak 1997 yılında Yüksek Mühendis olarak mezun olmuştur.

2013 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Geoteknik bilim dalında yüksek lisans eğitimine başlamış ve eğitime devam etmektedir.

Kurucusu olduğu OSAS Yapı Mühendislik İnşaat Taahhüt San. ve Tic. Ltd. Şti.'nde şirket müdürü olarak çalışmaya devam etmektedir. Evli ve bir kız çocuğu sahibidir.