

**T. C.  
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**GEOTEKNİK TASARIMDA TEMEL DERİNLİĞİNİ  
BELİRLEYEN ETKENLER VE TEMEL TASARIMINDA  
OLASI RİSKLER**

Yüksek Lisans Tezi

**Ahmet EÇİN**

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Yücel ÜRÜŞAN

**İstanbul – 2021**



## TEZ TANITIM FORMU

- Yazar Adı Soyadı** : Ahmet Eçin
- Tezin Dili** : Türkçe
- Tezin Adı** : Geoteknik Tasarımda Temel Derinliğini Belirleyen Etkenler ve Temel Tasarımında Olası Riskler
- Enstitü** : İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
- Anabilim Dalı** : İnşaat Mühendisliği
- Tezin Türü** : Yüksek Lisans
- Tezin Tarihi** : 09.07. 2021
- Sayfa Sayısı** : 100
- Tez Danışmanları** : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Yücel ÜRÜŞAN
- Dizin Terimleri** : Geoteknik, Temel Tasarımı, Temel Derinliği
- Türkçe Özet** : Bu çalışmada temel derinliğini etkileyen faktörler üzerine literatür taraması gerçekleştirilmiş ve edinilen bilgiler ile 2 farklı temel derinliği belirleme uygulaması yapılmıştır.
- Dağıtım Listesi** : 1. İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne  
2. YÖK Ulusal Tez Merkezine

*İmzası*

*Ahmet Eçin*

**T. C.  
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**GEOTEKNİK TASARIMDA TEMEL DERİNLİĞİNİ  
BELİRLEYEN ETKENLER VE TEMEL TASARIMINDA  
OLASI RİSKLER**

Yüksek Lisans Tezi

**Ahmet EÇİN**

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Yücel ÜRÜŞAN

**İstanbul – 2021**

## BEYAN

Bu tezin hazırlanmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğu, kullanılan verilerde herhangi tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez olarak sunulmadığını beyan ederim.

Ahmet EÇİN

.../.../2021



**İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE**

. Ahmet Eçin'in Geoteknik Tasarımda Temel Derinliğini Belirleyen Etkenler ve Temel Tasarımında Olası Riskler adlı tez çalışması, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği anabilim dalı, İnşaat Mühendisliği bilim dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

*İmza*  
Başkan  
*Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN*

*İmza*  
Üye  
*Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Yücel ÜRÜŞAN*  
(Danışman)

*İmza*  
Üye  
*Doç. Dr. Savaş ERDEM*

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

... / ... / 2021

*İmzası*  
*Prof. Dr. İzzet GÜMÜŞ*  
Enstitü Müdürü

## ÖZET

Temeller, yapının zemin ile etkileşimde bulunan ve diğer yapısal elemanlardan kendisine aktarılan yüklere dayanarak bu yükleri zemine iletmekle mükellef elemanlardır. Bu sebeple bir yapıyı tasarlayan tasarımcı, yapının kullanım amacına ve boyutlarına göre dikkatli bir şekilde tasarlamalıdır. Yanlış bir tasarım sonucunda inşa edilen temel çeşitli sebeplerden dolayı hasar görür ve bu durum yapının kısmen ve/veya tamamen hasar görmesine sebep olur. Bir yapının tasarımı sırasında en önemli ve etkili unsurun yapının hizmet ömrünü hasar görmeden tamamlayabilmesi ve herhangi bir istenmeyen durum oluşmasını engellenmesi olduğu unutulmamalıdır.

Bu çalışmada temel derinliğini etkileyen faktörler üzerine literatür taraması gerçekleştirilmiş ve edinilen bilgiler ile 2 farklı temel derinliği belirleme uygulaması yapılmıştır.

Literatür taraması gerçekleştirilirken öncelikle zemin özellikleri üzerine yoğunlaşarak zemin sınıflandırılma yöntemleri incelenmiştir. Zemin sınıfları ve sınıflandırılma sebepleri araştırıldıktan sonra temel çeşitleri ve temel çeşitlerinin farklı zemin sınıfları ile etkileşimleri üzerine yoğunlaşmıştır. Taşıma kapasitesi analizi ve oturma analizi incelenmiş, bu analizler sırasında temel ile zeminin birbirlerinden ne şekilde etkilendikleri araştırılmıştır. Son olarak temel derinliğinin belirlenmesi ve temel derinliğini etkileyen diğer faktörler çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Geoteknik Tasarım, Temel, Derinlik, Temel Derinlik.

## SUMMARY

Foundations are structural members of building which are responsible to carry and transfer the amount of load being carried from other structural members. Hence, during the design process of a building, the designer should carry the process where carefully according the dimensions and purpose of usage of the building. A foundation which a mistake has been done during the design process will either totally or partially get damaged. It should be reminded that the most dramatical element of designing of a building is completion of its service life which will avoid any undesired circumstances.

In this study, there has been a literature review about the factors which affect the depth of foundation and then, 2 execution of determination of depth foundation has been proceeded.

During the literature review, firstly, the soil classification systems and soil characteristics has been focused. Afterwards, the foundation types and the interaction between foundations and different soil classes has been observed. Bearing capacity and settlement has been briefly explained and the way foundation and soil affects each other has been acknowledged. Finally, the determination of foundation type and the factors that affect the foundation depth are examined.

**Keywords:** Geotechnical Design, Foundation, Depth, Foundation Depth.



# İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
SUMMARY .....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
KISALTMALAR.....	v
TABLOLAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ .....	viii
GİRİŞ .....	1

## BİRİNCİ BÖLÜM

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1.1	Geoteknik Tasarım Unsurları.....	5
1.1.1	Zemin Sınıflandırılması .....	6
1.1.2	Mekanik Zemin Özellikleri ve Zemin Parametreleri .....	9
1.1.2.1	Mekanik Zemin Özellikleri .....	9
1.1.2.2	Zemin Parametreleri .....	13
1.1.3	Zemin Analizi.....	14
1.1.3.1	Arazi Deneyleri ( Sondalar ).....	15
1.1.3.1.1	Standart Penetrasyon Testi.....	16
1.1.3.1.2	Konik Penetrasyon Deneyi ( CPT ) .....	20
1.1.3.1.3	Presiyometre Deneyi.....	21
1.1.3.1.4	Plaka Yükleme Deneyi .....	22
1.1.3.1.5	Veyn Kesme Deneyi (VST).....	23
1.1.4	Laboratuvar Deneyleri .....	24
1.1.4.1	Kesme Kutusu Deneyi.....	24
1.1.4.1.1	Serbest Basınç Deneyi .....	25
1.1.4.1.2	Üç Eksenli Basınç Deneyi .....	26

## İKİNCİ BÖLÜM

### TEMEL ÇEŞİTLERİ VE TEMEL TASARIMI

2.1.	Temel Çeşitleri ve Temel Tasarımı .....	29
2.1.1.	Temel Çeşitleri .....	31
2.1.1.1.	Yüzeysel (Sığ) Temeller .....	31
2.1.1.2.	Derin Temeller .....	36

2.1.2.	Temellerde Taşıma Kapasitesi Analizi .....	38
2.1.3.	Temellerde Oturma Analizi.....	45
2.1.4.	Temel Derinliği ve Temel Derinliğini Etkileyen Faktörler.....	47

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### BULGULAR

3.1	Uygulama 1 .....	55
3.1.1	Taşıma Gücü Analizi .....	59
3.1.2	Oturma Analizi .....	62
3.1.2.1	Ani Oturma .....	63
3.1.2.2	Konsolidasyon Oturması.....	64
3.1.2.3	Toplam Oturma .....	65
3.2	Uygulama 2 .....	66
3.2.1	Şişme Potansiyeli Değerlendirmesi .....	69
3.2.2	Dinamik Kompaksiyon .....	72
3.2.3	Jet Grout.....	73
3.2.4	Fore Kazık.....	74
3.2.5	Taşıma Gücü Analizi .....	76
3.2.6	Oturma Analizi .....	77
<b>SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>		<b>79</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>		<b>81</b>

## KISALTMALAR

<b>JMGSE</b>	:Japon Mesleki Güvenlik ve Sağlık Enstitüsü
<b>ADKUB</b>	: Amerikan Devlet Karayolu ve Ulaşım Bakanlığı
<b>SPT</b>	:Standart Penetrasyon Testi
<b>CPT</b>	:Konik Penetrasyon Testi
<b>VST</b>	: Veyn Kesme Testi
<b>CU</b>	:Konsolidasyonlu - Drenajlı
<b>UU</b>	: Konsolidasyonsuz - Drenajsız
<b>CD</b>	: Konsolidasyonlu – Drenajlı
<b>TBDY</b>	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
<b>TS</b>	: Türk Standardı

## TABLULAR LİSTESİ

<b>Tablo 1</b> Elek Numaralandırılması (ASTM E-11).....	7
<b>Tablo 2</b> AASHTO Zemin Sınıflandırılması .....	9
<b>Tablo 3</b> Düzeltme Katsayıları.....	19
<b>Tablo 4</b> Şekil Katsayıları .....	40
<b>Tablo 5</b> Skempton-Bjerrum Düzeltme Katsayıları.....	47
<b>Tablo 6</b> Temel Tasarım Dayanımı Hesap Tablosu.....	61
<b>Tablo 7</b> Yüzeysel Temeller İçin Dayanım Katsayıları (TBDY,2018) .....	61
<b>Tablo 8</b> Binalarda İzin Verilebilir Maksimum Oturma Miktarı (mm) ( McDonald ve Skempton,1955).....	65
<b>Tablo 9</b> Uygulama 2 Yapı Özellikleri .....	64
<b>Tablo 10</b> Killerin Aktivite Değerine Göre Sınıflandırılması (Skempton, 1953).....	70
<b>Tablo 11</b> Plastisite İndisine Göre Kilin Şişme Potansiyeli (Seed, vd., 1962).....	71
<b>Tablo 12</b> Serbest Şişme Değerine Göre Kilin Şişme Potansiyeli (Holtz ve Gibss, 1956).....	71
<b>Tablo 13</b> Serbest Şişme Değerine Göre Kilin Şişme Potansiyeli (Holtz ve Gibss, 1956).....	71
<b>Tablo 14</b> Hacimsel Şekil Değiştirme Analizi.....	72

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1	Yıllara Göre Alıntılama Sayısı .....	3
Şekil 2 2	Standart Penetrasyon Test Düzenegi .....	18
Şekil 2 3	Konik Penetrasyon Deneyi Ekipmanı (Lunne et al., 2002) .....	21
Şekil 2 4	Veyn Kesme Deneyi Ekipmanı ( ASTM D2573-08 ) .....	23
Şekil 2 5	Kesme Kutusu Deneyi Ekipmanı .....	25
Şekil 2 6	Üç Eksenli Basınç Deneyi Aparatı (Bowles, 1996).....	26
Şekil 2 7	Üç Eksenli Basınç Deneyi Mohr Çemberi ve Kırılma Zarfı (Bowles, 1996) .....	28
Şekil 2 8	Yıllara Göre Alıntılama Sayısı .....	29
Şekil 2 9	Tekil Temel.....	32
Şekil 2 10	Sürekli Temel .....	33
Şekil 2 11	Dikdörtgen Biçimli Birleşik Temel .....	34
Şekil 2 12	Yamuk Biçimli Birleşik Temel.....	35
Şekil 2 13	Ayak Temel .....	37
Şekil 2 14	Taşıma Kapasitesi Katsayıları .....	39
Şekil 2 15	Skepmton Nc Değerleri .....	42
Şekil 3 1	Jeolojik Enine Kesit.....	57
Şekil 3 2	İlk Planlanan Yapıya Ait Temel Derinlikleri.....	58
Şekil 3 3	Jeolojik Birimler ve Bina Zemin İlişkisini Gösteren Kesit .....	66
Şekil 3 4	Yapı Mimari Kesiti .....	67
Şekil 3 5	Geoteknik Zemin Profili .....	68
Şekil 3 6	Dinamik Kompaksiyon İşlemi.....	73
Şekil 3 7	Jet Enjeksiyonu İşlemi.....	74
Şekil 3 8	Fore Kazık İmalatı.....	75
Şekil 3 9	Kazıklı Temel Modeli.....	77
Şekil 3 10	Plaxis Analiz Model.....	78

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada yapı temelleri tasarlama sürecinde teorik bilgiler ile saha çalışmaları yapıp elde edilen verilerle sayısal modellemeler yapılarak ilgili şartnamelere göre kontrol edilip güvenli ve ekonomik yapı temellerinin derinliği incelenmiştir. Geoteknik tasarımda belirlenen temel derinliği ve TBDY-2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği şartnamesine göre kontroller yapıp inceleme alanında yapılması planlanan yapılar için elde edilen arazi ve laboratuvar deney sonuçlarına göre zemin yapısı, zemin mekaniği ve geoteknik mühendisliği açısından değerlendirmesi yapılarak yapının temel derinliğine ait geoteknik analizleri elde edilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmam boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Yücel ÜRÜŞAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Tezin oluşturulması sürecinde maddi, manevi desteğini esirgemeyen, her zaman yanımda olan aileme, özellikle de tasarım ve yazım sürecindeki anlayışından dolayı eşim Zehra EÇİN'e sonsuz teşekkür ederim.

## GİRİŞ

Yapı güvenliği ve hizmet ömrü, yapıların belirli bir hizmet amacıyla insanların kullanımları için inşa edilmeleri sebebiyle, bir yapının en önemli özelliklerindedir. Yapıların inşaat ve onarım maliyetleri oldukça yüksektir. Bu maliyetlerin yüksek olması ve insan sağlığının önemi, bir yapıda bulunan yapısal elemanların tasarımları sırasında, tasarımcının çok dikkatli olmasını gerektirir. Yapısal elemanların tasarımı sırasında yapılacak en ufak bir hata çok ağır sonuçlar doğurabilir. Yapısal elemanlar tasarlanırken, yapının inşaatının başlangıcından planlanan hizmet ömrünün sonuna kadar yapıyı etkileyecek faktörler ve oluşma ihtimali olan her türlü durum göz önüne alınmalıdır.

Yapısal elemanlar genel olarak kiriş, kolon ve temel olarak gruplandırılır. Kirişler ve kolonlar yapının zemin üstünde kalan, dikey ve yatay yapısal elemanlarıdır. Temeller ise yapıya bağlı, zemin altında bulunan yapısal elemanlardır. Kiriş ve kolonların en temel görevleri, yapının kendi ağırlığından, deprem, sel, rüzgar ve kullanım amacından dolayı oluşacak statik ve dinamik yükleri temele iletmektir. Temellerin en önemli görevi ise kiriş ve kolonlardan gelen yüklere karşı bir direnç oluşturarak yapının ayakta kalmasını sağlamaktır. Yapıların inşaatları sırasında kullanılan malzemelerin birim ağırlıklarının yüksek olması ve yapıların insanlar tarafından kullanılacak olması, ufak yapıların bile yüksek statik ve dinamik yüklere karşı dayanıklı olmalarını gerektirir. Bu sebeple, hiçbir yapının temeli olmadan planlanan hizmet ömrünü tamamlama şansı bulunmamaktadır.

Yapıların hizmet amaçları ve boyutları, yapısal elemanlarından bir tanesi olan temellerin tasarımları konusunda da hassasiyet gerektirir. Bir yapının boyutları temele taşınacak statik etkileri belirlerken, yapının kullanım amacı ise temele taşınacak dinamik yükleri belirleyecektir. Temellere iletilen yükler, temelin çeşidini ve temelin boyutlarını belirleyen en temel faktördür. Günümüzde nüfus artışının hızındaki yükseliş yeni yapı taleplerinin ve yapı boyutlarının artmasına, ayrıca yapıların hizmet amaçlarının çeşitlenmesine sebep olmuştur. Bu artış ve çeşitlenme, temel tasarımlarını da etkilemiştir.

Bir yapı elemanı olan temelin inşa edilmesinden önce temelin oturacağı zemin yapısının özelliklerinin derinlemesine incelenmesi önemlidir. Yeraltı su seviyesi, zemine

ait mekanik özellikler belirli formüller aracılığıyla, zemin parametreleri ise arazide yapılan sondajlar, gözle incelemeler ve/veya zeminden alınmış numuneler ile laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deneyler ile elde edilir. Zemin analizini, temelin bu zemin ile sürekli temas halinde olmasından dolayı temel ve yapının güvenlik seviyesini belirler ve temel tasarımı öncesinde yapılması gereken bir işlemdir.

Yapı elemanları olan temellerin yapıya istenilen katkıyı sağlayabilmelerindeki önemli kriterler, kendilerine iletilecek yükler sonucunda oluşabilecek göçmeye karşı direnç gösterebilmesi (taşıma gücü analizi) ve muhtemel oluşabilecek oturmaların binanın zarar görmesini engelleyecek seviyelerde kalmasıdır (zeminin taşıma gücü ve oturma analizi). Bir zeminin taşıma gücü ve yapının statik ve dinamik yüklerinden kaynaklanacak oturma analizlerinde yapılacak bir hata, temelin zarar görmesine ve binanın tamamen veya kısmen yıkılmasına sebebiyet verir.

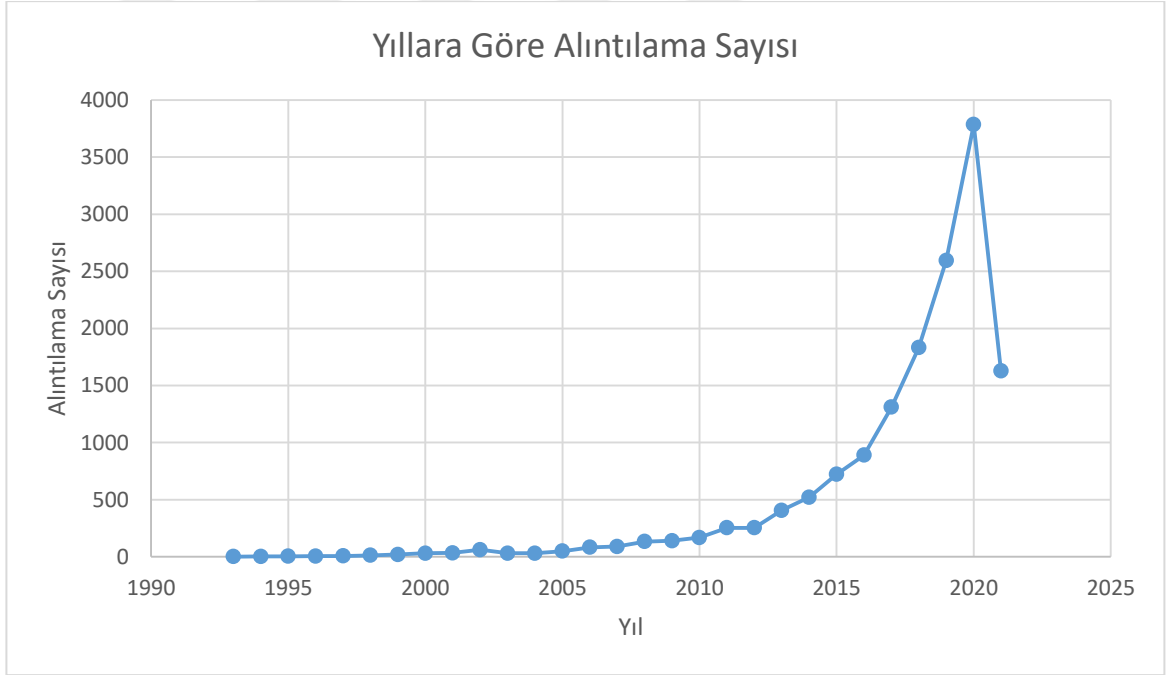
Temellerin tasarımları sırasında dış etmenlerden dolayı gerçekleşebilecek diğer unsurlar da göz önüne alınmalıdır. Deprem yüklerinden oluşabilecek zemin sıvılaşması, mevsim değişimlerinden kaynaklanabilecek yeraltı su seviyesindeki farklılıklar, biyolojik unsurlardan oluşabilecek durumlar vb. bu unsurların bazılarıdır. Bu unsurların göz önüne alınmayarak tasarımı yapılan temeller bu ekstrem durumlara maruz kaldığında zarar görecektir ve bu durum yapının zarar görmesine sebep olacaktır.



## BİRİNCİ BÖLÜM

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Temel tasarımı ve temel tasarımını etkileyen geoteknik unsurlar hakkında bolca yayın oluşturulmuştur. “İnşaat”, “geoteknik” ve “temel” kelimeleri baz alınarak yapılan araştırmada toplam günümüze kadar 2,413 adet yayın bu çalışmada incelenmiştir. Yayın sayıları göz önüne alındığında, 2020 yılı yayın sayısının bir önceki yıla göre yaklaşık %40 arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan alıntılama sayılarının yıllara göre değişimi Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1 1 Yıllara Göre Alıntılama Sayısı

Bowles (1996); Reddi et al. (2012) zemin türleri ve sınıflandırılması üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada zeminin bir yapının zemininde yapı elemanı olarak kullanılmasına imkân sağlayan özellikleri incelenmiştir. Kıvam ve sıkıştırılabilirlik gibi zemin özelliklerinin belirlenmesini sağlayan testler kısaca

açıklanmıştır. Farklı zemin türlerini karşılaştırılarak uygun sıkıştırma metotları tartışılmıştır. Ek olarak, zemindeki su miktarının zeminin dayanımında önemli bir ölçüt olduğu anlatılmıştır.

Consoli et al. (1998) yaptığı çalışmada homojen, kohezyonlu-friksiyonel zeminler üzerinde yapılan yük deneylerinin yorumlanması sırasında oluşacak problemler üzerine odaklanmıştır. Çalışma içerisinde 0.30 ila 0.60 m çapında dairesel çelik plakalar ve 0.40 ila 1.00 m arasında değişen kare beton temeller kullanılarak gerçekleştirilen testlerden ölçülen yük oturma davranışını karşılaştıran veriler sunulmuştur. Bu veriler, oturma-çap oranının uygulanan basınca göre değişimini gösteren grafikte, uygulanan test sonuçlarının bağımsız değişkenler cinsinden ifade edilmesi gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu gereklilik, ölçüm yapılan sahada, oturma analizinin ve yük taşıma kapasitesinin yüklenen alanın büyüklüğünden bağımsız olduğu gözlemlenmiştir. Bu yaklaşım, standart basınç ve oturma-çap oranı arasındaki bağlantının bütün dikey yer değiştirmeler için kusursuz olduğu çıkarımı yapılması olasılığını ortaya çıkarır. Çalışmanın sonucunda yük testlerinin yorumlanmasında elastik ve elasto-plastik teorilerin kullanıldığı göz önüne alınarak yüzeysel temellerin çimentolu zemin çözeltileri üzerindeki tam yük oturma davranışını tahmin etmek amacıyla azaltılmış dayanım katsayılarının kullanıldığı sayısal bir yaklaşım önerisinde bulunmuştur.

Lazcano et al. (2020) yayımladığı çalışmada dinamik yükler altında taşıma kapasitesini, eşdeğer bir yarı statik yaklaşım benimseyerek veya indirgeme katsayıları aracılığıyla hesaplamıştır. Döngüsel yüklerle ilgili sorunların incelemiş, esas olarak taneli zeminlerin davranışına odaklanmıştır. Çalışmasında, yüzeysel temellerin kohezyonlu zeminlerdeki taşıma gücüne zemindeki boşluk basıncının etkisini incelemiştir.

Moffitt (2019) çalışmasında tek eksenli zemin basınç analizini çift eksenli yükleri de içerecek şekilde genişletmeyi, zemin basıncının dağılım şeklinin doğrudan hesaplanabileceği bir yol belirlemeyi ve temel boyutlarının hesaplanması işlemini bu yol üzerinden gerçekleştirmeyi amaçlamıştır. Çalışma, tek eksenli devirmede kullanılan yamuk ve üçgen geçiş şekilleri üzerindeki karakteristik basınç dağılım şekilleriyle çift eksenli devirmede kullanılan 4,5 ve 6 kenarlı çokgen geçiş şekilleri üzerindeki

karakteristik basınç dağılım şekillerini tasarım dikey yükleri üzerinden karşılaştırır. Bu karşılaştırma sonucunda elde ettiği sonuçlar ile elde edilen belirli bir şeklin ağırlık merkezini ve şeklin moment kapasitesini hesaplamıştır. Bu hesaplamalarını dörtgenler üzerine uyarlayarak zemin basınç şekillerini modellemiştir. Sonuç olarak ise moment kapasitelerinin devrilme momentine eşitleyerek temel boyutlarının hesaplanabileceğini göstermiştir.

Barrios et al. (2021) Japonya'nın Tokyo kentindeki Japon Mesleki Güvenlik ve Sağlık Enstitüsü'nde (JMGSE) gerçekleştirilen geoteknik merkezkaç ayırım testlerinin sonuçlarını içeren bir makale yazmıştır. Bu testte Bir sallama masası üzerinde ince tabakalı bir kutu içinde doymuş kum üzerine kurulan ve farklı yatak basınçlarına sahip bir dizi yüzeysel temelden oluşan düzenekler, bir dizi uyarımlar kullanılarak incelenmiştir. Çalışma bağımsız ve bitişik yüzeysel temellerin zemin-temel-yapı sisteminin dinamik tepkisi üzerindeki etkisini ele almayı amaçlamıştır. Çalışma içerisinde serbest alanlarda büyük kayma – gerinim değerleri için zeminde kısmen süzülme ve küçük bir genişleme gözlemlenmiştir. Temellerin bulunduğu noktalarda ise temelin oturmasının büyük ölçüde temelin nüfuz eden destek kumuna yerleşiminden kaynaklandığı bulunmuştur. Bağımsız temellerin olduğu düzeneklerde temel altındaki zeminlerde geliştirici bir etki gözlemlenirken, bitişik temel düzeneklerinde bu etki gözlemlenmemiştir. Bitişik temellerdeki bükülme içe doğru tutarlı bir şekilde ilerlemiş ancak bağımsız temellerde bükülme yönünde kesin bir düzen gözlemlenmemiştir. Temellerin altındaki yüzeye yakın zeminde kaydedilen ivme açısından, serbest alan durumunda birkaç döngüden sonra temel düzenek şekillerinden bağımsız olarak bir azalma gözlenmiştir.

## **1.1 Geoteknik Tasarım Unsuları**

Bir yapının tasarım aşamasında yapının önemli elemanlarından biri olan temelin inşa edileceği zeminin özelliklerinin göz önüne alınması, güvenli bir yapı oluşturmak açısından oldukça önemlidir. Temellerin yapıya sağlayacağı direnç temele nüfuz eden zeminin özelliklerinden direkt etkilenir. Bu sebeple tasarımcı, zemin özelliklerini göz önünde bulundurmalı, zemin üzerinde gerekli analizleri yapmalı veya yapılan analiz

sonuçlarına dikkatli bir Şekilde incelemeli ve yapının inşa edileceği zeminin hangi zemin sınıfına ait olduğuna karar vermelidir.

### **1.1.1 Zemin Sınıflandırılması**

Zemin, farklı boyuttaki partikülleri içeren tabakalardan oluşur. Bu partiküllerin boyutlarının farklı olması, yapıya sağlanabilecek katkının değişiklikler göstermesine sebep olmuş ve bu farklılıklar ise zeminlerin sınıflandırılması gerekliliğini ortaya çıkartmıştır.

Bir zeminin sınıflandırılmasında kullanılan en önemli faktörlerden bir tanesi o zemini oluşturan zemindeki partikül boyutlarıdır. Zeminde ki partikül boyutları, farklı açıklık boyutlarına sahip olan elekler aracılığıyla ölçülür. Elekler açıklık boyutlarına göre numaralandırılır ve zeminlerin geçebildiği elek numaralarına göre çeşitli zemin sınıflandırılma sistemleri farklı kurumlar tarafından oluşturulmuştur. Amerikan Test ve Malzeme Kurumu tarafından oluşturulan elek açıklık boyutları ve elek numaralandırılmasına ait tabloda aşağıda verilmiştir.

**Tablo 1.** Elek Numaralandırılması (ASTM E-11)

Elek No.	Elek Açıklığı
Milimetre	
2"	50
1-3/4"	45
1-1/2"	37.5
1-1/4"	31.5
1"	25
1/2"	12.5
1/4"	6.3
#4	4.75
#5	4
#6	3.35
#7	2.8
#8	2.36
#10	2
#12	1.7
#14	1.4
#16	1.18
#18	1
Mikrometre	
#20	850
#25	710
#30	600
#35	500
#40	425
#45	355
#50	300
#60	250
#70	212
#80	180
#100	150
#120	125
#140	106
#170	90
#200	75
#230	63
#270	53
#325	45
#400	38
#450	32
#500	25
#635	20

Genel olarak zemini oluşturan zemin içerdği partikül boyutlandırılmasına göre 3 ana grupta sınıflandırılır. Bu gruplar:

- i. Kum boyutu: 2,0 ila 0,05 mm çapında partiküller.
- ii. Silt boyutu: 0,05 ila 0,002 mm çap partiküller.
- iii. Kil boyutu: 0,002 mm'den küçük çaplı partiküller. Das (2021)

Zemin sınıflandırma sistemlerinden en yaygın kullanılanı Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemidir. Bu sistemin orijinal formu, 1942'de Casagrande tarafından Dünya Savaşı sırasında Ordu Mühendisler Birliği tarafından üstlenilen havaalanı inşaat

işleri II. ABD Islah Bürosu ile işbirliği içinde, bu sistem 1952'de revize edildi. Şu anda, mühendisler tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır (ASTM D-2487).

Bu sistem zeminleri iki geniş kategoriye ayırır:

- i. İri daneli zeminler, doğada çakıllı ve kumlu bir şekilde bulunan, % 50'den azı 200 numaralı elekten geçen zeminlerdir. Grup sembolleri G veya S ön ekiyle başlar. G çakıl veya çakıllı zemin, S ise kum veya kumlu zemin anlamına gelir.
- ii. İnce daneli zeminler, % 50 veya daha fazlası 200 numaralı elekten geçen zeminlerdir. Grup sembolleri, inorganik siltler için M, inorganik killer için C veya organik siltler ve killer için O önekleriyle başlar. (Das, 2021)

Zemin sınıflandırma sistemlerinden yaygın olanlarından bir tanesi de Amerikan Devlet Karayolu ve Ulaşım Bakanlığı tarafından 1929 yılında oluşturulan Karayolları Zemin Sınıflandırma Sistemidir. Bu sisteme göre zemin A-1'den A-7'ye olacak şekilde yedi ana gruba ayrılır. A-1, A-2 ve A-3 grupları zeminin %35 veya daha azının 200 numaralı elekten geçen zeminleri içerirken, A-4, A-5, A-6 ve A-7 grupları %35 veya daha fazlasının 200 numaralı elekten geçtiği zeminleri içerir. Bu zeminler çoğunlukla silt ve kil tipi malzemeler. Bu sınıflandırma sistemi aşağıdaki kriterlere dayanmaktadır:

#### 1 Tane büyüklüğü

- a. Çakıl: 75 mm (3 inç) elekten geçen ve No. 10 (2 mm) elek üzerinde kalan,
- b. Kum: No. 10 (2-mm) elekten geçen ve No. 200 (0,075-mm) elek üzerinde kalan,
- c. Silt ve kil: No. 200 (0,075-mm) elekten geçen.

- 2 Plastisite: Zemindeki ince tabakaların plastisite indisi 10 veya daha az olduğunda silt terimi, 11 veya daha fazla killi terimi kullanılır. (Das, 2021)

Amerikan Devlet Karayolu ve Ulaşım Bakanlığı (ADKUB) tarafından oluşturulan zemin sınıflandırılması Tablo 2’de gösterilmiştir.

**Tablo 2.** AASHTO Zemin Sınıflandırılması

GENEL SINIFLANDIRMA		Granüler Malzemeler (%35 veya daha azı 75µm altında)						Siltli-Killi Malzemeler (%35ten fazlası 75µm altında)					
AASHTO ANA ve ALT ZEMİN GRUPLARI		A -1		A -3	A -2				A -4	A -5	A -6	A -7	
		A -1 -a	A -1 -b		A -2 -4	A -2 -5	A -2 -6	A -2 -7				A -7 -5	A -7 -6
Elekt Analizi	2,00mm (No.10) elekten % geçen	maks.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,425mm (No.40) elekten % geçen	maks.30	maks.50	min.51	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,075mm (No.200) elekten % geçen	maks.15	maks.25	maks.10	maks.35	maks.35	maks.35	maks.35	min.36	min.36	min.36	min.36	min.36
Atterberg Limitleri	Likit Limit	-	-	-	maks.40	min.41	maks.40	min.41	maks.40	min.41	maks.40	min.41	min.41
	Plastisite İndeksi	maks.6	-	NP	maks.10	maks.10	min.11	min.11	maks.10	maks.10	min.11	min.11	min.11
	S = LL - 30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	min.PI	maks.(PI -1)
Açıklamalar	Malzeme Gruplarının Cinsleri	Taş kırıntıları,kum ve çakıl		İnce kum	Siltli veya killi çakıl veya kum				Siltli topraklar		Killi topraklar		
	Kullanılabilirlik Durumu	Çok iyi		İyi	Orta				Orta'dan zayıf'a kadar				
	Plastisite	Yok veya çok az	az	yok	yok veya orta		orta veya yüksek		az veya orta	az	yüksek	yüksek	yüksek
	Kapilarite	az	az	az	az veya orta	orta veya yüksek	az veya orta	orta veya yüksek	orta	yüksek	orta	yüksek	yüksek
	Elastisite	az	az	az	az	orta	az	orta	orta	orta veya yüksek	az	yüksek	az
	Islak stabilite	yüksek	iyi	orta	orta	az	orta	az	az	az	az	az	az
	Kuru Stabilite	yüksek	iyi	orta (tecritle)	orta	orta	orta	orta	orta	orta	orta	az	yüksek

## 1.1.2 Mekanik Zemin Özellikleri ve Zemin Parametreleri

### 1.1.2.1 Mekanik Zemin Özellikleri

Bir yapının inşaatının gerçekleştirileceği zeminin, yapının inşaatı için uygunluğunun öngörülebilmesi için öncelikle o zeminin özellikleri incelenmelidir. Mekanik zemin özellikleri, temelin yapı içerisinde üstlenmesi gerektiği görevi gerçekleştirebilme ihtimaliyle ilgili öngörü yapılabilmesini sağlar.

Mekanik zemin özelliklerinden bir tanesi zemin içerisindeki su oranıdır. Zeminde ki su oranı zemin içerisindeki suyun kütlelerinin zemindeki katı cisimlerin kütlelerine oranıdır.

$$w = \frac{M_W}{M_S} \quad (1.1)$$

Zeminin içerdiği su oranı belirlenirken, bir zemin numunesi öncelikle tartılır ve ardından numune bir fırında 105–110 ° C sıcaklıkta kurutulduktan sonra yeniden tartılarak aradaki fark belirlenir. Bu işlem 4 saat aralıklar halinde yapılan tartma işlemleri sonucunda elde edilen bulgular arasındaki farkın zeminin orijinal kütlesinin %0.1'ini geçemediği noktaya kadar devam ettirilir. Çoğu zemin için normalde 24 saatlik bir kuruma süresi yeterlidir. (Knappett, 2012)

Bir diğer önemli özellik olan zemin doygunluk oranı, zemin içerisindeki suyun hacminin boşluk hacmine oranıdır. Zemin doygunluk oranı %0 ile %100 arasında değişir. Kuru zeminlerin içerisinde su bulunmadığı için bu oran %0, tamamen doygun zeminlerde ise %100 olur. (Knappett, 2012)

$$S_r = \frac{V_W}{V_V} \quad (1.2)$$

Zemin içerisindeki boşluk oranı, boşluğun kapladığı hacmin ( $V_v$ ) zemin içinde bulunan katı cisimlerin toplam hacmine ( $V_s$ ) oranıdır.

$$e = \frac{V_V}{V_S} \quad (1.3)$$

Gözeneklilik, zemin içerisindeki boşluğun oluşturduğu hacmin toplam hacim ile orantılanması ile bulunur.

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (1.4)$$

Zemindeki hava oranı, zemin içerisinde bulunan havanın hacminin toplam hacme oranıdır.

$$A = \frac{V_a}{V} \quad (1.5)$$



Kıvam limitleri (Atterberg limitleri) de zemine ait önemli özelliklerdir. Atterberg limitleri, büzülme limiti, plastik limit, likit limit ve plastisite indisi olarak 4 başlık altında incelenebilir.

Kıvam limitleri (Atterberg limitleri), ince taneli tabaka yapısının temel bir ölçüsüdür. Zeminin su içeriğine bağlı olarak dört durumda görünebilir: katı, yarı katı, plastik ve sıvı. Her durumda kıvam ve davranış farklılığı gözlemlenir. Bu farklar mühendislik özelliklerinin de değişkenlik göstermesine sebep olur. Atterberg limitleri incelenen zeminin silt veya killi olarak gruplandırılabilmesine olanak sağlarken aynı zamanda da bu gruplar içerisindeki alt gruplar hakkında da bilgi verir. Atterberg limitleri ilk olarak İsveçli bir kimyager olan Albert Atterberg tarafından oluşturulmuş, daha sonra Arthur Casagrande tarafından revize edilmiştir. (Miedema, 2014)

Büzülme limiti, kıvam limitleri grubuna giren mekanik bir özelliktir. Bu özellik, zeminde hacim kaybı yaşanmadan kaybedilen su oranı olarak tanımlanmaktadır. Büzülme limiti, plastik limit ve likit limite göre daha az kullanılmaktadır.

Likit limit ve plastik limit, numuneler ile laboratuvar ortamında yapılan deneyler ile belirlenen özelliklerdir. Bu özellikler zemin esnek davranış gösterebileceği aralığı belirleyen alt ve üst sınırlardır. Zemin içerisindeki su oranı likit limitin üstüne çıktığında bir sıvı gibi akışkanlık gözlemlenirken, su oranının plastik limitin altına indiğinde ise gevreklik gözlemlenir. (Knappett, 2012)

Plastik limit belirlenmesi, kurutulmuş ve 40 numaralı elekten geçen numuneler ile belirli bir miktar su karıştırılıp bir cam plaka üzerinde el altında yuvarlanarak gerçekleştirilir. Bu yuvarlama sırasında yuvarlanan numune çapının 3 mm olduğu durumda numunede parçalanmanın gerçekleştiği su miktarı gözlemlenir. Bulunan bu su miktarı, bu numunenin plastik limitini belirtir. (Uzuner, 2007)

Likit limit, birden fazla yöntemler belirlenebilmektedir. Bu yöntemlerden en yaygın olanı A. Casagrande tarafından geliştirilen Casagrande yöntemidir. Bu yöntem kullanılırken standart likit limit aletleri kullanılır. Alet, kolu döndürüldüğünde, sert bir lastik blok üzerine, 10 mm yükseklikten düşen yarım küre biçiminde metal bir tas kaptan oluşur. Testi gerçekleştirmek için plastik limit belirleme deneyinde olduğu gibi 40 numaralı elekten geçen kurutulmuş bir numune alınır. Bu numune ıslatılır ve metal tase

yerleştirilir. Numune ortasına bir yarık açılarak 2 parçaya ayrılması sağlanır. Daha sonra aletin kolu saniyede 1 dönüş olmak üzere döndürme sayısı sayılarak çevrilmeye başlanır. Bu döndürme işlemi ile numune tasın altında bulunan blok üzerine düşerken bu düşüş sırasında numune parçaları birbiriyle birleşmeye başlar. Bu birleşmenin yaklaşık olarak 10 mm olduğu noktada kol döndürme durdurulur ve döndürme sayısı not edilir. Bu işlem farklı su oranına sahip numuneler için de birkaç kez tekrar edilir. Daha sonra elde edilen döndürme sayılarının logaritmik olarak yatay düzlemde belirtildiği, bu döndürme sayılarına ait su oranlarının da dikey düzlemde belirtildiği bir grafik çizilir. Bu grafikten döndürme sayısının 25 olduğu su oranı belirlenir. Bu oran zeminin likit limitidir. (Uzuner, 2007)

Plastisite indisi ise zeminin esnek davranış gösterebileceği su oranı aralığıdır. Bu aralık likit limit ile plastik limit arasındaki farktır.

$$I_p = w_L - w_P \quad (1.6)$$

Likit limit, plastik limit ve plastisite indisi diğer zemin özellikleri ile kapsamlı olarak kullanılan özelliklerdir. Bu ortak kullanım, zemin ile ilgili, sıkıştırılabilirlik, geçirgenlik, kesme dayanımı ve büzülme-şişme gibi mühendislik davranışıyla bağlantılı olan özellikler hakkında bilgi sahibi olunmasına olanak sağlar. (ASTM D4318-00, 2000)

Sıkıştırılabilirlik, yapı elemanı olan temelin hizmet süresi boyunca sahip olacağı oturma miktarını etkileyen önemli faktörlerdendir. Bu özellik, zemin içerisinde bulunan su ve/veya buharın basınç sonucunda zemin dışına çıkması ile oluşan boşluğun tabakalarda içerisindeki diğer partiküller tarafından doldurulması ile hacimsel olarak gerçekleşen küçülme olarak açıklanabilir.

Zemin geçirgenliği, zeminin içerisinde bulunan sıvının boşluklar aracılığıyla yüksek enerjili bir noktadan düşük enerjili noktaya ilerleyerek suyu iletmesi veya geçirmesi olarak nitelendirilir. Geçirgenliğin ölçülmesi, sızıntı ihtimalinin engellenerek yapının sağlıklı bir hizmet ömrüne sahip olması açısından dikkatli olunması gereken bir kriterdir. (Sridharan & Gurtug, 2005)

Zemin büzülme davranışı, 19. yüzyıldan itibaren çalışılan önemli bir özelliktir. Bu büzülme, herhangi bir basınç bulunmuyorken, zemin içerisinde su ve/veya buhar

oranının dış etmenler ile azalmasıyla gerçekleşen hacimsel azalması olarak tanımlanabilir. Hacim seviyesi, bir noktada, zemin içerisindeki nem miktarının azalmasından bağımsız bir noktaya gelerek sabit kalır. Bu noktadaki su oranı zeminin büzülme sınırı olarak isimlendirilir. (Das et al., 2016)

Zemin içerisinde bulunan boşlukların su ve/veya buhar ile dolması sonucu hacminin artması ise şişme olarak isimlendirilir. Bu hacimsel artış zamanla zeminin nüfuz ettiği yapısal elemanlara basınç uygulayarak temellerin zarar görmelerine sebep olur. Bu da yapılar üzerinde negatif bir etki yaratarak yapı güvenliğini azaltır. (Lucian, 2006)

### 1.1.2.2 Zemin Parametreleri

Zemin parametreleri, zeminde gerçekleştirilen deney sonuçları ile elde edilen, zeminin davranışı hakkında bilgi sahibi olunmasını sağlayan önemli bulgulardır.

En önemli zemin parametrelerinden bir tanesi olan kesme dayanımı, zemin içerisindeki partiküllerin bir düzlem üzerinde yer değiştirmesini engelleyen iç direnç olarak nitelendirilir. Bu dayanım şev duyarlılığı, yanal zemin basıncı ve taşıma kapasitesi gibi kriterlerin belirlenebilmesi açısından önemli bir özelliktir. Zemine uygulanan kesme basıncı, zemin kesme dayanım seviyesini geçtiğinde zeminde büyük deformasyonlar oluşur. (Abd El Aal & Rouaiguia, 2019)

Zemin parametreleri zemini oluşturan zeminin kohezyonlu olup olmamasına göre değişiklik gösterir. Bağlı yoğunluk ve kayma direnci açısı kohezyonsuz zeminler için, drenajsız kayma dayanımı kohezyonlu zeminler için kullanılan parametrelerdir.

Bağlı yoğunluk, zeminin doğal durumundaki boşluk oranıyla en gevşek durumundaki boşluk oranı arasındaki farkın, en gevşek durumundaki boşluk oranının en sıkı konumdaki boşluk oranı arasındaki farka oranıdır.(Bağıntı 1.7)

$$D_r = \frac{E_{max} - E}{E_{max} - E_{min}} \quad (1.7)$$

Efektif kayma direnci açısı, zemin kesme dayanımını belirleyen en önemli parametrelerden bir tanesidir. Bu parametrenin tanımı, Mohr-Coulomb başarısızlığı kriterinden üretilmiştir. Bu açı zeminin kesme dayanımının belirlenmesinde zeminin etkin aksenal gerilme miktarı ile belirler. Bu açı, kesme basıncı ve aksenal gerilme basıncının oluşturduğu düzlemde, Mohr-Coulomb kesme dayanım çizgisinin yatayda sahip olduğu eğim açısıdır. (Lukić, 2018)

Drenajsız kesme dayanımı denklemi kohezyonlu zeminler için doğrusal bir formda Fredlund, Morgenstern ve Widger tarafından 1978 yılında oluşturulmuştur.

$$\tau_f = c' + (\sigma_n - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) \tan \phi \quad (1.8)$$

$\tau_f$  = doymamış zeminin kesme dayanımı

$c'$  = doymuş zeminin efektif kohezyon seviyesi

$\phi'$  = doymuş zeminin efektif kayma direnci açısı

$\phi$  = matrik emmeye göre kayma direnci açısı

$(\sigma_n - u_a)$  = kırılma anında, kırılma düzleminde oluşan net aksenal gerilme

$(u_a - u_w)$  = kırılma anında zemindeki matrik emme seviyesi (Vanapalli &

Fredlund, 1997)

### 1.1.3 Zemin Analizi

Zemin analizi ağırlıklı olarak her proje için projenin özelliklerine göre yapılsa genel olarak aşağıda belirtilen kriterler hakkında bilgi sahibi olunmasına imkan sağlar:

- Zemin içerisindeki yeraltı su seviyesinin belirlenebilmesi,
- Oturma miktarının hesaplanabilmesi,
- Temelin taşıma gücünün hesaplanması,

- Temel çeşidinin belirlenmesi,
- Çevresel ve yapısal problemlerin belirlenmesi. (Birand, Ergun & Erol, 2011)

Zemin analizi için zemin içerisinde denemeye kuyuları açılması ve zemin üzerinde sondaj çalışması yapılarak sondaj kuyuları açılması yöntemleri, zemini gözlemleyebilmek amacıyla gerçekleştirilen en yaygın yöntemlerdir.

Deneme kuyuları, bir kepçe tarafından 4-5 metre derinliğinde açılan çukurlardır. Bu kuyuların özelliği yüzey altında kalan zeminin özelliklerini analiz edebilmektir. Kuyu açıldıktan sonra, kuyu kenarlarının desteklenmesiyle birlikte zemini analiz etmek isteyen kişi kuyunun içine girerek gerekli gözlemlerini gerçekleştirir. Eğer yer altı su düzeyi kazılan derinliğin üzerinde ise gerekli su atım işlemleri gerçekleştirilmelidir. (Birand, Ergun & Erol, 2011)

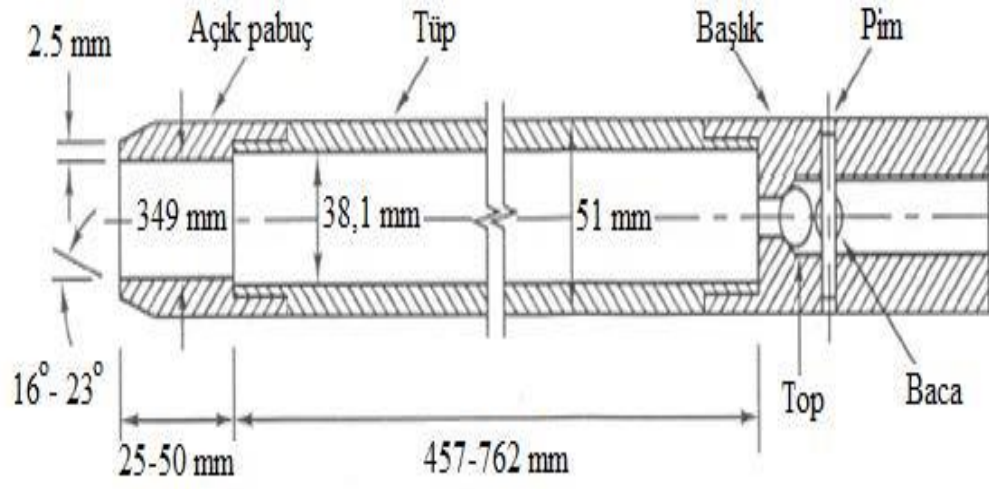
Sondaj kuyularının açılması, zeminin daha derin noktalarına ulaşım imkanı sağlamalarından dolayı daha etkili yöntemlerdir. Aydoğan (2012), sondaj tanımını yeraltında gerçekleşen jeolojik oluşumlar hakkında bilgi almak için derin kuyular açmak olarak yapar.

### **1.1.3.1 Arazi Deneyleri ( Sondalar )**

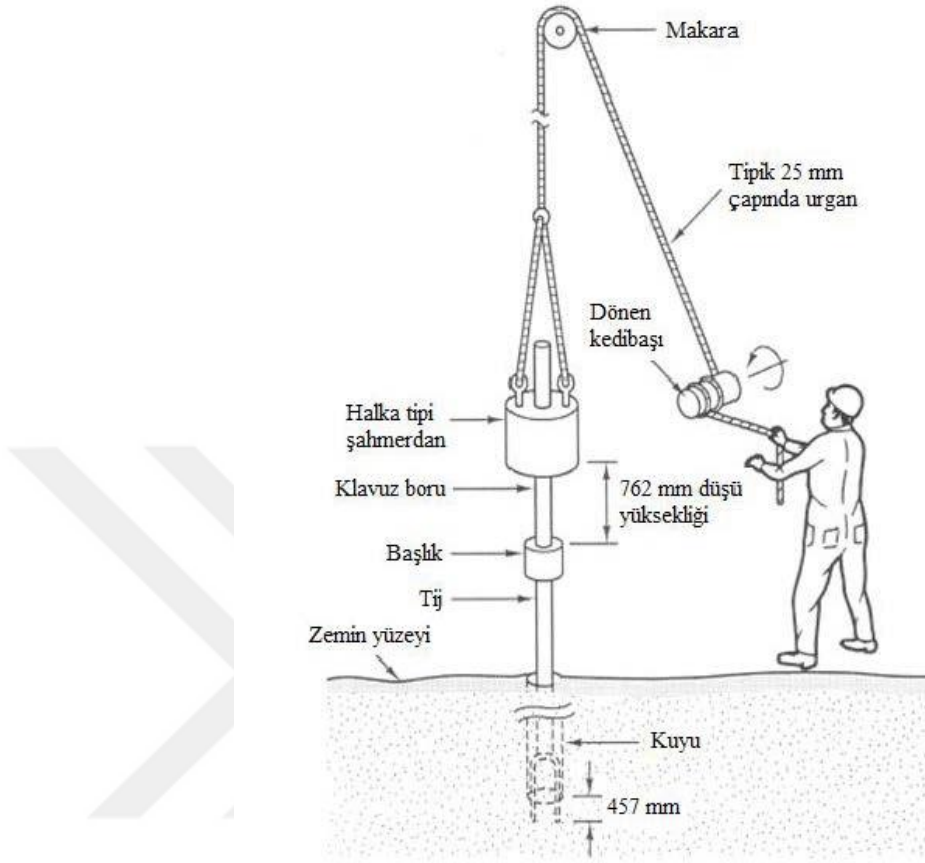
Arazi deneyleri ( Sondalar ) zemine ait parametrelerin belirlenmesi için kullanılan, zemini oluşturan zemin yapısından örnek almadan zeminin bulunduğu ortamda incelenmesi için kullanılır. Bu yöntemlerin öncelikli kullanılma sebebi, kohezyonsuz zeminlerde numune alınma işleminin gerçekleştirilmesinin zor olmasıdır. “Standart Penetrasyon Deneyi”, “Koni Penetrasyon Deneyi”, “Presiyometre Deneyi”, “Plaka Yükleme Deneyi” ve “Veyn Kesme Deneyi” en yaygın kullanılan arazi deneyleridir. Bu deneyler araziye ait zemin parametrelerini tek bir eksen üzerinde belirlenmesine olanak sağlarlar. Bu deneylerin sonucunda elde edilen bulguların tasarım aşamasında kullanılabilmesi için sonuçların ampirik bağlantılar ve düzeltme katsayıları ile birlikte kullanılmaları gerekmektedir. (Özüdoğru et al., 2001)

### 1.1.3.1.1 Standart Penetrasyon Testi

Standart Penetrasyon Deneyi ( SPT ), arazi deneyleri arasında en yaygın kullanılan ve önceden açılmış sondaj kuyuları içerisinde uygulanan deneylerdir. Amerikan Test ve Malzeme Kurumu (2011) , Standart Penetrasyon Testi hakkında yayınladığı standartta deney basamaklarını açıklamıştır. Esas olarak kumlar ve çakıllar için göreceli sıklığın bir gösterge olmasına karşın silt, kil ve zayıf kayaların kıvam ve dayanımlarının tahmininde de kullanılmakta olup kohezyonsuz zeminlerin sıklık, yoğunluk ve içsel sürtünme açısının belirlenmesi ile kohezyonlu zeminlerin kıvamının tayininde kullanılır. Sondaj kuyuları açılıp tabanı temizlendikten sonra numune alma aparatı birbirine geçmiş tijler yardımı ile kuyunun içerisine salınır. Numune alma aparatı zemine yerleştikten sonra bir halata bağlanmış 63.5 kg ağırlığındaki şahmerdan isimli deney aparatının 76 cm yüksekliğe çıkartılarak serbest düşüş yapması sağlanır. Bu serbest düşüş yöntemi ile numune alma aparatının kuyu içerisinde 15 cm ilerlemişti sağlanarak sondaj kuyusu açılırken örselenen zemin aşılır. Örselenmiş zemin aşıldıktan sonra numune alma aparatının zemin içerisine 30 cm çakılması sağlanana kadar bu serbest düşme işlemi tekrarlanır. Numune alma aparatı zemin içerisine 30 cm çakıldıktan sonra şahmerdan ile vuruş kesilir ve örselenmiş zeminin aşıldığı an ile aparatın zemin içerisine 30 cm çakıldığı an arasında geçen süredeki vuruş sayısı belirlenir. Bu vuruş sayısı zeminin Standart Penetrasyon Direnci ( SPT-N ) olarak adlandırılır. (ASTM, D1586)



Şekil 2 1 Numune Alma Aparatı



**Şekil 2 2** Standart Penetrasyon Test Düzenegi

Standart Penetrasyon Deneyinin uygulanışı sırasında uygulama basamakları zemin şartlarından ve deneyin sırasında kullanılan ekipmanların fiziksel durumlarından etkilenebilmektedir. Bu etki, deney sonucunda elde edilen sonuçlar üzerinde düzeltme katsayıları ile değişiklik yapılması ihtiyacını ortaya çıkarır. Skempton (1986), deney sırasında deney sonuçlarını etkileyen unsurları göz önüne alarak SPT-N değeri için bir formül ortaya koymuştur. Buna göre;

$$N_{60} = \frac{N * E_M * C_B C_S C_R}{0.60} \quad (1.8)$$

Bu denklemde;



$N_{60}$ :Düzeltilmiş SPT-N değeri

N: Arazi deneyi sonucu

$E_m$ : Şahmerdan etkinliği

$C_b$ : Kuyu çapı düzeltme katsayısı

$C_s$ : Numune alma aparatı düzeltme katsayısı

$C_R$ : Tij uzunluğu düzeltme katsayısı

değerlerini göstermektedir.

**Tablo 3** Düzeltme Katsayıları

Düzeltme Türü	Değişken Boyutları	Düzeltme Katsayıları
Kuyu Çapı ( $C_b$ )	65-115 mm	1.00
	150 mm	1.05
	200 mm	1.15
Numune Alma Aparatı ( $C_s$ )	Standart Numune Aparatı	1.00
	Astarsız Numune Aparatı	1.20
Tij Uzunluğu ( $C_R$ )	0-4 m	0.75
	4-6 m	0.85
	6-10 m	0.95
	>10 m	1.00

Skempton (1986), şahmerdan etkinlik değerinin 0.6 olarak kullanılmasını önermektedir. Kuyu çapı, numune alma aparatı ve tij uzunluğu için kullanılan düzeltme katsayıları Çizelge’de verilmiştir.

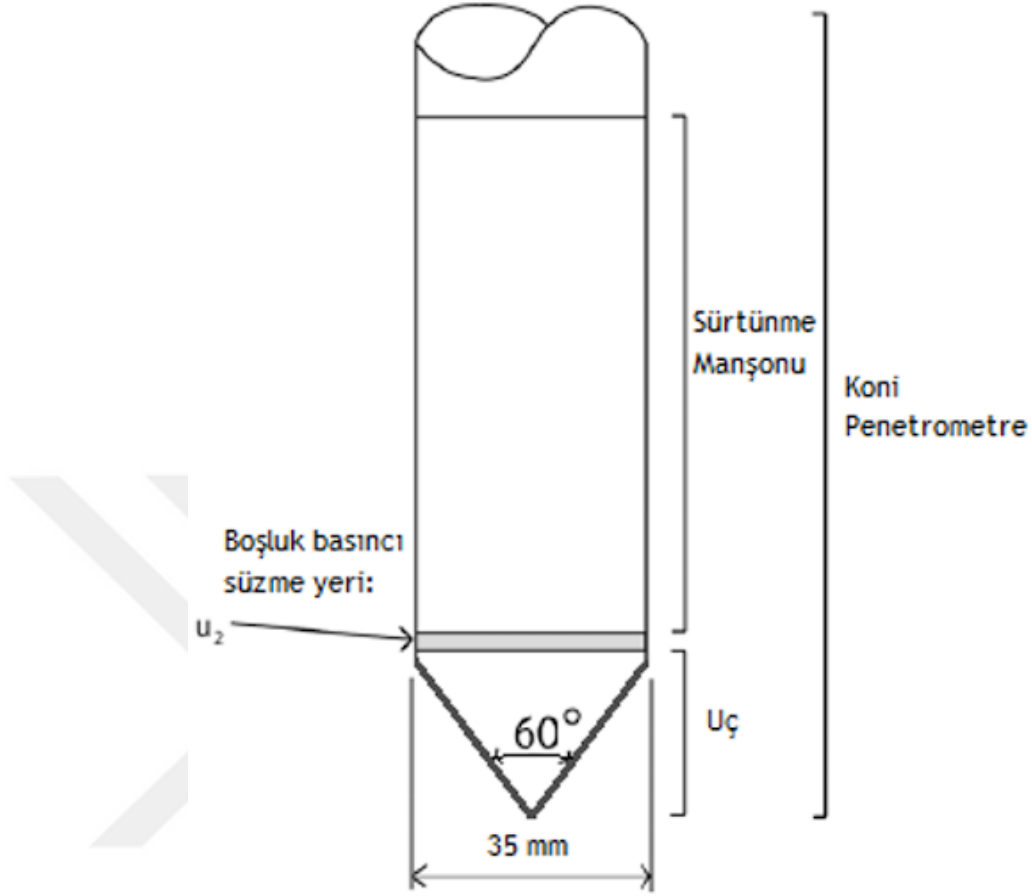
Standart Penetrasyon Deneyi yeraltı su seviyesi altındaki çok ince kum ve siltli kum zeminlerinde gerçekleştirildiğinde, ölçülen N değeri 15'ten büyük ise, zemindeki aşırı boşluk basıncından dolayı oluşan direnç artışı nedeniyle verilen formüle göre düzenlenmelidir.

$$N' = 15 + \frac{1}{2} ( N - 15 ) \quad (1.9)$$

#### **1.1.3.1.2 Konik Penetrasyon Deneyi ( CPT )**

Konik Penetrasyon Deneyi ( CPT ) ilk olarak 1920'li yıllarda kullanılmaya başlanılan yaygınlıkla kullanılan bir arazi deneyidir. Bu deneyin kullanım başlıca kullanım amacı, ince taneli ve iri taneli zemin kesitleri arasına kalan tabakalarda bulunan zeminlerin özelliklerini, zemin üzerinde herhangi bir örselemeye sebep olmadan belirlenmesine olanak sağlamasıdır. (Ertan et al., 2014) Özellikle yumuşak kil ve siltler ile kumlu zeminlerde olumlu sonuçlar veren, ancak çakıllı ve bloklu zeminler ile kayada sonuç alınamayan arazi deneyidir.

CPT Deneyi, taban alanı 10 cm<sup>2</sup> olan ve eğiklik açısı 600 olan koni şeklinde bir uç ile 10 cm<sup>2</sup> taban alanı olan ve 13,35 cm uzunluğuna sahip silindirik bir kolun birleşiminden oluşan koniler tarafından gerçekleştirilir. Bu koniler mekanik ve elektronik konilerdir. Koniler, deney sırasında, hidrolik bir düzenek ile 10-20 mm/sn hızla zemin içerisine itilir. Bu itilme sırasında zeminin koniye karşı uyguladığı direnç kaydedilir. Kaydedilen bu direnç, silindirik kol yüzeyine etki eden sürtünme kuvveti ve silindirik kol yüzey alanının 150 cm<sup>2</sup> olarak kabul edilmesiyle hesaplanabilen silindirik kol sürtünme direnci ve koni ucuna etki eden sürtünme kuvveti ve 10 cm<sup>2</sup> olduğu bilinen yüzey alanı ile hesaplanabilen koni sürtünme direncinin toplamına eşittir.



**Şekil 2 3** Konik Penetrasyon Deneyi Ekipmanı (Lunne et al., 2002)

Mekanik koniler yardımı ile gerçekleştirilen CPT Deneyleri sırasında ölçümlerin ancak 20 cm aralıklarla gerçekleştirilmesi mümkün iken elektronik koniler kullanılarak yapılan deneylerde her seviyede ölçüm yapılması mümkündür.

### 1.1.3.1.3 Presiyometre Deneyi

Presiyometre, sondaj kuyularının yüzeyini kaplayacak şekilde yerleştirilen silindirik bir zardan oluşur. Bu zar üzerinde basınç artışı ile gerçekleşen hacimsel büyümeler ölçülür ve bu ölçüm sonucunda elde edilen sonuçlar zemin parametreleri hakkında çıkarımlar yapılmasını sağlar. (Baguelin et al., 1978) Bu deney ile zeminin taşıma gücü, temel altında oluşacak oturma ve farklı oturma miktarlarını hesaplamak için özellikle

çakıllı, kumlu, killi, siltli, alüvyon zeminlerde ve bozuşmuş, ayrıışmış kayalar ile yumuşak kaya temellerde, uygulanan bir yöntemdir. Böylelikle çok yumuşak zeminlerden, basınç dayanımı 20 MPa'ya kadar çıkan zeminlere dâhil oldukça geniş bir aralıkta yer alan zeminlerde kullanılabilir.

Presiyometre Deneyi, sondaj kuyularının içine yerleştirilen silindir test çubuğu ve bu test çubuğu üzerinde gerçekleşen değişikliklerin ölçülmesi için kullanılan presiyometre ölçüm cihazı ile gerçekleştirilir. Kuyu içerisine yerleştirilen çubukta 3 bölme bulunur. Alt ve üstte bulunan 2 bölme hava ile merkezde bulunan bölme ise su ile doldurulur. Hava ile doldurulan bölmelerin kuyu yüzeyine üniform basınç uygulanması sağlanır. Presiyometre ölçüm cihazı merkez bölmeyle bağlanır. Zemin yüzeyinde oluşan basınç artışları sonucunda hava ve su sıkışır ve basınçları artar. Her bir basınç artışından 15,30,60 ve 120 saniye sonra suyun basıncı ve kuyudaki genişleme hesaplanır. Deney, üst üste gerçekleşen 10 eşit deney artışı gerçekleştirinceye kadar devam ettirilir.(Birand, Ergun & Erol, 2011)

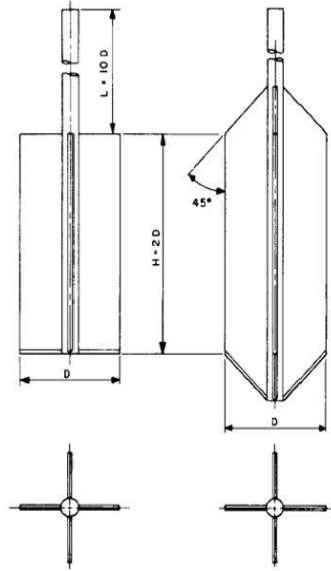
#### **1.1.3.1.4 Plaka Yükleme Deneyi**

Plaka Yükleme Deneyi, bir temelin yük taşıma kapasitesinin ve tolere edilebilir oturma miktarına bağlı taşıma gücünün etkin bir şekilde belirlenmesine olanak sağlayan bir arazi deneyidir. Bu deney ile numune alınmakta güçlük çekilen zeminlerde, penetrasyonun zor olduğu iri daneli zeminlerde, zayıf veya ayrıışmış kaya ortamlarında, sıkıştırılmış yapay dolgu alanların sıkışma kalitesinin belirlenmesinde, kara yolu, demir yolu ve ya hava alanları pistleri gibi hareketli yüklerin bulunduğu zeminlerde, fabrika, ticaret alanları ve yük depolanacak alanlarda zemine ait taşıma gücü, yatak katsayısı ve uygulanan yükler altında zeminde meydana gelecek deformasyon miktarlarının belirlenmesinde sıklıkla kullanılan bir arazi deneyidir. Bu deneyin en önemli avantajı pratik ve yerinde sonuçlar verebilen bir yöntem olmasıdır. Plaka Yükleme Deneyi, 25 cm kalınlığında ve çapı 150 ile 722 mm arasında değişen bir plakanın, zeminde açılan çapı plaka çapının 4 katına ve derinliği tasarlanan temelin derinliğine eşit bir kuyuya yerleştirilerek temele etki etmesi öngörülen yük kapasitesinin 1/5'inin kademeli olarak plaka uygulanmasıyla gerçekleştirilir. Her bir yükleme 1 saat boyunca gerçekleştirilir.

Deney, plakada bir kırılma gerçekleşene veya plakanın oturma miktarı 25 cm olana kadar devam ettirilir. (Birand, Ergun & Erol, 2011)

#### 1.1.3.1.5 Veyn Kesme Deneyi (VST)

Veyn Kesme Deneyi, normal olarak oldukça üniform, suya doymun kohezyonlu zeminlerden drenajsız kayma mukavemeti  $100 \text{ kN/m}^2$ 'e kadar olan zemin türlerinde özellikle örselenmemiş numune alınmasının zor olduğu yumuşak kıvamdaki kil ya siltli killer vb. yumuşak-hassas zemin koşullarının olduğu çökelerde olumlu sonuçlar vermektedir. Veyn Kesme Deneyi, ucunda 4 tane bıçak bulunan bir çubuğun zemin içerisine yerleştirildikten sonra çubuğun döndürülmesiyle gerçekleştirilen bir diğer arazi deneyidir. Bu döndürme işlemi zeminde bir kesme yaratır.



Şekil 2 4 Veyn Kesme Deneyi Ekipmanı ( ASTM D2573-08 )

Deney sonucunda bıçaklara uygulanan maksimum torqa göre aşağıda verilen formül ile zeminin drenajsız kesme dayanımı belirlenir. Buna göre;

$$c_u = \frac{T}{\pi D^2 \left( \frac{H}{2} + \frac{D}{2} \right)} \quad (1.10)$$

Burada;

$c_u$  = Direnajsız Kayma Dayanımını

D = Pervane Çapını

H = Pervane Yüksekliğini

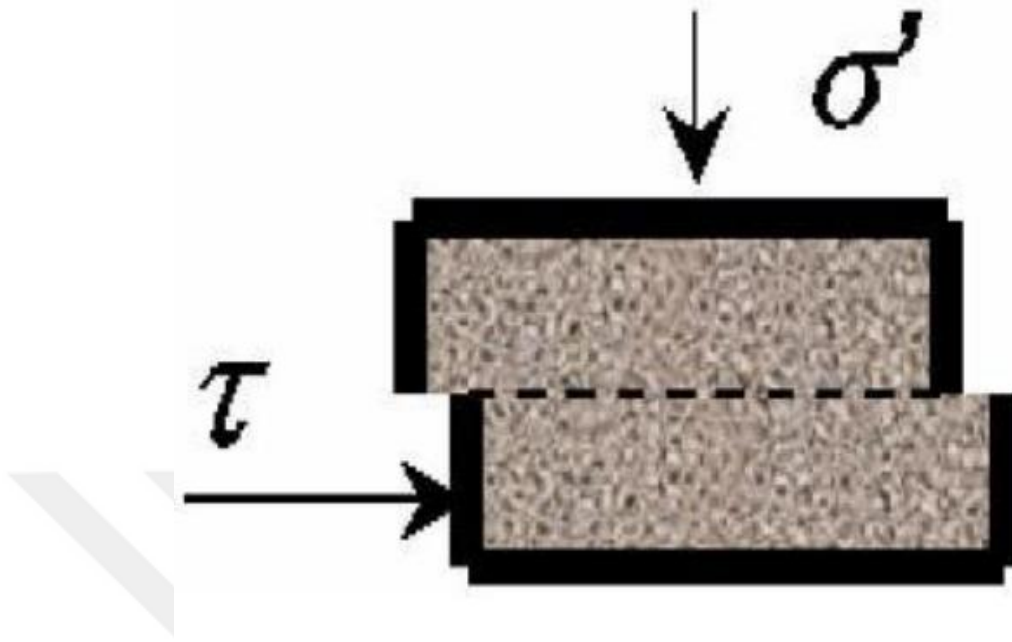
değerlerini göstermektedir.

#### **1.1.4 Laboratuvar Deneyleri**

Yer sarsıntıları konum ve zaman olarak rastgele oluşan doğa olayı olması ve depremler sırasında zeminin davranışı ile ilgili arazi kayıtlarının olası bulunuşu, araştırmacıları zemin davranışlarını analiz etmek için deneysel çalışmalardan ve gözlemlerden faydalanma gereği duyulmuştur. Özellikle dayanım ve gerilme/deformasyon ilişkisini veren laboratuvar deneyleri ile zeminin yerindeki fiziksel özelliklerini ifade eden doğal su içeriği ve doğal birim hacim ağırlığı gibi içerik deneyler örselenmemiş numuneler üzerinde yapılmalıdır. Zemin sınıflandırması için de örselenmiş numuneler kullanılmaktadır.

##### **1.1.4.1 Kesme Kutusu Deneyi**

Kesme Kutusu Deneyi, birbirinden bağımsız hareket edebilen ve dikdörtgen veya dairesel iki parçadan oluşan bir kutu yardımıyla gerçekleştirilen bir laboratuvar deneyidir. Bu deney ile genellikle sıkıştırılmış dolgu numuneleri, kumlar, siltler ve killer uygun zemin tipleridir. Kesme Kutusu Deneyi ile zemine ait pik ve kritik mukavemet, içsel sürtünme açısı ayrıca kohezyon değerleri elde edilmiş olunur.



**Şekil 2 5** Kesme Kutusu Deneyi Ekipmanı

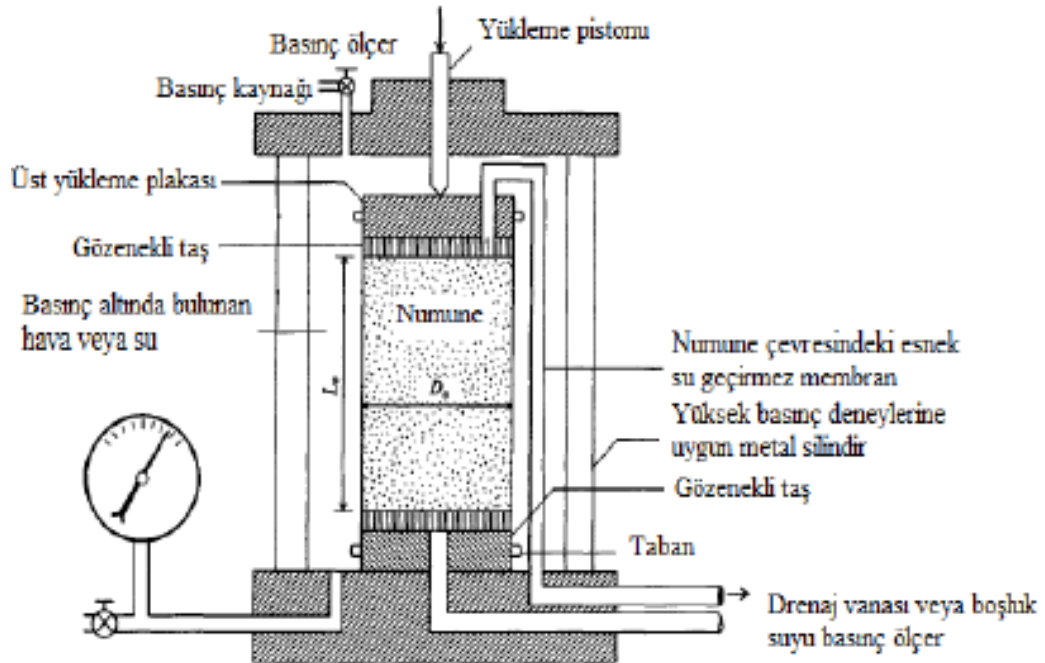
Deney düzeneği olan kutu içerisine arazide bulunan zeminden alınan numune yerleştirilir. Bu numune üzerine normal kuvvet uygulanarak konsolide edilir ve kutuyu oluşturan parçalardan olan üst parça sabit tutulurken alt parça yatay düzlemde hareket ettirilmeye başlanır. Bu hareket süresince normal kuvvet etkisi altında bulunan numunedeki kesme kuvvetine bağlı yatay deformasyonlar ölçülür. Numunede göçmeye sebep olan kesme gerilim değeri zeminin kayma mukavemeti olarak adlandırılır.

#### **1.1.4.1.1 Serbest Basınç Deneyi**

Serbest Basınç Deneyi, zeminin serbest basınç mukavemetinin ölçülmesinde kullanılan bir laboratuvar deneyidir. Bu deneyin uygulanması için alınan silindirik şekilde bir numune üzerine düşey yük uygulanır ve bu düşey yük sebebiyle oluşan kısalma ölçülür. Numune göçmeye sebep olan sıkıştırma basıncı zeminin serbest basınç mukavemet değerine eşittir. Serbest Basınç Deneyi, kendini tutabilen siltli ve killi zeminler için uygun olup granüler zeminler için uygun değildir. Böylelikle kohezyonlu zeminlerin (killerin) drenajsız kayma mukavemetini belirlemek için bu deney uygulanır.

### 1.1.4.1.2 Üç Eksenli Basınç Deneyi

Üç Eksenli Basınç Deneyi, laboratuvar ortamında numunenin alındığı zeminin bulunduğu arazinin şartlarının, diğer laboratuvar deneylerindeki şartlar ile karşılaştırıldığında, en yakın şartların oluşturulmasına olanak sağlaması açısından en yaygın kullanılan laboratuvar deneyidir. Zemin numunesi üzerinde arazideki benzer gerilmeler oluşturulabilmesi nedeni ile en gelişmiş deney çeşididir. Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için uygun olan deney türünde kumlar, siltler ve killer araştırmak için uygun zemin tipidir. Bu deneyde öncelikle silindir şeklinde alınmış bir numune, etrafına bir kılıf geçirilerek test aparatındaki hücreye yerleştirilir ve numune üzerinde hidrostatik basınç oluşturulması sağlanır. Kılıf, hidrostatik basınç oluşturulması için kullanılan suyun numuneye direkt temas etmesini engelleyerek basınç değerlerinin değişiminin gözlemlenmesini kolaylaştırmak amacıyla kullanılır. Hidrostatik basınç istenen seviyede oluşturulduktan sonra yükleme pistonu yardımı ile numune üzerinde tek eksenli düşey bir basınç oluşturulur. Bu işlemler sırasında deney aparatı içerisindeki kanallar yardımı ile düzenekteki drenaj seviyesi kontrol edilir.



Şekil 2 6 Üç Eksenli Basınç Deneyi Aparatı (Bowles, 1996)



Üç Eksenli Basınç Deneyi, zeminin kayma direnç seviyesinin, arazi koşullarındaki değerine en yakın haliyle elde edilmesine olanak sağlar. Numunenin sahip olduğu su doygunluk seviyesinin kontrol edilebilmesi, numune üzerinde oluşturulan çevresel basınç ile arazi koşullarının oluşturulabilmesi ve deney sırasında drenaj seviyesindeki değişimin kontrol altında tutulabilmesi kayma direncinin hassas bir şekilde belirlenebilmesinin başlıca sebepleridir. Deney sırasında drenajlı durumlarda numune üzerindeki hacimsel değişimler incelenebilirken drenajsız durumlarda da numune içerisindeki boşluk suyu basıncı gözlemlenebilir. Deneyin gerçekleştirilme yöntemi, numune alınan zeminin konsolide olup olmaması ve drenaj seviyesi gibi özelliklerine göre ufak farklılıklar göstermektedir.

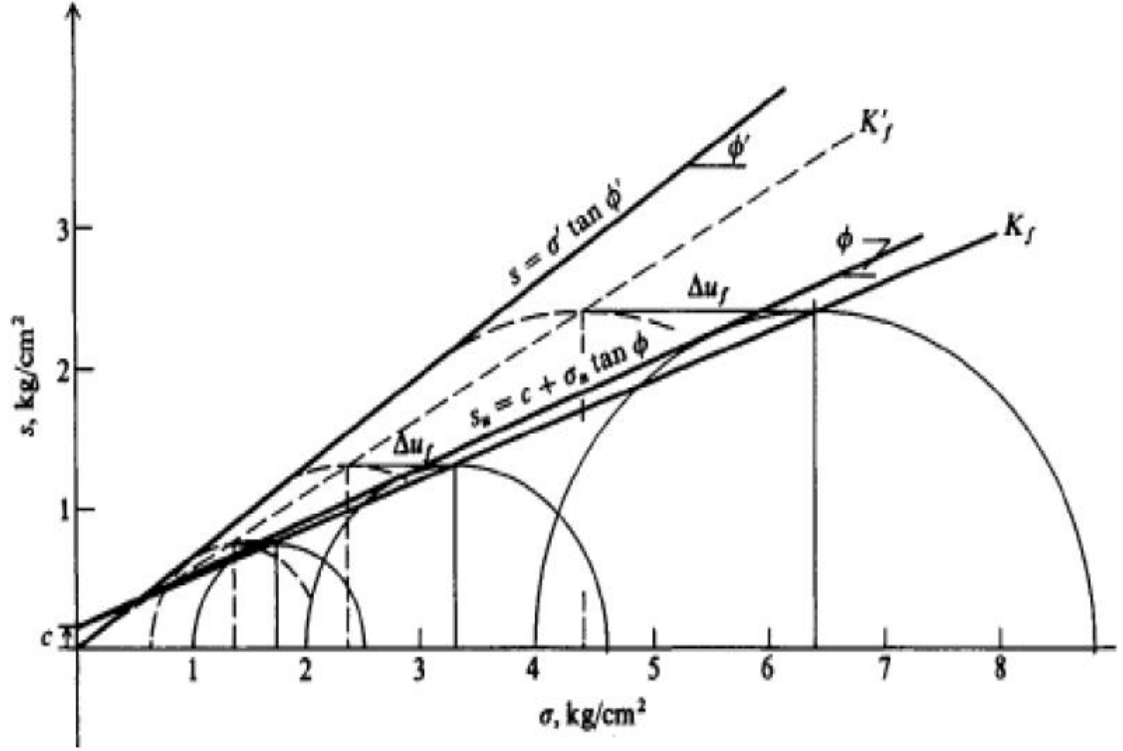
Konsolidasyonsuz - Drenajsız ( UU ) numune kullanılan deneylerde, numuneden sıvı çıkışı engellenir. Zeminin dayanımı toplam basınç üzerinden hesaplanır. Deney sonucunda elde edilen dayanım değeri, numune üzerine yapılan tek eksenli basınç yüklenmesi sırasında oluşan boşluk suyu basıncına bağlıdır. (ASTM D2850 – 03a).

Konsolidasyonlu – Drenajsız ( CU ) numune kullanılan deneylerde, deney sırasında ölçülmüş olan boşluk suyu basınç değeri kullanılarak numune kesme dayanımı numune üzerindeki etkin gerilme değeri üzerinden hesaplanır. Deney sırasında tek eksenli düşey basınç yüklenmesi öncesinde numune içerisindeki sıvının tamamen sıvıyı terk etmesi beklenerek numunenin tamamen konsolide olması beklenir. (ASTM D4767 – 11)

Konsolidasyonlu – Drenajlı (CD) numune kullanılan, numune uygulanan yükün uygulama hızı oldukça yavaş ve numune gerilme oranı ise oldukça düşüktür. Bu durum, numune içerisindeki boşluk basıncının dağılmasına olanak sağlayarak aşırı gözenek suyu basıncının ihmal edilebilir olmasına sebep olur. Böylece, deney sonucunda elde edilen kesme dayanımı etkin gerilme değeri üzerinden hesaplanır. (ASTM D7181 – 20 )

Üç Eksenli Basınç Deneyi, numune üzerinde yapılan tek eksenli yükleme sonucunda bir göçme oluşana kadar devam eder. Göçme olduğu noktada ise deney sonlandırılır. Deney, farklı basınç değerleri için birden fazla kez uygulanır. Her uygulama sonucunda elde edilen bulgular not edilerek deney ile ilgili Mohr dairesi çizilir ve numuneye ait zemin kırılma zarfı elde edilir. Zemin numunesinin

konsolidasyonsuz – drenajsız zeminlerden alındığı durumlarda numune içerisindeki boşluk suyu basıncı değişimi de gözlemlenebilir. Bu gözlemin gerçekleştirilebilmesi numuneye ait toplam gerilmenin yanında efektif gerilme değerinin de ölçülebilmesine imkan sağlar ve böylece zemine ait kayma dayanım değeri iki durum için de elde edilebilir.



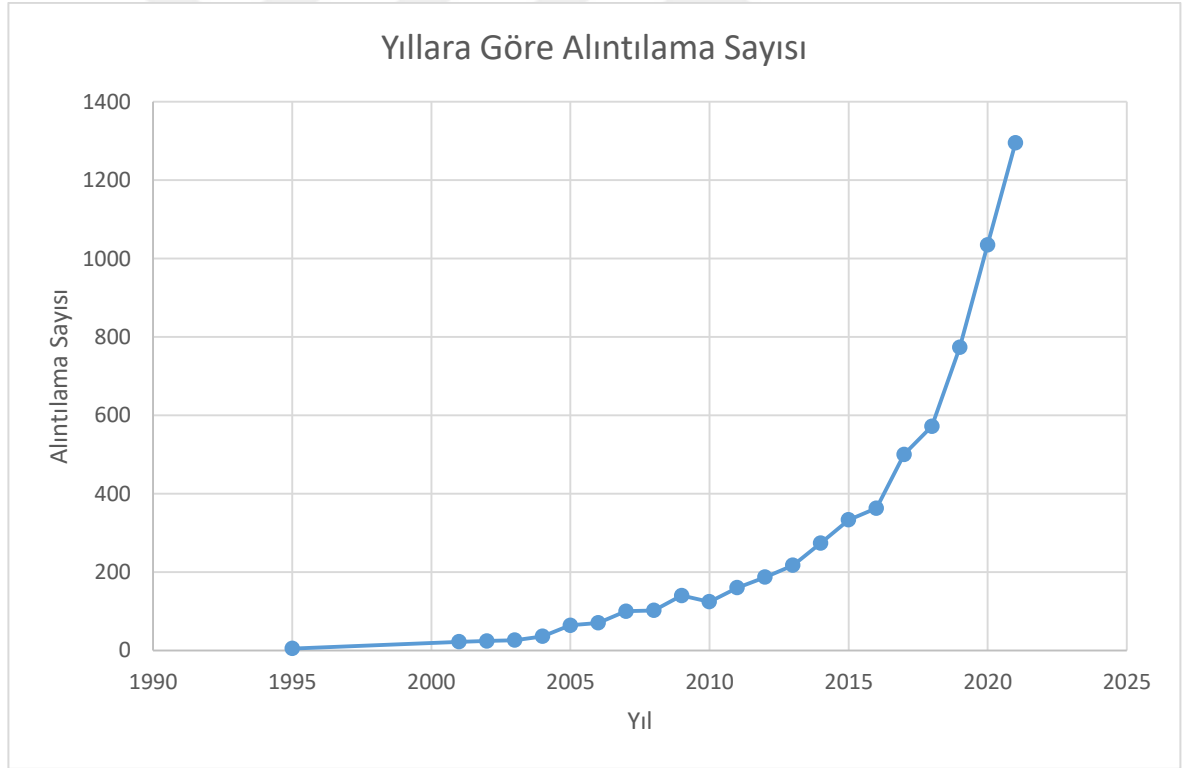
Şekil 2 7 Üç Eksenli Basınç Deneyi Mohr Çemberi ve Kırılım Zarfı (Bowles, 1996)

## İKİNCİ BÖLÜM

### TEMEL ÇEŞİTLERİ VE TEMEL TASARIMI

#### 2.1. Temel Çeşitleri ve Temel Tasarımı

Temel çeşitleri ve temel tasarımı hakkında geçmiş yıllarda bolca çalışmalar yayımlanmıştır. “Temel tasarımı” ve “temel çeşitleri” üzerinden yapılan araştırmada toplam günümüze kadar 1,045 adet yayın bu çalışmada incelenmiştir. Yayın sayıları göz önüne alındığında, 2020 yılı yayın sayısının bir önceki yıla göre yaklaşık %25 arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan alıntılama sayılarının yıllara göre değişimi Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2 8 Yıllara Göre Alıntılama Sayısı

Hokmabadi and Fatahi (2016) yayımladığı çalışma ile temel çeşitlerinin sismik aktiviteler sırasında nasıl davrandığını, bina-zemin etkileşimi üzerinden açıklamıştır. Çalışma için 4 tane farklı temel çeşidine sahip 15 katlı bina prototipi modellemiştir. Bu modellerden ilki zemin-beton etkileşimi olmayan sabit tabanlı bir model, ikincisi yüzeysel temel içeren bir model, üçüncüsü kazıklı radye temel içeren bir model ve son olarak dördüncüsü ise sürtünme kazıklı temel içeren bir model kullanılmıştır. Daha sonra malzeme (zemin ve üst yapı) ve geometrik (yükselme, boşluk ve P - Delta etkileri) doğrusalsızlıkları içeren gerçek deprem kayıtları kullanılarak sonlu fark analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları daha sonra zemindeki genişlemeler, kesme dayanımı dağılımları, yapıların sürüklenme ve yanal deformasyon miktarları üzerinden salınımları karşılaştırılmıştır.

Garmjani et al. (2021) yaptığı çalışmada fiziksel modelleme ile zeminde bulunan sıvılaşmayan katmanların yüzeysel (sığ) zeminlerdeki taşıma kapasitesi ve oturma miktarlarına etkisini incelemiştir. Çalışma 2 grup halinde ilerlemiştir. İlk grup içerisinde, aşırı gözenek suyu basıncının taşıma kapasitesine etkisini incelerken diğer grup içerisinde ise farklı kalınlıktaki sıvılaşmayan zemin katmanlarında zeminin sahip olduğu emniyet faktörleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda ise sıvılaşma gözlemlenmeyen yüzey tabakalarının bulunması zeminin hem taşıma kapasitesine hem de oturma miktarına olumlu katkı sağladığı gözlemlenmiştir.

Park and Jung (2020) tarafından ortaya konmuş olan çalışmada kazık ve kuyu (keson) derin temellerinin, zemin şartlarına bağlı olarak değişimi gözlemlenmiştir. Derin temel çeşitlerinin kabul edilebilir taşıma kapasiteleri farklı zemin çeşitlerinde hesaplanmıştır. Ek olarak, yine farklı zemin çeşitlerinde temellerin oturma miktarları analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Farklı temel çeşitleri, etkileşimde olacakları zeminler ile farklı şekillerde çalıştıkları için yapıya katkıları da değişiklik gösterir. Binanın inşa edileceği zemin üzerine yerleştirilecek temelin, zemin ile çalışma mekanizmasında oluşacak bir hata binanın tamamen çökmesine sebep olur. Bunun yanında, yapının boyutları ve kullanım amacı, diğer yapısal elemanlardan temele aktarılacak olan yüklerin farklılık göstermesine sebep olur. Bu da temellerin yapıya sağlaması gereken dayanım gücünü

farklılaştırır. Her temel, yapıya özel olarak seçilmeli ve dizayn edilmelidir. Yanlış bir temel çeşidi seçimi ve/veya temel boyutlarının dizaynı sırasında yapılacak bir hata, temelin sağlaması gereken dayanım gücünü yapıya sağlayamaz ve bunun sonucunda yapı hasar görür. Bu sebeplerden dolayı, bir yapının tasarımı sırasında tasarımcı, yapının üzerine inşa edileceği zemini ve binanın özelliklerini detaylı olarak inceledikten sonra yapı için en uygun temele dikkatli bir şekilde karar vermelidir.

### **2.1.1. Temel Çeşitleri**

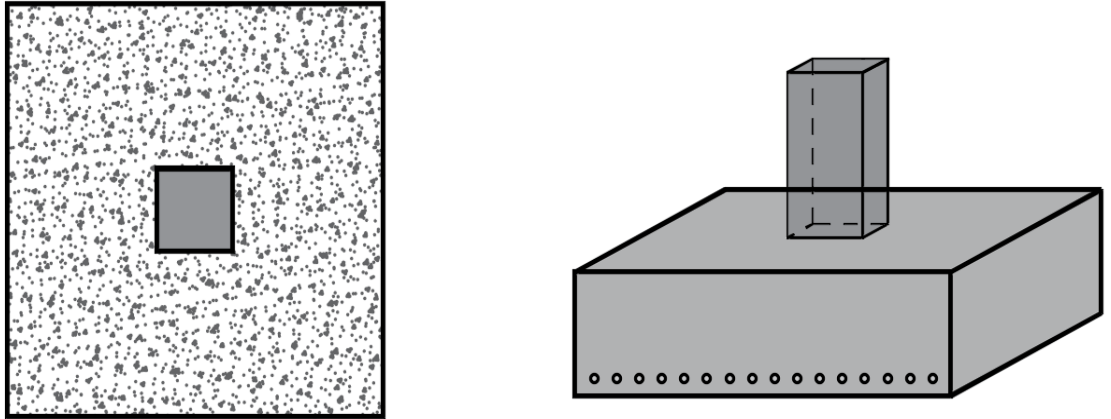
Günümüzde binaların boyutlarındaki, kullanım amaçlarındaki ve inşa edildikleri zeminlerdeki çeşitliliğin artış göstermesi, inşaat endüstrisinde temellerin de çeşitlenmesine sebep olmuştur. Bina boyutlarının artış göstermesi, binaların önemli yapısal elemanlarından olan temellerin daha yüksek boyuttaki yüklere karşı direnç göstermeleri gereksinimini ortaya çıkardığı için daha yüksek mukavemet seviyesine ulaşabilecek temellerin tasarlanmasını zorunlu kılmıştır. Bina kullanım amaçlarının ve inşa edildikleri zeminlerin değişiklik göstermesi ise farklı çalışma koşullarına uyum sağlayacak ve farklı çalışma mekanizmalarına sahip olacak temellerin tasarlanmasını gerektirmiş ve temellerin çeşitliliği artırılmak zorunda kalmıştır. Temeller çeşitleri genel olarak yüzeysel (sığ) ve derin temeller olarak 2 farklı grupta sınıflandırılır.

#### **2.1.1.1.Yüzeysel (Sığ) Temeller**

Yüzeysel (sığ) temeller, yapıdan temele aktarılan yükün temelden zemine aktarıldığı zemin yüzeyin yeryüzü seviyesine yakın olduğu temellerdir. Sığ temellerde temel derinliği genellikle 1.5m ile 3m arasında değişiklik gösterir. Genellikle zemin dayanım seviyesinin yüksek olduğu alanlarda inşa edilecek yapılarda tercih edilir.

Tekil temeller, zemin üzerinde güvenli bir şekilde yerleştirilen ve yayılan, zemin dayanımının yüksek olduğu zeminlerde tercih edilen bir yüzeysel (sığ) temel alt grubudur. Tekil temellerde temelin kalınlığı ve temele gelen yüklerin zeminin taşıyıcı katmanlarına aktarım mekanizması sabit ve düzenlidir. Temele iletilen yükün taşıyıcı katmana iletilmesi sırasında temel üzerinde oluşacak gerilim miktarının, temelin sahip

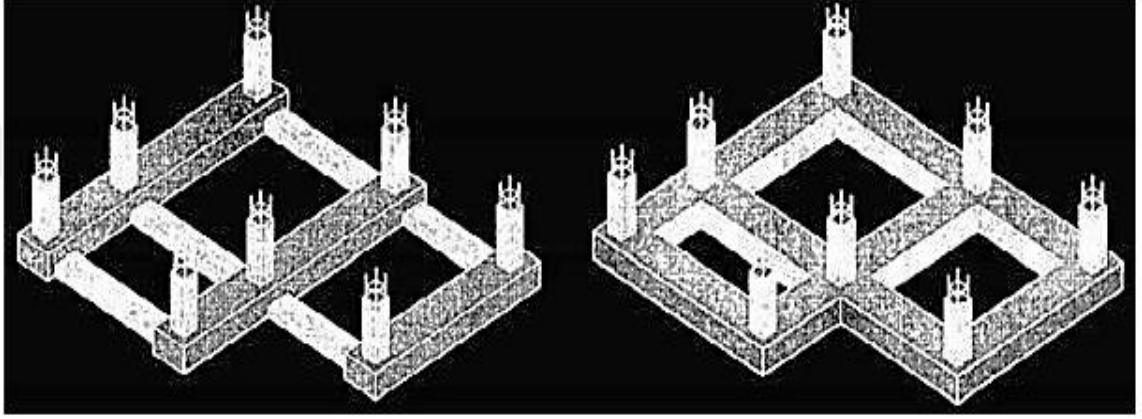
olduğu taşıma kapasitesinden fazla olmamasına dikkat edilmelidir. Tekil temelerde, yük dağılım açısı zeminin sahip olduğu taşıma kapasitesine ve betonun dayanımına göre hesaplanır. Tekil temelerin tasarımı sırasında temel üzerinde çatlama oluşuma sebebiyet verecek bir çekme gerilimi oluşumunun engellenmesine dikkat edilmelidir. Tekil temeller, dar yerleşim alanına sahip yapılarda kullanılabilmesi, yüksek miktarda çekme ve kesme güçlendirmesi eklenebilmesi gibi avantajlara sahiptir. Dezavantajları olarak ise yüksek tekil yüklere dayanım gereken tasarımlarda boyutlarının yüksek olması, farklı oturma seviyelerine göre zayıf olmaları ve kaldırma kuvveti, deprem yükü gibi dış etmenlere karşı zayıf olmaları gösterilir. Deprem yükünün etkisini azaltmak için ise bazı tekil temeller birbirlerine bağ kirişleri ile bağlanarak temellerin birlikte çalışması amaçlanır. (Magar et al., 2020).



**Şekil 2 9** Tekil Temel

Sürekli temeller, tekil temellerin elverişli olmadığı zeminlerde kullanılan, kolonların temel ile birleştiği noktalar olan kolon pabuçlarının kirişler aracılığıyla bağlandığı temel türleridir. Bu kirişlerin kullanılma amaçları, temelin, deprem yükü ve farklı oturma seviyeleri gibi dış etkenlere karşı ortak çalışarak dayanıklı olmalarını sağlamaktır. Sürekli temellerin kullanıldığı yüzeylerin taşıma kapasiteleri yüksek olmalıdır. (Peck et al., 1953)

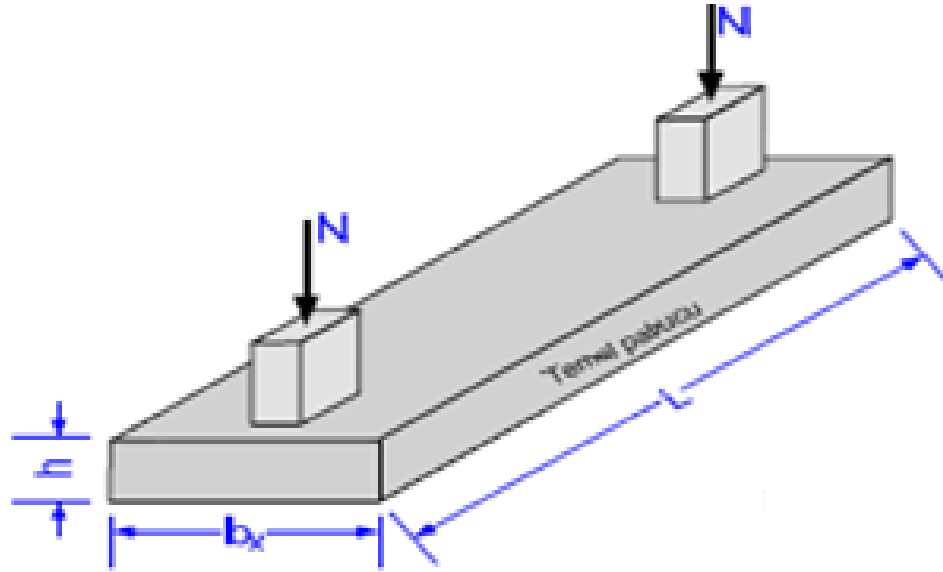
Sürekli temeller, yüksek yüklere karşı dayanıklı, servis ömrü uzun yapılardır ancak tüm zemin sınıflarına inşa edilemezler. Eğer kirişler yapının sadece bir yöndeki aksları hizasında kullanılırsa bir doğrultulu sürekli temel, her iki yöndeki akslar hizasında kullanılırsa iki doğrultulu sürekli temel olarak isimlendirilir. Bir doğrultulu sürekli temeller genellikle yüksek yapılar için uygun olmasa da iki doğrultulu sürekli temeller apartman tipi yüksek binalar için elverişli yapılardır.



**Şekil 2 10** Sürekli Temel

Birleşik temeller, genellikle kolonlar arasındaki mesafelerin yakın olduğu veya üst üste gelen temel yapılarının olduğu durumlarda kullanılan temel çeşitleridir. Genellikle zemin dayanımının düşük olduğu durumlarda tercih edilir. Birleşik temeller geometrik özelliklerine göre kendi içerisinde farklı gruplara ayrılır. (Magar et al., 2020)

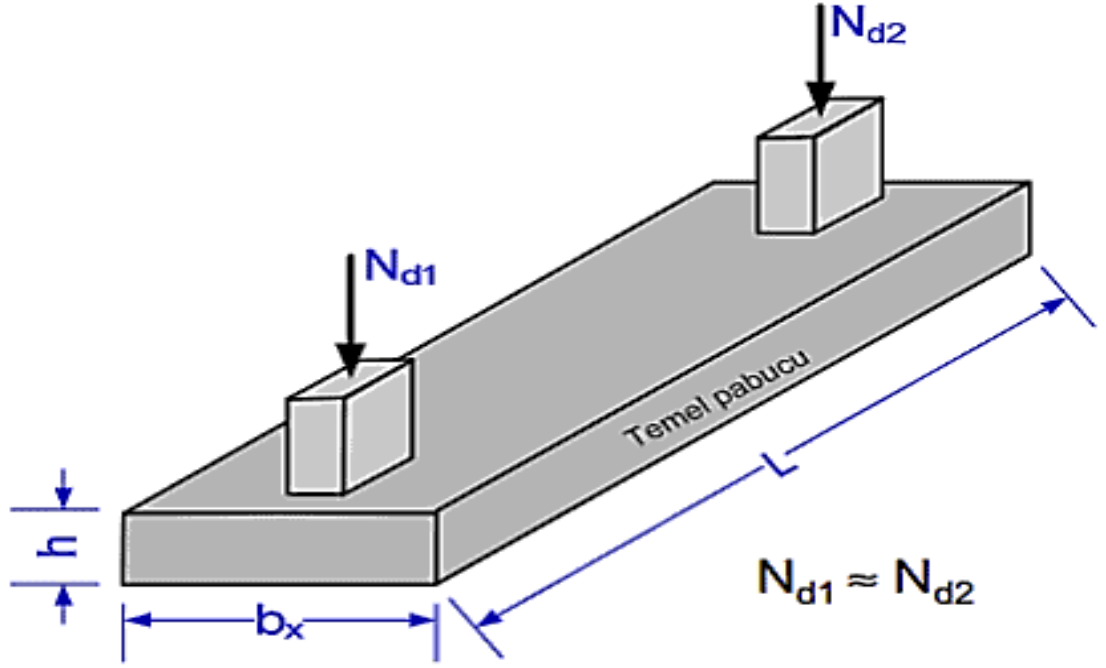
Dikdörtgen biçimli birleşik temeller, temel pabucunun her iki ekseninde simetrik olacak şekilde tasarlandığı yapılardır. Pabuç, uzun kenarının bulunduğu düzlem üzerinde, aşağıdan yukarıya olacak şekilde yüklenmiş bir kiriş gibi davranır. (O'Brien, 2012)



**Şekil 2 11** Dikdörtgen Biçimli Birleşik Temel

İkizkenar yamuk biçimli birleşik temeller, 2 kolon farklı boyutlarda yük taşır ve fazla yük taşıyan kolonun dışında kalan pabucun uzunluğu sınırlandırılmıştır. Kolonların farklı yükler taşıdığı durumlarda, başka bir temel çeşidi kullanıldığın temele gelen yüke karşılık oluşacak bileşke kuvvetin temelin 2 kolon arasındaki kirişin orta noktasına gelmez. Bu durumda, bileşke kuvvetin etki ettiği noktayla kütle merkezinin çakıştığı bir ikizkenar yamuk biçimli temel kullanmak temelin sağlıklı çalışması için önemlidir. (Magar et al., 2020)





**Şekil 2 12** Yamuk Biçimli Birleşik Temel

Bağ kirişli birleşik temeller, birbirinden bağımsız pabuçları olan kolonların, kirişleri aracılığıyla bağlanması ile oluşan temel çeşitleridir. Bu temel, ağır veya eksentrik yüklü kolonların taşıdığı yüklerin temel içerisinde dağılmasına olanak sağlayarak temeli rahatlatır. Bağ kirişli temeller, temel pabucunun zemin içerisine gömülmesine karşı direnç gösterdiği için yumuşak zeminlerde kullanıma elverişli temel çeşitleridir. (O'Brien, 2012)

Radye temeller, binanın tüm kaplama alanını kapsayacak şekilde zeminin üzerine bir döşeme gibi serilen temellerdir. Yüzey alanlarının geniş olduğu için yapıdan kendilerine aktarılan yüklere karşı dirençleri yüksektir. Bu sebeple, büyük boyutlardaki ağır yapılarda yaygın kullanılan temel çeşitleridir. Ayrıca yapıya yüksek dayanım sağladıkları için düşük taşıma kapasitesine sahip zeminlerde de kullanıma uygun yapılardır. Radye temeller tek parça olacak beton döşeme şeklinde inşa edildikleri için değişken oturma miktarlarına karşı da dirençleri yüksektir. (Magar et al., 2020)

Radye temeller kirişli ve kirişsiz olarak 2 alt gruba ayrılır. Kirişsiz olan çeşitlerinde kolonlar direkt temel plağına oturtulur. Temel plak tabakasının kalınlığı yapının kat sayısının yaklaşık 8-10 katı hesaplanarak minimum 30 cm olacak şekilde dizayn edilir. Kirişsiz temeller inşa edilirken kolonlar ve temel plağının birleştiği noktalarda zımbalama olmamasına dikkat edilmelidir. Kirişli çeşitlerinde ise temel plağının üzerine kirişler yerleştirilerek kolonların kirişlere oturtulması sağlanır. Kirişsiz radye temellerde taban plakasının kalınlığı minimum 20 cm olarak hesaplanır. Temel plağının boyutunun az olmasından dolayı oluşacak dayanım farkı ise kirişler tarafından telafi edilir.

### **2.1.1.2.Derin Temeller**

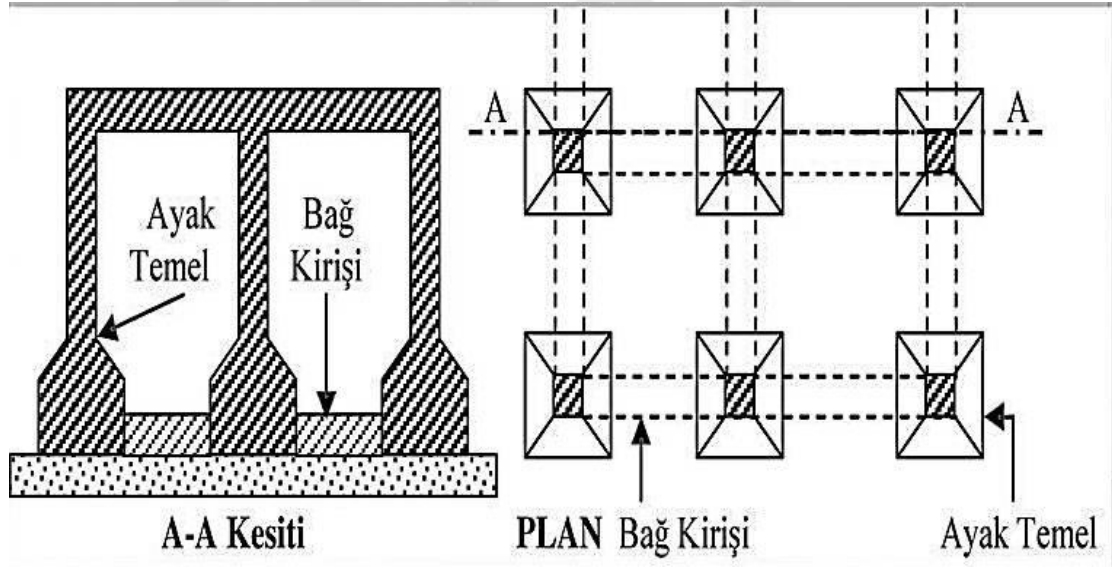
Derin temeller, yapıdan temele aktarılan yüklerin zemine yüksek derinliklerde aktarıldığı temel türleridir. Genellikle boyutları 3m'den fazla olacak şekilde tasarlanır. Genellikle gökdelen gibi yüksek yapılarda ve/veya deniz üzerine inşa edilecek yapılar gibi farklı zemin koşullarının olduğu durumlarda tercih edilir.

Zemin üst tabakasının dizayn yükünü kaldırmasının olanak dahilinde olmadığı durumlarda zeminin güçlü alt tabakalarına ulaşarak inşa edilen derin temeller, zemin ile etkileşimleri sayesinde yapıya daha yüksek dayanım kazandırır. Bu nedenle aynı yüzey alanına sahip yüzeysel ( sığ ) temellere göre daha dayanıklı yapılardır. Derin temeller, yüzeysel ( sığ ) temellere zarar verebilecek boyuttaki kabarma ve yanal kuvvetlere dayanabilirler. (Ma & Deng, 2014)

Kazıklı temeller, zeminin derinliklerine genellikle silindir şeklinde kolonların yerleştirilmesiyle inşa edilen yapılardır. Genellikle beton, çelik veya ahşap kullanılarak yapılır. Yapının oturacağı zeminin üst tabakasının sıkıştırılabilir ve taşıma kapasitesinin düşük olduğu durumlarda tercih edilir. Zemindeki zayıf üst tabaka aşılarak alttaki sert tabakalara ulaşılır ve temelin bu sert tabakalar ile etkileşimi sayesinde temel dayanımının yükseltilmesi hedeflenir. Yapıdan temele iletilen yükler uç kazıklarla veya yanal sürtünmeler ile zemine iletilir. Zemin içerisine yerleştirilmiş silindir plakların üst noktaları betonarme kirişler ile birbirlerine bağlanarak bir arada çalışmaları sağlanır.

Kazıklı temellerin maliyetleri yüksek olduğu için gerçekten ihtiyaç olduğunda tercih edilmesi gereken temel çeşitleridir.

Ayak temeller, zeminin dayanım seviyesi yüksek seviyesinin yüzeysel temel tercih edilemeyecek kadar alçak seviyede ancak kazıklı temel kullanılacak durumlara göre de daha yukarıda olduğu durumlarda kullanılan derin temel çeşitleridir. Bu temel çeşitlerinde sağlam zemin tabakasının bulunduğu derinliğe kadar kazı yapılır. Sağlam zemine ulaşıldığında kare veya çan şeklinde olacak şekilde kazık başlığı zemin üzerinde yerleştirilir. Bu kazık başlıkları çoğunlukla yüksek çaplı silindirik kolonlar ile birleştirilerek seviyesinin yükseltilmesi sağlanır. Son olarak bu kolonlar planda belirtilen yüksekliğe ulaştığında betonarme kirişler ile birleştirilerek temelin tek parça halinde çalışması hedeflenir. (Ma & Deng, 2014)



**Şekil 2 13** Ayak Temel

Keson (kuyu) temeller, kazık temellerin kullanımının mümkün olmadığı zeminlerde tercih edilen derin temel çeşitleridir. Et kalınlığı düşük, yüksek çaplı halka veya prizma şeklinde yapılar sağlam zemin tabakasına ulaşana kadar uç uca eklenerek zemin üzerine yerleştirilir. Daha sonra bu yapıların içerisine kullanılacak yapı inşa malzemesi, beton gibi, doldurulur. Maliyeti oldukça yüksek temel çeşitleridir. Genellikle

su birikintisi üzerine yapılacak uzun mesafeli köprülerde, su birikintisi içerisine yerleştirilecek kolonların zeminle etkileşimi için veya liman inşaatlarında tercih edilir. (Rajapakse & Rajapakse, 2008)

### 2.1.2. Temelerde Taşıma Kapasitesi Analizi

Temeller, diğer yapısal elemanlardan kendilerine aktarılan yükü aktarmakla mükellef yapısal elemanlardır. Yapıdan aktarılan yüke karşı dayanım gösteremeyen temeller binanın hasar görmesine sebep olur. Bu sebeple tasarımcı, yapının tasarımı sırasında aktarılabilecek yük seviyesini dikkatli bir şekilde belirleyerek, temel tasarımını da bu yük seviyesine göre yapmalıdır.

Yüzeysel ( sığ ) temelerde, temellerin sağlamaları gereken 2 zorunluluk vardır. İlk olarak temel altındaki zeminin kesme göçmesine karşı güvenlik katsayısı yeterli seviyede olmalıdır. Bunun yanı sıra, zemindeki oturma miktarı yapının hasar görmesini engelleyecek seviyeyi geçmemesi gereklidir. Kabul edilebilir taşıma kapasitesi ( $q_{all}$ ) bu 2 şartı sağlayacak taşıma kapasitesi seviyesine verilen isimdir. Nihai taşıma kapasitesi ( $q_f$  veya  $q_{ult}$  ) ise zeminde kesme göçmesine sebebiyet verecek minimum basınç miktarıdır. (Birand, Ergun & Erol, 2011)

Nihai Taşıma Kapasitesinin hesaplanması için günümüze kadar birden fazla formülizasyon kullanılmaktadır. Terzaghi tarafından 1943 yılında ortaya konmuş olan Terzaghi taşıma kapasitesi formülü, bu formüller arasında ilk olarak kullanılmaya başlanan formüldür.

Sürekli temelerde nihai taşıma kapasitesi aşağıda verilmiş formüle göre hesaplanabilir.

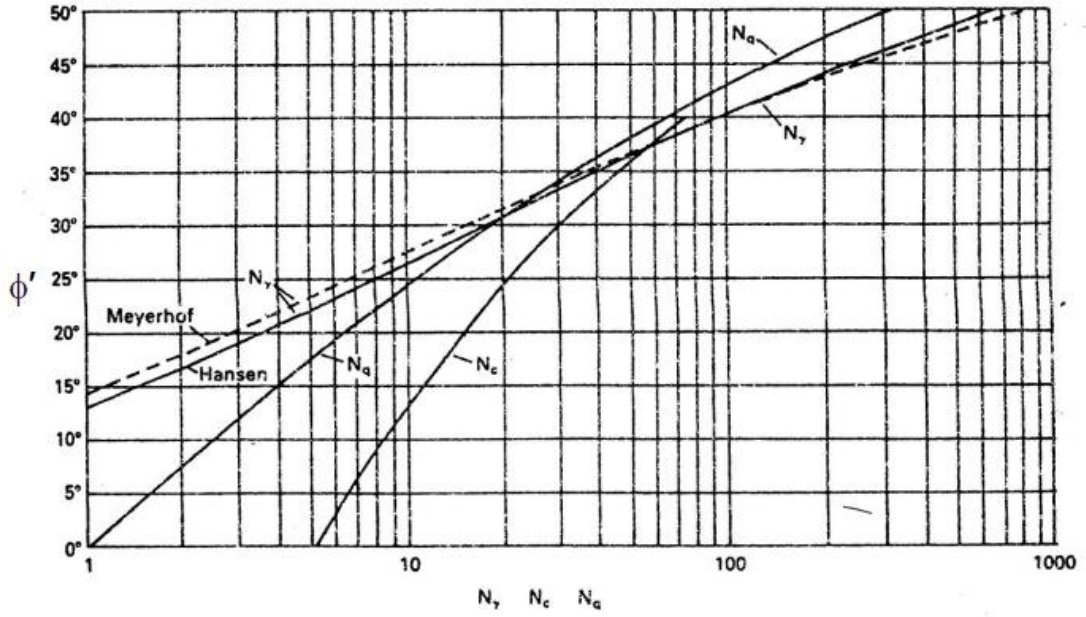
$$q_f = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma + c \cdot N_c + \gamma \cdot D \cdot N_q \quad (1.11)$$

$N_c, N_q, N_\gamma$  : Terzaghi taşıma kapasitesi katsayıları

$B, D$  : Sırasıyla temel genişliği ve derinliği

$c$  : Zemin kohezyonu

$\gamma$  : Zemin birim ağırlığı



**Şekil 2 14** Taşıma Kapasitesi Katsayıları (Birand, Ergun & Erol, 2011)

Formülüzasyon içerisinde bulunan terimler, temel altında bulunan zeminin sürtünme dayanımı, kohezyon seviyesi ve zemin ile temel etkileşimdeki yüklenme etkisine bağlı katsayılardır. Kullanılan temelin şekline göre formül üzerinde ufak katsayı değişiklikleri yapılmaktadır.

Kare şeklinde inşa edilen temelerde nihai taşıma kapasitesi:

$$q_f = (0.4) \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma + (1.2) c \cdot N_c + \gamma \cdot D \cdot N_q \quad (1.12)$$

Dairesel şekilde inşa edilen temelerde nihai taşıma kapasitesi:

$$q_f = (0.3) \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma + (1.2) c \cdot N_c + \gamma \cdot D \cdot N_q \quad (1.13)$$

Dikdörtgen şekilde tasarlanan temelerde, şekil katsayıları sürekli temelerde ( $B/L = 0$ ) kullanılan değerler ile kare şeklindeki ( $B/L = 1$ ) temelerde kullanılan değerler kullanılarak lineer interpolasyon yöntemiyle bulunabilir ancak bunun yerine table 3.2’de kullanılan formüller de kullanılabilir.

$$q_f = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot s_\gamma \cdot B \cdot N_\gamma + s_c \cdot c \cdot N_c + s_q \cdot \gamma \cdot D \cdot N_q \quad (1.14)$$

**Tablo 4** Şekil Katsayıları

Temel Şekli	$s_\gamma$	$s_c$	$s_q$
Dikdörtgen	$1 + 0.2(B/L)$	1	$1 - 0.2(B/L)$

Terzaghi tarafından oluşturulan taşıma kapasitesi formülü daha sonra birçok kişi tarafından geliştirilerek değişikliğe uğratılmıştır. Bu değişikliklerin amacı, temelin şekli, derinliği ve yüklerin aktarılma eğimidir. Bu etkiler kullanılarak oluşturulan taşıma kapasitesi formülü ise:

$$q_f = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot s_\gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot g_\gamma + s_c \cdot c \cdot N_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c + s_q \cdot \gamma \cdot D \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \quad (1.15)$$

$s_\gamma, s_c, s_q$  : Şekil katsayıları

$d_\gamma, d_c, d_q$  : Derinlik katsayıları

$i_\gamma, i_c, i_q$  : Yük aktarım eğim katsayıları

$g_\gamma, g_c, g_q$  : Zemin eğim katsayıları

Taşıma kapasitesi güvenlik katsayısı, net nihai taşıma kapasitesinin net temel basıncına oranı olarak kabul edilir. Net emniyetli taşıma kapasitesi ise net nihai taşıma kapasitesinin emniyet katsayısı faktörü ile orantılanması ile elde edilir.

$$FS = \frac{q_{nf}}{q_n} = \frac{q_f - \gamma D}{q - \gamma D} \quad (1.16)$$

Net emniyetli taşıma kapasitesi ise aşağıda belirtilmiş olan formül ile hesaplanabilir.

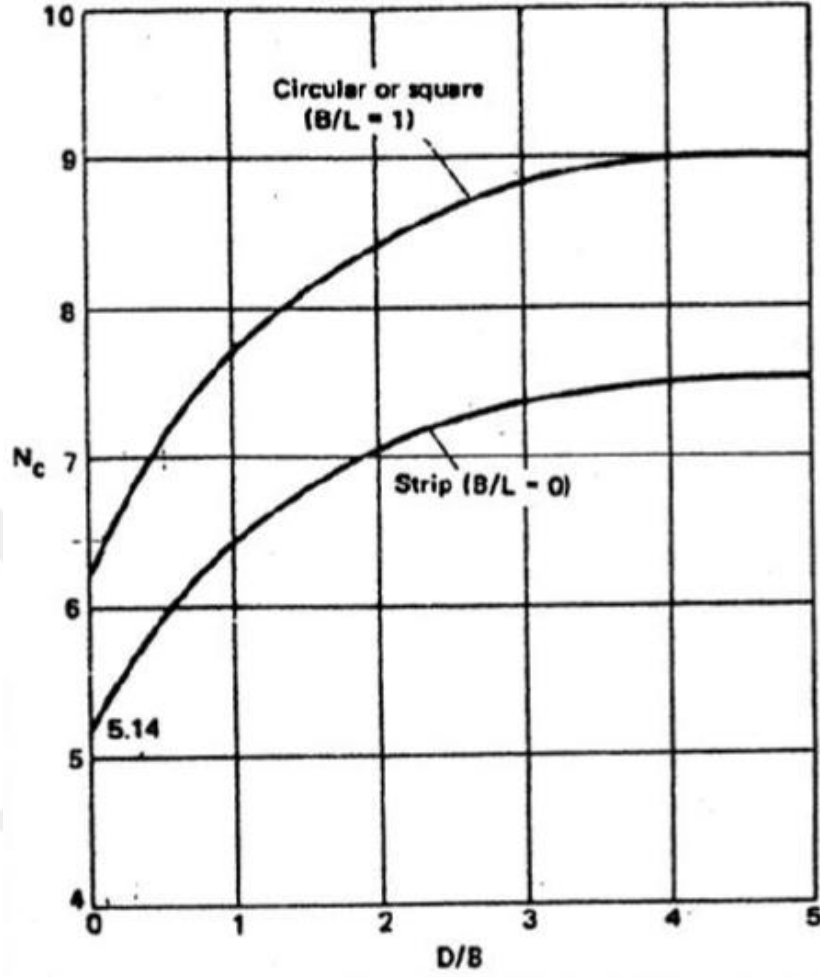
$$q_f = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma + c \cdot N_c + \gamma \cdot D \cdot (N_q - 1) \quad (1.17)$$

Net emniyetli taşıma kapasitesi, kayma göçmesinin engellenmesi için en az temel üzerine etkiyen basınca eşit olmalıdır. Bu değer, temelin toplam oturması ve temellerin farklı oturma değerleri kontrol edilmeden kullanılamaz. Kabul edilebilir taşıma kapasitesi ise, hem kayma göçmesine hem de oturma seviyesine göre temelin sağlam bir şekilde çalışmasını sağlayan ve dizayn durumlarında kullanılan önemli bir faktördür. (Birand, Ergun & Erol, 2011)

Killi zeminlerde zemin geçirgenlik seviyesinin düşük olması drenajın uzun süre içerisinde gerçekleşmesine, konsolidasyon ise Zemin kesme dayanımının artış göstermesine sebep olur ancak dizayn sırasında bu durumların oluşmadığı ilk yükleme periyodunu düşünmek daha önemlidir. Bu sebeple taşıma kapasitesi hesabı yapılırken temele üzerine gelen yükleme drenajsız olarak kabul edilir ve Zemin sürtünme açısı değeri sıfır olarak kullanılır. (Lazcano et al., 2020)

$$q_f = c_u \cdot N_c + \gamma \cdot D \quad (1.18)$$

Burada  $N_c$  değerleri, Skempton tarafından oluşturulan grafikten elde edilir.



Şekil 2 15 Skempton  $N_c$  Değerleri (Birand, Ergun & Erol, 2011)

Kumlu ve çakıllı zeminlerde drenaj killi zeminlere göre daha hızlı gerçekleşir ve Zemin içerisindeki oluşacak aşırı gözenek suyu basıncının zemini hızlı bir şekilde terk eder. Bu sebeplerden dolayı, Zemin sürtünme açısı sıfırdan büyüktür ve taşıma kapasitesi faktörleri bu açı değeri üzerinden elde edilir. Taşıma kapasitesi hesapları sırasında basınç, suyun oluşturduğu basıncın dahil edilmediği etkin gerilme üzerine hesaplanır. Bu tür zeminlerde, numunenin örselenmeden laboratuvar ortamına getirilmesi genellikle özel teknikler kullanmadan pek mümkün olmadığı için Zemin sürtünme açısı yerinde deneyler kullanılarak elde edilir. Bunun için en yaygın kullanılan deney ise standard penetrasyon deneyidir. Benzer şekilde Kabul edilebilir taşıma kapasitesi de yerinde deneyler ile elde edilir. Kumlu ve çakıllı zeminler üzerine



yerleştirilecek bir temeli dizayn etmekte olan bir tasarımcı, Kabul edilebilir taşıma kapasitesini, ya Zemin sürtünme açısı değerini deneylerden elde ederek formül içerisinde kullanarak ya da direkt olarak deneylerden elde edebilmektedir. (Zhou et al., 2018)

Derin temelerde ise taşıma kapasitesi hesaplaması yüzeysel ( sığ ) temellere kıyasla farklılık gösterir. Derin temelerde, temel kapasitesini hem temel derinliği boyunca zeminle yaptığı etkileşim sırasında oluşan yüzey sürtünmesi hem de temelin alt ucunda oluşan uç taşıma kapasitesi birlikte belirler. (Park & Jung, 2020)

Kazıklı temellerin taşıma kapasitesini hesaplayabilmek için yerinde deney sonuçlarının kullanılmasına olanak sağlayan birçok yöntem bulunmaktadır. Bunlardan ülkemizde en yaygın olanı Standard Penetrasyon Test sonuçları üzerinden taşıma kapasitesinin hesaplanmasını sağlayan, Mayerhof tarafından granüler ve kohezif zeminlerde kullanılmak üzere kullanılan yöntemdir. Buna göre:

Kumlu ve Çakıllı zeminlerde,

$$q'_e = 0.4 \cdot N_{60} \cdot \frac{D}{B} \cdot \sigma_r \leq 4 \cdot (N_1)_{60} \cdot \sigma_r \quad (1.19)$$

$$f_s = \frac{\sigma_r}{50} \cdot N_{60} \quad (1.20)$$

Silty zeminlerde,

$$q'_e = 0.4 \cdot N_{60} \cdot \frac{D}{B} \cdot \sigma_r \leq 3 \cdot (N_1)_{60} \cdot \sigma_r \quad (1.21)$$

$$f_s = \frac{\sigma_r}{100} \cdot N_{60} \quad (1.22)$$

$q'_e$  = Net uç taşıma kapasitesi

$f_s$  = Birim yüzey sürtünme dayanımı

$\sigma_r$  = Referans alınan basınç seviyesi

$B$  = Kazık çapı

D = Kazık gömülme derinliği

$N_{60}$  = Düzenlenmiş SPT deneyi sonucu

Kazık temellerde taşıma kapasitesi statik kazık formülüzasyonu ile veya yerinde deneyler ile de ölçülür. Bunun yanında, kazık temelin fore kazık veya çakma kazık olması da kapasitesini etkileyen bir unsurdur. Çakma kazık temellerde, temel zemine yerleştirilmeden önce Zemin içerisinde herhangi bir kazı gerçekleştirilmez ancak fore kazıklı temellerde öncelikli olarak kazı gerçekleştirilir. Bu durum, kazıklar yerleştirildiğinde fore kazıklı temellerdeki temel-zemin etkileşimini daha sınırlı bir seviyede tuttuğu için taşıma kapasitesinin çakma kazıklı temellere göre daha düşük olmasına sebep olur (Poulos & Davis, 1980). Kazık temellerin toplam taşıma kapasitesi aşağıdaki formül ile hesaplanabilmektedir.

$$Q_{ult} = P \cdot \sum (l_i \cdot f_{si}) + A \cdot f_b \quad (1.23)$$

i = Farklı özelliklere sahip zemin katman seviye numarası

A = Kazık yüzey alanı

P = Kazık çevre uzunluğu

$l_i$  = Zemin katmanındaki kazık uzunluğu

$f_{si}$  = Zemin katman seviyesindeki yüzey sürtünmesi

$f_b$  = Uç taşıma kapasitesi

Yüzey sürtünmesi ve uç taşıma kapasitesi, Zemin türlerine göre değişiklik gösteren katsayılardır. Taneli zeminlerde kullanılan formül aşağıda gösterilmiştir.

$$f_{si} = K_{si} \cdot \tan \delta_i \cdot \sigma_{vi} \quad (1.24)$$

$K_{si}$  = Yanal basınç katsayısı

$\tan \delta_i$  = Taneli zeminlerde çeper sürtünmesi

$\sigma_{vi}$  = Etkin dikey gerilme

Kohezyonlu zeminlerde kullanılan formüller ve bu formül aşağıda verilmiştir.

$$f_{si} = N_q \cdot \sigma_1 \quad (1.25)$$

$N_q$  = Taşıma kapasitesi katsayısı

$\sigma_1$  = Kazık ucu etkin dikey gerilme

### 2.1.3. Temellerde Oturma Analizi

Oturma analizi temel tasarımları sırasında dikkat edilmesi gereken önemli kriterlerdendir. Temel oturması temele gelen net yük altında temelin gerçekleştireceği dikey yer değiştirme olarak açıklanır. Buna ek olarak, zemindeki su tavsiyesi sonucunda artan etkin gerilim de temel oturmasının sebeplerindendir.

Temellerde oturma 3 bileşenden oluşur. İlk bileşen temel yüklemesinin ilk gerçekleştiği anda oluşur ve ani oturma olarak adlandırılır. İkinci bileşen, konsolidasyon oturması olarak isimlendirilen, Zemin içerisindeki boşluk suyunun temelden çıkması ve bunun sonucunda Zemin hacminin küçülmesi ile gerçekleşen oturmadır. Konsolidasyon oturması, genellikle geçirgenliği düşük Zemin türlerinde, uzun periyodlar sonucunda gerçekleşir. Son bileşen ise, yapı üzerinde gerçekleşen değişiklikler sonucunda ortaya çıkan ve çoğunluk olarak hassas zeminlerde gözlemlenen ikincil konsolidasyon oturmasıdır. Zeminde gerçekleşecek toplam oturma bu 3 bileşenin toplamı olarak hesaplanır. Hesaplamalar sırasında bu bileşenlerin etki yüzdeleri zeminin özelliklerine göre değişiklik gösterir. Örneklendirmek gerekirse, kohezyonsuz zeminlerde konsolidasyon oturması gerçekleşmez ve toplam oturma miktarı ilk oturma miktarına eşittir ancak kohezyonlu zeminlerde konsolidasyon oturması da toplam oturma miktarına etki etmektedir. (Birand, Ergun & Erol, 2011)

Toplam oturma miktarının yanında önemli faktörlerden biri de temel altı zeminin farklı kısımlarında farklı seviyelerde oturma gerçekleşmesi durumudur. Farklı oturma oluşumunun sebepleri, Zemin tabakaları arasındaki farklılıklar, yapıda gerçekleştirilen

yenilikler sonucu temel yükünde oluşabilecek farklılıklardır ve arazi koşullarındaki farklılıklardır. (Wu et al., 2020)

Temelerde kabul edilebilir oturma seviyesi, bir yapının temelini hasar görmesine sebep olmayacak toplam oturma miktarına eşit olmalıdır. Bu seviye, zemin sınıfları ve temel çeşitleri için farklılıklar gösterir. Kumlu zeminlerde bulunan tekli temeller için bu seviye 40 mm, radye temellerde ise 65 mm olarak belirlenmiştir. Killi zeminlerde ise bu değerler 65 mm ve 100 mm seviyesine kadar kabul edilir. Ayrık oturma seviyesi ise temel çeşidinden bağımsız olarak kumlu zeminler için 25 mm, killi zeminler için 40 mm seviyesindedir. (Birand, Ergun & Erol, 2011)

Sabit bir basınç tarafından yüklenmiş temel altında kalan zeminde gerçekleşen ani oturma miktarı aşağıda belirtilen formül ile hesaplanır.

$$S_i = \frac{q \cdot B}{E} (1 - \nu^2) I_s \quad (1.26)$$

$I_s$ , tesir faktörüdür. Zeminin şekline ve temelin hangi noktası ile etkileşim halinde olduğuna göre değişiklik gösterir. B, temelin küçük kenar uzunluğu, q net temel basıncı,  $\nu$  ise Poisson oranı ve E ise elastisite modülüdür.

Tek eksenli konsolidasyon oturma miktarı, oedometre deneyleri sonucunda elde edilen katsayılar ile elde edilmiş olan aşağıda belirtilen formül ile hesaplanır.

$$S_{\text{oed}} = \sum H \cdot m_v \cdot \Delta \sigma' \quad (1.27)$$

$$S_{\text{oed}} = \sum \left[ H \cdot \frac{C_c}{1 + e_0} \cdot \log \left( \frac{\Delta \sigma' + \sigma'}{\sigma'} \right) \right] \quad (1.28)$$

$m_v$  = Hacimsel sıkıştırılabilirlik katsayısı

$C_c$  = Sıkışma indisi

Oturma miktarı analiz edilirken, formül sonucunda elde edilen sonuç düzeltme katsayısı ile çarpılır. Skempton ve Bjerrum, oedometre testi sonuçlarında elde edilen sıkıştırılabilirlik katsayı kullanılarak elde edilen oturma miktarının, gerçek arazi koşullarında oluşan oturma miktarından daha fazla olduğunu belirlemiş ve

Skempton-Bjerrum düzeltme teorisini ortaya koymuştur. Düzeltme katsayısı, zeminin çeşidine ve temelin şekline göre değişir.

$$S_c = \mu \cdot S_{oed} \quad (1.29)$$

$S_c$  = Düzeltmiş konsolidasyon oturması

$\mu$  = Skempton-Bjerrum düzeltme katsayısı

**Tablo 5** Skempton-Bjerrum Düzeltme Katsayıları

Zemin Sınıfı	$\mu$
Hassas killer	1.0 - 1.2
Normal Konsolide Olmuş Kil	0.7 - 1.0
Aşırı Konsolide Kil	0.5 - 0.7

#### 2.1.4. Temel Derinliği ve Temel Derinliğini Etkileyen Faktörler

Temeller, yapıya istenilen katkıyı sağlayabilmeleri için ya yapıdan kendilerine aktarılacak yüke dayanabilecek taşıma kapasitelerine sahip olmalı ya da yapacakları dikey yer değiştirmenin, yani oturma seviyelerinin, yapıya zarar vermeyecek bir seviyede kalmaları gerekmektedir. Bu durumu etkileyen faktörlerden bir tanesi de temelin inşa edileceği derinliktir. Temeller, birçok sabit ve değişken etmene bağlı olarak tasarlanır. Temel derinliği, temelin etkileşimde bulunacağı zemin tabakasını belirlediği için dizayn, zemin kohezyon durumu, yer altı su seviyesi, zemin şev duraylılığı gibi kriterlerden bağımsız gerçekleştirilemez. Bunun yanında, yapının hizmet ömrü olarak tasarlanan süre boyunca oluşabilecek durumlar da temel dizaynı gerçekleştirilirken dikkate alınmalıdır. Bu durumlara örnek olarak, yapının yakınında gerçekleştirilecek başka bir inşaat ile zemin basıncından değişiklikler olması, sismik etkiler ile temelde oluşabilecek anlık basınç değişimleri ve zemin sıvılaşması, hava koşulları yüzünden oluşabilecek don derinliği vb. gibi dış etkenler gösterilmesi mümkündür. Zemindeki iç

ve dış unsurlar dikkatlice analiz edilmeden inşa edilen temellerin hasar alma olasılığı artar ve bu da istenmeyen durumlara sebebiyet verir.

Temel tasarımını temelin inşa edileceği zeminin özelliklerine göre farklı şekilde gerçekleştirmek mümkün olsa da yapının projelendirilmesi sırasında gerçekleştirilen zemin analizi raporlarında genellikle yapının şekline, zemin özellikleri gibi faktörlerle temel derinliği ile ilgili bir öneri bulunur. Raporlardaki önerilen değerler zeminin farklı tabakalarındaki zemin dayanımlarını göz önünde bulundurarak ortaya konur. Bu önerinin bulunmadığı durumlarda, tasarımcı, temel ile ilgili hesaplamalarını yaparken kullanmak üzere kullanacağı minimum temel derinliği seviyesini Rankine tarafından ortaya konan bir formül ile belirleyebilir.

$$D_f = \frac{p}{\gamma} \left( \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \right)^2 \quad (1.30)$$

$D_f$  = Minimum temel derinliği

$p$  = Zemin taşıma kapasitesi

$\gamma$  = Zemin birim hacim

Yapılan bu formülasyon tabakalı zeminler için kullanılmamakta ve tekil temellerin yaklaşık derinliğini öngörmektedir. Ancak ülkemizde bu formülasyon kullanılmamakta ve ilgili yönetmelik ve mevzuatta yer verilmemiştir.

Bir tasarımcı, taşıma kapasitesi analizine göre temel derinliğini belirleyebilmek için öncelikle diğer yapısal elemanlardan temele aktarılan yükü belirlemek zorundadır. Temele aktarılan yük miktarı, temelin sahip olacağı emniyetli taşıma kapasitesinden fazla olmamalıdır. Temele aktarılan yük belirlendikten temelin boyutları belirlenmelidir. Temel boyutları, inşaatın yapılacağı alanın büyüklüğü, temelin çeşidi, tekil temel ile inşa edilecek temel sayısı gibi unsurlara bağlıdır.

Zemin sıvılaşması, sismik hareketler sonucu oluşan dinamik yüklerin zemine etki etmesi sonucu kesme dayanımındaki ani azalmadır. Bu düşme sonucunda bazı durumlarda bu dayanım normal seviyesinin altına iner ancak bazı durumlarda sıfır

seviyesine kadar düştüğü gözlemlenir. Kesme dayanımı, Zemin içerisindeki kohezyon ve sürtünme direncine bağlıdır.

Deprem sırasında gerçekleşen Zemin hareketlerinden dolayı boşluk basıncında anlık artışlar gözlemlenir ve kesme dayanımı düşer. Bu düşüş genellikle kumlu zeminlerde gözlemlenir. Sıvılaşma sonucunda kumlu Zemin davranışı bir katı gibi değil viskoz bir sıvı gibi davranır. Zemin sıvılaşmasının oluşmasını sağlayacak sismik hareketler dışında başka sebepler de bulunmaktadır. Kazık çakılma işlemi sırasında oluşacak ani dinamik yüklemeler, Zemin çevresinde gerçekleşecek patlamalar, çevrede çalışan makinaların oluşturduğu titreşimler bu sebeplerdendir.

Doygun kumlu zeminlerde ani deformasyonlar gerçekleştiğinde parçacıklar birbirlerine yaklaşarak Zemin sıkılaşıır ancak bunu gerçekleşebilmesi için boşluk suyunun zemini terk ederek parçacıklara hareket alanı sağlamalıdır. Eğer yükleme ani bir şekilde gerçekleşirse drenaj için yeterli Zemin olmadığı için yük boşluk suyu basıncı tarafından taşınır. Boşluk suyu sıkıştırılabilirlik seviyesi, Zemin iskeleti ile kıyaslandığında daha yüksektir. Bu sebeple boşluk suyu basıncındaki artış taneler arasındaki basıncın azalmasına sebep olur. Parçacıklar içindeki gerilimin boşluk suyu gerilimine aktarılması, Zemin kesme dayanımını da azaltır. Temele aktarılan yükün temel tarafından taşınabilmesi için önemli bir faktör olan Zemin taşıma kapasitesi Zemin dayanımına direkt olarak bağlı olduğu için Zemin sıvılaşması yapı sağlığı açısından büyük bir risk teşkil eder. (Garmjani et al., 2021)

Zemin sıvılaşmasının 2 farklı çeşidir bulunmaktadır. Bu çeşitlerden ilki, statik kesme gerilimi seviyesinin sıvılaşmış zemindeki kesme dayanımından fazla olması durumu olan akış sıvılaşmasıdır. Akış sıvılaşması zemin içerisinde büyük ve ani kesme kaymalarına sebep olur ancak bu durum yalnızca gevşek zeminlerde gözlemlenir. İkinci çeşit ise statik kesme gerilim seviyesinin tek başına kesme dayanımından düşük olduğu ancak dinamik gerilim seviyesi ile birleştiğinde kesme dayanımından fazla noktaya geldiği durum olan periyodik hareketlilik. Bu durum Zemin içerisinde kademeli kesme kaymalarına sebep olur. Sonuçları akış sıvılaşması sonuçları kadar etkili olmasa da yapı için riskli bir durumdur.

Arazi kotu sıvılaşması, sadece periyodik yükleme durumlarında gözlenen ve statik gerilim olmaması durumunda bile yüksek boşluk suyu basıncı oluşumuna sebep olan bir durumdur. Genellikle Zemin titreşmesi ve deprem sonrası zemin oturması gibi durumlarda gözlemlenir. Bu sıvılaşma hem gevşek hem de sıkı zeminlerde gerçekleşebilir. Arazi kotu sıvılaşması, periyodik hareketlilik içerisinde bulunan özel bir durumdur. Zemin sıvılaşması genellikle kum kaynaması ile birlikte oluşur. Kum kaynaması, sıvılaşan kum parçalarının yüzey üzerinden zeminden tasfiye olmasıdır.

Deprem şiddeti ve süresi Zemin sıvılaşmasının başlıca sebeplerindedir. Zemin hareketinin başlıca özellikleri ivme ve sarsılma süresidir. Şiddeti yüksek olan bir deprem bu özelliklerin de yüksek olmasına sebep olur. Bu durum ise zemin sıvılaşmasının artmasına sebep olur. Yeraltı su seviyesi ve zemin türü de zemin sıvılaşmasında etkili olan unsurlardır. Zemin sıvılaşmasının gerçekleşme olasılığı yeraltı su seviyesine yakın olan zemin tabakalarında daha yüksektir ve değişken su seviyeleri bu olasılığın da dalgalanmasına sebep olur. Bu yüzden zemin sıvılaşması analizi yapılırken zemin yeraltı su seviyesinin zamana bağlı değişimleri de incelenmelidir. Sıvılaşma, zemindeki ince kumlu ve düşük plastisiteye sahip tabakalarda gerçekleşir. Kohezyonlu zeminlerin büyük bir çoğunluğunda ise sıvılaşma gözlemlenmez. Zemin geçirgenliği de sıvılaşmayı etkiler. Geçirgenliğin yüksek olan zeminlerde boşluk suyu sıvıyı daha kolay terk edebileceği için sıvılaşmanın gerçekleşme olasılığı daha düşüktür. (Hokmabadi & Fatahi, 2016)

Zemin sıvılaşmasının etkileri aşağıdaki gibi listelenmiştir.

- 1) Taşıma kapasitesinde azalma
- 2) Yatay yayılma
- 3) Kum Kaynaması
- 4) Akış sıvılaşması
- 5) Zemin salınımı
- 6) Dalgalanma
- 7) Zemin oturması



Zemin sıvılaşmasını azaltacak uygulama metotları ise :

- 1) Sıvılaşmaya yatkın zemin tabakalarının inşaat sahasından tasfiyesi
- 2) Derin temel uygulanması
- 3) Eğer tekil temel uygulanacak ise radye temel tercih edilmesi
- 4) Zemin güçlendirme teknikleri ile zemin kalitesinin arttırılması
- 5) Uygun drenaj uygulamalarının gerçekleştirilmesidir.

Yer altı su seviyesi temel derinliğinin belirlenmesinde önemli bir kriterdir ve bu seviyedeki değişimler zeminin taşıma kapasitesini ve temelin oturmasını direkt etkiler. Islak zeminlerin sıklığı daha düşüktür. Bu yüzden ıslak zeminlerle etkileşim halinde olan temellerin dayanımı daha düşük olur ve gerçekleştireceği oturma miktarı daha fazla olur. Temel tasarımı gerçekleştirilirken yer altı su seviyesi iyi analiz edilmeli ve temel analiz sonuçlarına göre inşa edilmelidir. Bazı durumlarda ise bu seviye değişiklikler gösterir. Şiddetli yağış ve sel gibi iklimsel olaylar sonucunda yer altı su seviyesi artar. Bu seviye temel üst kotunu geçtiğinde, sıvı ağırlığı ile temeldeki oturma artar. Bu artış ile temel oturma seviyesi kabul edilebilir seviyenin üstüne çıkarsa yapıda büyük deformasyonlar gözlemlenir. Ek olarak, zemin içerisindeki sıvı oranının artması zemin sıklık seviyesini azaltır ve dayanımını düşürür. Zemin dayanımının düşmesi, temel ile etkileşimini de etkileyerek temelin kendisine aktarılan yüke karşı dayanma ihtimalini düşürür, ayrıca temel oturma seviyesinde artışa sebep olur. Bu durum da yapıya hasar vererek istenmeyen sonuçlar doğurabilir. (Borghei et al., 2020)

Temel altındaki su seviyesinde artış olması durumunda, kuru zemin üzerinde gerçekleşecek olacak oturma miktarı artacağı için bu miktar bir katsayı ile çarpılır. Bu katsayı en az 1 olur ve yer altı su seviyesinin artış göstermesi ile de artar.

$$C_w = \frac{\text{Yer altı suyu ile temel altında gerçekleşecek oturma miktarı}}{\text{Kuru zeminde gerçekleşecek oturma miktarı}} \quad (1.31)$$

Don derinliği, iklimsel etkiler sonucu fazla düşen hava sıcaklığı derecesinin yer altı sularını dondurabildiği derinliğe verilen isimdir. Yer altı su seviyesinin donması sonucu oluşan buz kütlelerinin varlığı zeminde şişmelere sebep olur. Bu şişmelere don

kabarması denir. Bu donma ve çözünme durumları zemin taşıma kapasitesini olumsuz etkileyen faktörlerdir ve dikkat edilmesi gereken unsurlardır. (Widiyanto et al., 2009)

Yer altı su seviyesinin donduğu zeminlerde donmanın olduğu tabakalara kılcal hareketler ile su sağlanması gerekmektedir. Donmanın gerçekleşmesi, üst tabakalarda dış yüzey şeklinde bir şişme meydana getirir. Donma etkisiyle oluşan kuvvet zemini üzerindeki 30 cm boyutunda zemin tabakasında şişme gerçekleştirebilir.

Don derinliği, her bölgenin iklimsel koşullarına göre değişiklik gösterir ve yerel yönetmeliklerde belirtilmiştir. Ülkemizde don derinliği TBDY, TS gibi yönetmeliklerde bulunur. Temelin don derinliğinden hasar görmemesi için en ideal yöntem, yönetmeliklerde belirtilen don derinliği seviyesinin altında bulunan bir zemin tabakası üzerine temel inşaatını gerçekleştirmektir.

Oyulma genellikle köprü gibi yapılar için su birikintileri içerisine veya yakınına inşa edilen temellerde gözlemlenir. Bu tarz yapılarda genellikle derin temeller tercih edildiği için oyulmanın da genellikle derin temellerin kullanıldığı yapılarda görülme olasılığının yüksek olduğunu söylemek mümkündür. Sıvının hareketiyle oluşan ivmelenme ve hacimsel değişikliklerden dolayı oluşan yükler temellerin taşıma kapasitesi ve oturma miktarlarını etkileyen unsurlardandır. Kazık temellerin kullanıldığı durumlarda ise bu yükler, temel üzerindeki yük dağılımını da (uç taşınması ve yüzey sürtünmesi) direkt olarak etkiler. (Chang et al., 2004)

Oyulma temel etrafındaki zeminde gerçekleşir. Genellikle koni şeklinde gerçekleşen bu oyuklara koni biçiminde yerel oyulmalar denir. Bu oyulmaların gerçekleşmesi, derin temellerin zemin içerisine gömüldüğü derinliği ve temelin yüzey sürtünmesini azaltarak taşıma kapasitesini olumsuz bir şekilde etkiler. Oyulma sonucunda özelliklerinde değişiklik olan zemin derinliğinin genellikle kazık çapının 2-4 katı olduğu kabul edilir.

Toplam oyulma derinliği, yerel oyulma, köprüdeki genel oyulma ve nehir yatağındaki uzun süreli artış ve azalış olmak üzere 3 farklı bileşenin toplamı olarak hesaplanır.

Aktif zon derinliği, su içeriğinin değiştiği ve çevresel değişimlerden dolayı şişmenin gerçekleşme ihtimalinin bulunduğu asgari derinlik seviyesi olarak

isimlendirilir. Bu seviyenin belirlenmesi temel tasarımı için önemlidir. Geniş alanlarda gözlenen zemin şişmeleri, aktif zon derinliğinin üstünde kalan zemin tabakalarında su oranındaki değişiklikler ile gerçekleşir. Bu sebeple temel tasarımı gerçekleştirilirken temel derinliğinin aktif zon derinlik seviyesinin altında olması istenir. (Durkee, 2000)

Aktif zon derinliğinin altında kalan zemin tabakalarından su oranında değişiklikler olmadığı için hacimsel bir değişim de gözlemlenmez ve böylece temel dayanımına da bir etki oluşmaz. Aktif zon derinliği, bir arazi üzerinde birkaç dönem devam ettirilen derinliğe bağlı su oranı gözlemleri ile belirlenir.

Bir temel dizayn edilirken yapının inşa edileceği noktaya komşu başka bir yapı olup olmadığı da önemli bir kriter olarak incelenir. Başka bir deyişle, gerilmelerin çakıştığı bölgelerde komşu temeller, tek başlarına oldukları durumla kıyaslandığında daha yüksek bir deformasyon seviyesine ulaşırlar.

Yapılan çalışmalar göstermiştir ki komşu 2 farklı temel olduğu durumda olan gerilim dağılımı durumu, 2 farklı temelin sahip olduğu toplam genişliğe sahip tek bir temel yerleştirildiği durumla eşdeğer olmaktadır. Bu da temellerin tek başlarına olduklarında gerçekleşecek oturma miktarından daha fazla oturmaya sahip olmaları anlamına gelir. (Jayamohan et al., 2020)

Bir yapının yakınına başka bir yapı inşa edildiğinde, 2 farklı jeoteknik sıkıntı oluşması ihtimali vardır. Bunlar, yeni yapılacak yapının temel inşası sırasında gerçekleştirilecek kazı sırasında eski temeli destekleyen zemin tabakasının kayması ve yeni yapılacak yapının temelinden dolayı oluşacak fazladan gerilme sebebi ile eski yapının temelleri arasında farklı oturma oluşmasıdır. Bu istenmeyen durumlar ise temellerin sahip olduğu derinliklerinin karşılaştırılmasına göre farklı şekilde çözülür. Eğer yeni yapılacak yapının temeli eski yapıdan daha yüksek bir noktada inşa edilecek ise komşu temeller arasındaki mesafe yeni yapı için gerçekleştirilecek kazı miktarından daha fazla olmalıdır. Eğer yeni yapının temeli daha derin bir noktada olacak ise o durumda da kazının gerçekleştirileceği nokta ile eski yapının temelinin birleşeceği yüzeyde gerilme oluşmayacak şekilde hesap yapılarak zeminin yanal genişlemesi engellenmelidir. (Chenari & Mohafezatkar, 2010)

Eğimli zeminlerde inşa edilecek yapı tasarımları sırasında dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli unsur ise şev duraylılığıdır. şev duraylılığı, yapı inşaatı sırasında ve/veya sonrasında yapının kenarlarında bulunan zemin tabakalarının yapı üzerine kaymasının engellenerek yapının zarar görmesinden kaçınmak için önemli bir unsurdur. şevler, düzensiz bir geometriye sahip ve kendiliğinden oluşan doğal şevler ve kazı-dolgu vb. mühendislik faaliyetleri sonucunda oluşan ve düzenli bir geometriye sahip yapay şevler olarak 2 farklı grupta incelenir. şevde duyarsızlık oluşmasının sebepleri arasında sismik aktiviteler, gözenek suyu basıncında gerçekleşebilecek değişimler, şev boyunca oluşan gerilimde gerçekleşecek değişimler sayılır.

şev duraylılığı kontrol edilirken dikkat edilmesi gereken en önemli nokta kaymaya karşı oluşan direnir sağlayan moment miktarı ve kaymayı tetikleyen moment miktarının karşılaştırılmasıdır. Tetikleyici moment, direnen moment miktarından fazla ise zemin eğimli olduğu noktadan yüksek noktalardan alçak noktalara doğru hareket ederek zeminde duyarsızlık sağlayacak ve yapının zarar görmesine sebep olacaktır.

Duyarsızlığın oluşacağı durumlarda ilave önlemler alınmalıdır. İlave önlemlerin alınması yapının hizmet ömrünü sağlıklı tamamlaması açısından önemlidir. Bu önlemler arasında şev boyunca gerçekleştirilecek kazı ve dolgular, istinat yapıları, zemin çivisi ve ankraj gibi zemin güçlendirme kazıkları, bitkilendirme vb. sayılabilir. (Duncan et al., 2014)

# ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

## BULGULAR

### 3.1 Uygulama 1

Bu uygulama İstanbul ili, Küçükçekmece ilçesinde sahada yapılması planlanan konut projesi için elde edilen arazi ve laboratuvar deney sonuçlarına göre zemin yapısı, zemin mekaniği ve geoteknik mühendisliği açısından değerlendirmesi yapılarak, yapılması planlanan yapının temel derinliğine ait geoteknik analizleri ve temel kazısı olarak düzenlenmiştir. Yapılan uygulamada iki adet sondaj kuyusu ile zemin örnekleri alınmış ve arazi, büro ve laboratuvar deney çalışmaları ile zemin özellikleri belirlenmiştir.

Alanda yapılması planlanan yapıya ait bilgiler aşağıda verilmiştir. Bu bilgiler mimari çizimler ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018'den yararlanılarak alınmıştır.

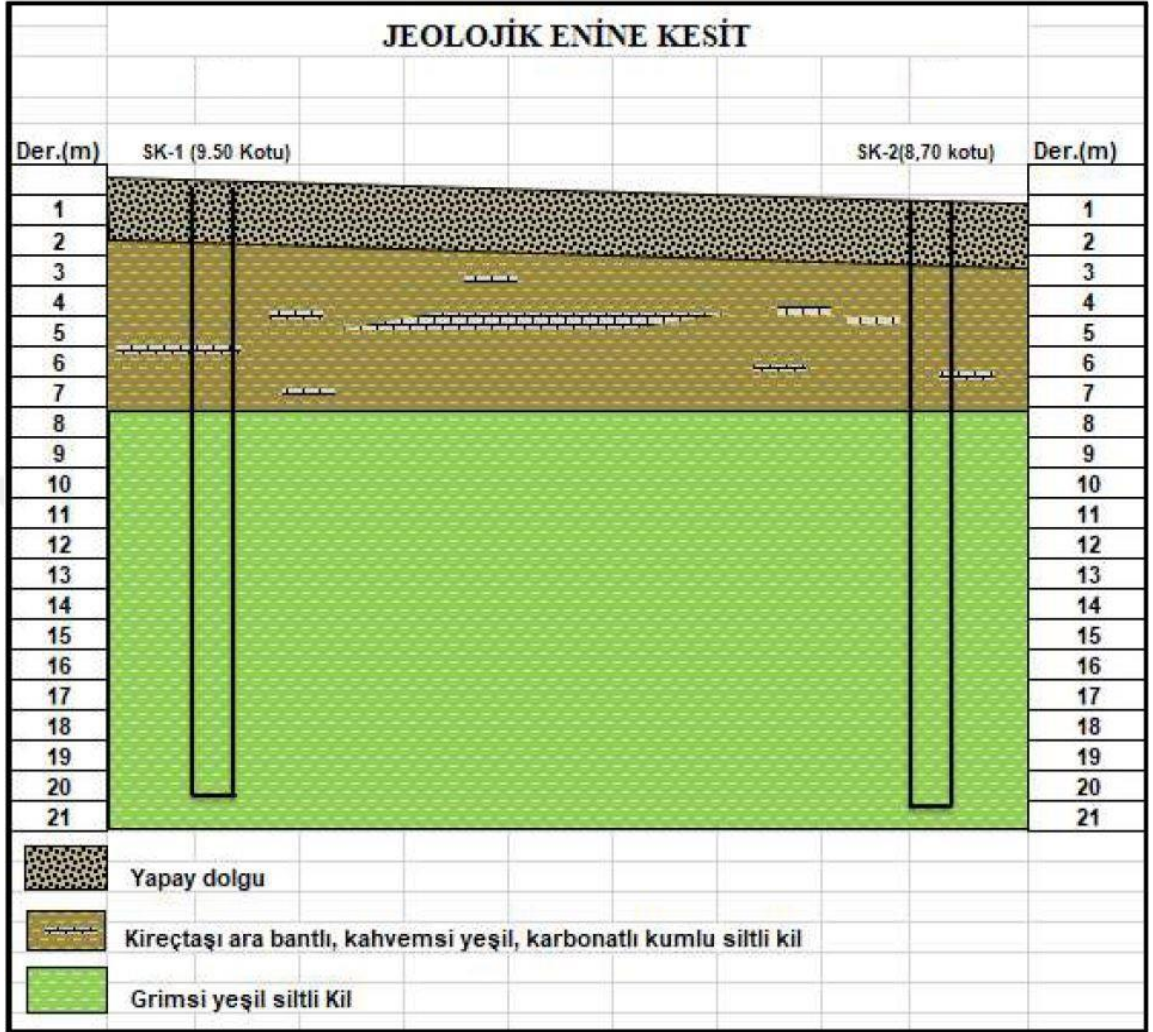
- Taşıyıcı Sistem = BAK (Betonarme Karkas)
- Kat Sayısı ve Dağılımı = 5 Kat – 1BK+1ZK+3NK
- Boyutları (Oturma alanı) = Kısa Kenar 12.11 m (B) / Uzun Kenar 12.91 m (L)
- Kullanım Amacı = Konut
- Yapı Oturma Alanı = 156,34 m<sup>2</sup>
- Toplam İnşaat Alanı = 948,00 m<sup>2</sup>
- En Düşük ve En Yüksek Kot = +8.51 / +10.00
- Tomografik Eğim = % 5
- Yapı Yüğü (G+Q) = 1423,12 ton
- Maksimum Temel Yüğü(1.4G+1.6Q) = 21.04 t/m<sup>2</sup>
- Maksimum Temel Yüğü (G+Q+E) = 28.70 t/m<sup>2</sup>

- Yanal Yükler = 63,78 tf (X yönünde)  
( $V_{tx}$  , $V_{ty}$ ) = 88,76 tf (Y yönünde)
- Bina Kullanım Sınıfı = 3
- Bina Önem Katsayısı = 1.0

İnceleme alanında zeminin jeoteknik özelliklerini belirleyen jeolojik bulgular ve katmanlar incelenmiştir. Bu amaçla açılan sondaj kuyularından Sondaj Kuyusu-1 de 2.20 metrelik yapay dolgudan sonra 7.00 metreye, Sondaj Kuyusu-2 de ise 7.50 metreye kadar Kireçtaşı ara bantlı, kahvemsî yeşil, karbonatlı kumlu siltli kil tespit edilmiş olup, her iki sondajda da 20.00 metreye kadar yine aynı formasyonuna grimsî yeşil siltli kil birimlerine rastlanmıştır.

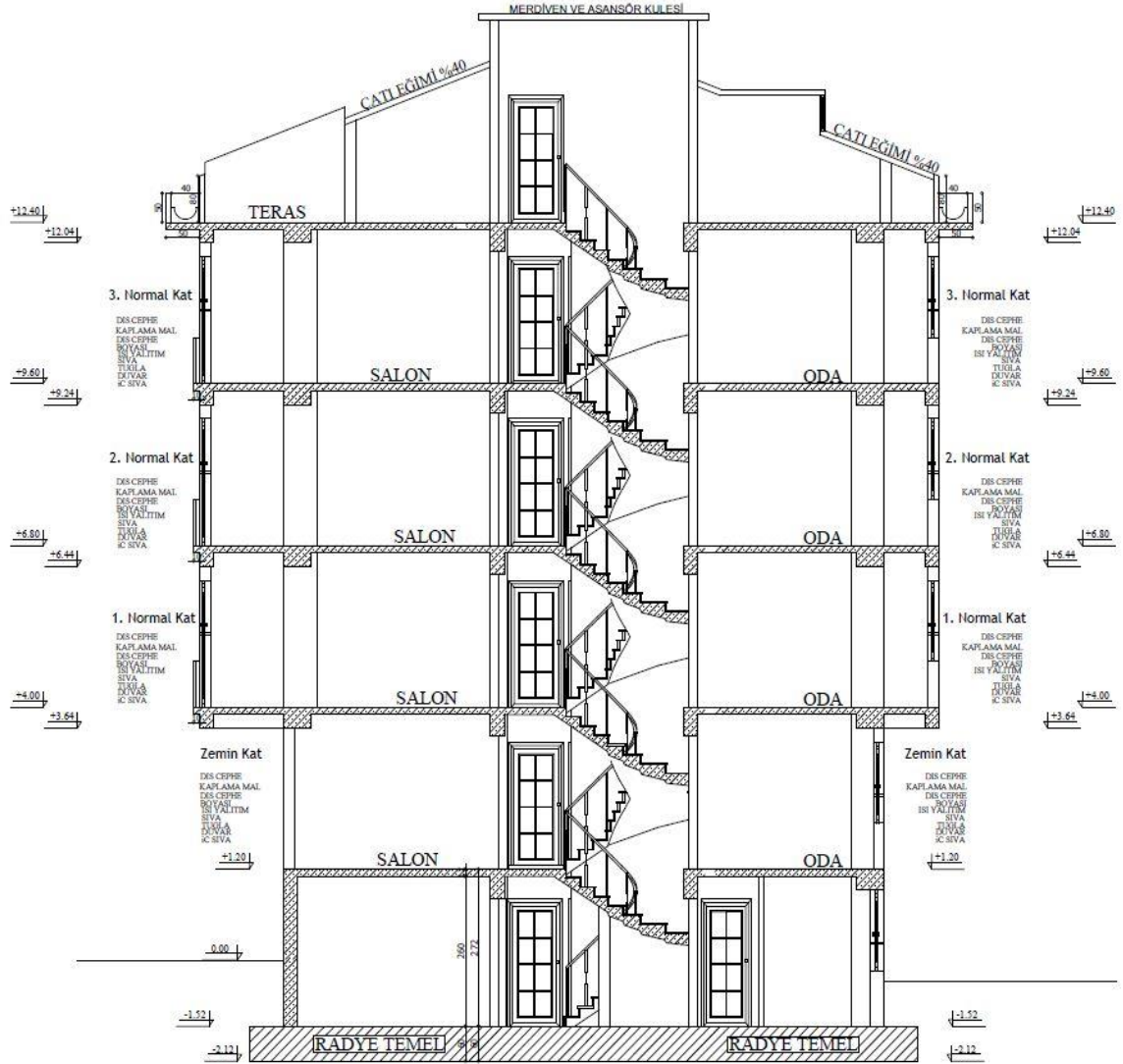
İncelenen alan yakınında küçük dere, çay, nehir, göl ve benzeri su kaynağı bulunmamaktadır. İnceleme alanında yapılan 2 adet zemin etüt sondaj 7 gün sonra yeraltı suyu ölçümü yapılmıştır. Buna göre; sondaj kuyularında yeraltı suyu tespit edilmemiştir. Sahada planlanacak yapı temellerinin yeraltı suyundan direkt olarak etkilenmeyeceği, yapı üzerinde kısa ve uzun dönemli olumsuz bir etkisi beklenmemektedir.

İnceleme alanında yüzeyleyen jeolojik birimlerin yanal ve düşey yöndeki süreksizliklerini belirlemek için sondaj, laboratuvar, jeofizik çalışmalardan elde edilen verileri yorumlamak ve mühendislik zonları ile zemin profilini ortaya çıkarmak amacıyla, inceleme alanında bir adet jeolojik enine kesit alınmıştır.



**Şekil 3 1** Jeolojik Enine Kesit

Planlanan yapıda yol üst kotu 0.00 olarak değerlendirilmiş 2.72 metre kat yüksekliğine sahip bodrum kat tabanı +1.20 metre subasman kotunda olacak şekilde mimari olarak projelendirilip 60 santimetre olan temel derinliği -2.12 metre olarak görülmüştür. Mimari olarak öngörülen temel derinliği yerelde 40 santimetre olan don derinliğini sağlamaktadır.



**Şekil 3 2 İlk Planlanan Yapıya Ait Temel Derinlikleri**

İnceleme alanında kilden silt, kum, çakıl ve inşaat artıklarına kadar geniş yelpazede malzemelerden oluşmuş yapay dolgular vardır. Bu tür dolgular kontrolsüz yapıldığı için hem yatay hem de düşey yönde heterojen yapıdadırlar. Yapılan sondaj çalışmasında inşaat molozu artıkları yapay dolgu, ortalama 2.20 metre derinliğe kadar nüfuz ettiği gözlemlenmiştir. Yapay dolgu zeminler, üzerinde özel olarak zemin iyileştirmesi yapılmadıkça ya da gerekli temel tipi uygulanmadıkça bina yapılamaz. Zemin iyileştirmenin yüksek maliyetli olması ayrıca inşaat molozu artıklarının mühendislik yapılarında da temel birim olarak seçilmesi kabul edilemez.



Yapay Dolgunun hemen altında başlayıp 7.00 metreye kadar siltli, kumlu, karbonatlı katı kil ve kuyu sonuna kadar da siltli kil devam etmektedir. Bu birimlerin mühendislik yapılarında temel birim olarak seçilmesi uygundur. Yapı temeli bu tabakaya yapılacak şekilde planlanmış ve inceleme alanında yapılan sondaj çalışması dikkate alındığında yapı temelleri temel alt kotunda taşıma gücü nitelikleri yüksek, katı siltli kil birimi üzerine denk gelmekte olup, yüzeysel (radye) temel olarak tasarlanabilecektir. İnceleme alanında yapımı planlanan yapıya ait yapı temelleri ±0.00 kotundan temel alt kotu ise -3.50 m de yer alması planlanmaktadır.

Temellerin, üzerindeki yapıları güvenle taşıyabilmeleri için taşıma gücü analizi yapıp öngörülen temel derinliğinin yeterli olup olmadığı hesaplanmıştır.

### 3.1.1 Taşıma Gücü Analizi

İnceleme alanında yapı temellerinin oturacağı katı siltli kil birimleri için Terzaghi teorisi aslı ve genel prensiplerine sadık kalınarak Meyerhorf (1963), Hansen (1970) ve Vesic (1973,1975) tarafından temel derinliği ve geometrisi ile yatay yüklerin uyguladığı haller için detaylandırılmış ve TBDY, 2018'te de belirtildiği gibi aşağıdaki taşıma gücü denklemi önerilmiştir.

$$q_k = c \cdot N_c \cdot d_c \cdot s_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + \sigma'_0 \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_y \cdot s_y \cdot d_y \cdot i_y \cdot b_y \cdot g_y$$

Burada;

$q_k$  = Temel Taşıma Gücü Karakteristik Dayanımı (kN/m<sup>2</sup>)

$q_t$  = Temel Taşıma Gücü Tasarım Dayanımı (kN/m<sup>2</sup>)

$s_c, s_q, s_y$  = Şekil Faktörleri

$d_c, d_q, d_y$  = Derinlik Faktörleri

$i_c, i_q, i_y$  = Yük Eğim Faktörleri

$b_c, b_q, b_y$  = Taban Eğim Faktörleri

$g_c, g_q, g_y =$  Zemin Eğim Faktörleri

$c =$  Kohezyon ( $\text{kN/m}^2$ )

$\phi =$  İçsel Sürtünme Açısı

$N_c, N_q, N_y =$  Taşıma Gücü Katsayıları

$\gamma =$  Doğal Birim Hacim Ağırlığı ( $\text{kN/m}^3$ )

$D_f =$  Temel Derinliği (m)

$\sigma'_0 =$  Efektif Yük ( $D_f \times \gamma, \text{kN/m}^2$ )

$B =$  Temel Genişliği (m)

$L =$  Temel Uzunluğu (m)

$H =$  Temele Etkiyen Yanal Yük (kN)

$V =$  Temele Etkiyen Düşey Yük (kN)

$A_f =$  Temel Efektif Alanı ( $\text{m}^2$ )

$c_a =$  Taban Adezyonu ( $0.6c \leq c_a \leq 1.0c$ ) ( $\text{kN/m}^2$ )

$\eta =$  Tabanın Yatayla Yaptığı Aç

$\beta =$  Temel Yüzüne Zeminin Yatayla Yaptığı Aç

İnceleme alanında katı kil birimler içerisinde alınan numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deney sonuçları ile elde edilen mukavemet parametreleri yardımı ile temel taşıma gücünün karakteristik dayanımı ( $q_k$ ) ve tasarım dayanımı ( $q_t$ ) aşağıdaki gibidir.

**Tablo 6** Temel Tasarım Dayanımı Hesap Tablosu
$$q_k = c * N_c * d_c * s_c * i_c * b_c * g_c + \sigma_0' * N_q * s_q * d_q * i_q * b_q * g_q + 0.5 * \gamma * B * N_y * s_y * d_y * i_y * b_y * g_y$$

c :	43,63 kPa	s <sub>c</sub> :	1,29	i <sub>c</sub> :	1,00
Ø :	10,74 °	d <sub>c</sub> :	1,12	g <sub>c</sub> :	1,00
Ø (radians) :	0,19 °	s <sub>q</sub> :	1,17	b <sub>c</sub> :	1,00
N <sub>c</sub> :	8,68	d <sub>q</sub> :	1,07	i <sub>q</sub> :	1,00
N <sub>q</sub> :	2,65	s <sub>y</sub> :	0,62	g <sub>q</sub> :	1,00
N <sub>γ</sub> :	0,62	d <sub>y</sub> :	1,00	b <sub>q</sub> :	1,00
D <sub>f</sub> :	3,50 m	K :	0,289	i <sub>γ</sub> :	1,00
B :	12,11 m	B/L :	0,93803253	g <sub>γ</sub> :	1,00
L :	12,91 m	D <sub>f</sub> /B :	0,289	b <sub>γ</sub> :	1,00
γ :	18,10 kN/m <sup>3</sup>	γ <sub>Rv</sub> :	1,4	(TBDY 2018 Tablo 16.2.)	
σ <sub>0</sub> ' :	38,37	q <sub>t</sub> :	509,88 kPa		
q <sub>k</sub> :	713,83 kPa	q <sub>t</sub> :	5,10 kg/cm <sup>2</sup>		

Temelin taşıma gücünün tasarım dayanımı (qt) dayanım katsayısına bölünerek aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır. (TBDY, 2018)

**Tablo 7** Yüzeysel Temeller İçin Dayanım Katsayıları (TBDY,2018)

Dayanım Türü	Dayanım Katsayısı Simgesi	Dayanım Katsayısı Değeri
Temel Taşıma Gücü	γ <sub>Rv</sub>	1.4
Sürtünme Direnci	γ <sub>Rh</sub>	1.1
Pasif Direnç	γ <sub>Rp</sub>	1.4

Tabloya göre γ<sub>Rv</sub> =1.4 olarak alınmıştır. Buna göre taşıma gücünün temel tasarım dayanımı ise;

$$q_t = 713,83 \text{ kN/m}^2 / 1.4$$

$$q_t = 509,87 \text{ kN/m}^2 \text{ olarak bulunmuştur.}$$

Hesaplanan temelin tasarım dayanımı kullanılarak TBDY,2018 Denklem 16.6'da belirtildiği gibi şartname kontrolleri yapılmıştır.

$$q_0 \leq q_t$$

$q_0$  = Statik ve depremi içeren yükleme durumları için temel seviyesinde etkiyen düşey yük, kesme ve moment etkilerinin oluşturduğu temel taban basıncıdır.

$$\text{Statik yükleme durumu (1.4G + 1.6Q) için } q_{0\max} = 21,04 \text{ t/m}^2 = 206,33 \text{ kN/m}^2$$

$$206,33 \text{ kN/m}^2 \leq 509,87 \text{ kN/m}^2$$

Depremi içeren yükleme durumu (G + Q + E) için  $q_{0\max} = 28,70 \text{ t/m}^2 = 281,45 \text{ kN/m}^2$

$$281,45 \text{ kN/m}^2 \leq 509,87 \text{ kN/m}^2$$

Tasarım dayanımımızın bu yapı ve yükler için yeterli olduğu sağlanıp öngörülen temel derinliği güvenliği sağlanmıştır.

### 3.1.2 Oturma Analizi

Oturma; zemin seviyesine (veya üst yüzeyine yakın bir seviyeden) uygulanan yüke bağlı olarak zeminin seviyesinin sıkışması olarak tanımlanır. Temeller vasıtasıyla yüklenen zemin ortamda az veya çok bir oturma (çökme, sıkışma, tasman) olur. Genel anlamda oturma, uygulanan yüklerden veya etkilerden dolayı, daneler arası boşlukların azalması sonucu, kısa veya uzun sürede olabilen bir hacim azalması, sıkışma olayıdır. Bir temelin, zeminde kırılma meydana getirmemesi ve kırılmaya karşı güvenli olması yetmez. Ayrıca meydana gelebilecek oturmaların, yapıya zarar vermemesi gerekir. Başka bir deyişle, oturma veya oturma farkları, belli (izin verilebilir, müsaade edilebilir) oturma değerlerini aşmamalıdır. İzin verilebilir oturmalar aşıldığında yapılarda çatlaklar ağır hasarlar, hatta yıkılmalar meydana gelebilir.

Toplam oturma üç bileşenden oluşur.

- Ani veya elastik oturma
- İlksel (primary) konsolidasyon
- İkincil (secondary) konsolidasyon

Ani veya elastik oturma elastisite teorisi (zeminin elastisite modülü) kullanılarak hesaplanır.

Konsolidasyon; zaman (t) faktörünü de içinde barındıran ve boşluklardaki suyun bir yük altında dışarı atılmasıdır.

- Çoğunlukla İnce daneli zeminler; kil, silt
- İri taneli Kum, çakıl Konsolidasyona maruz kalabilirler. Ancak, yüksek geçirimsizlikleri nedeniyle çok daha hızlı bir süreç söz konusudur.
- Doygun killer Konsolidasyon süresi çok yavaştır. Bunun nedeni düşük geçirimsizlikten dolayıdır.

Konsolidasyon teorisi, zeminin konsolidasyon sürecindeki davranışını ve konsolidasyondan kaynaklanan oturmaların büyüklük ve hızı hakkında bilgi edinilmesini sağlar.

Su, doymuş zemin kütlesi içinde her yönde hareket edebilir. Temelde konsolidasyon 3 boyutlu ele alınması gereken bir süreçtir. Bununla birlikte, zemindeki yanal devamlılığın yüksek olması nedeniyle, yanal yönde suyun drene olması çok zordur. Bu nedenle, suyun hareket yönünün düşey yönde ve 1 boyutlu olduğu, dolayısıyla oturma da düşey yönde olduğu kabul edilir.

Proje alanında inşa edilecek yapı için temel boyutları ve uygulanan net basınç dikkate alınarak hesaplanacaktır. Burada belirli kabuller yapılarak muhtemel oturmalar hesaplanacaktır.

Planlanan yapı 12.11m x12.91 m ebatlarında ve zemine 89,24 kN/m<sup>2</sup> net basınç uygulanacağı kabul edilirse meydana gelecek oturma;

### **3.1.2.1 Ani Oturma**

İnceleme alanında gözlemlenen kil birimler için oturma miktarı Harr (1966) tarafından aşağıdaki eşitlikle ifade edilmiştir;

$$S_i = q \cdot B \cdot (1 - \mu^2 / E_u) \cdot I_s$$

Eşitlikteki;

$S_i$  = Ani oturma,

$q$  = Uygulanan üniform basınç (89,24 kN/m<sup>2</sup> olarak alınmıştır)

$B$  = En küçük yanal boyut ( $B = 12.11$  m'dir)

$\mu$  = Poisson oranı (Bu çalışmada  $\mu = 0.374$  olarak alınmıştır)

$E_u$  = Drenajsız deformasyon modülü ( $E_u = 377.38$  kg/cm<sup>2</sup> Harmonik ortalamadır.)

$I_s$  = Temel alanı şekli ve rijitliğine bağlı rijitlik faktörü. (dikdörtgen ve rijit bir temel için 0.82 olarak alınmıştır.)

$$E_u = 377,38 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_u = 37008,33 \text{ kN/m}^2$$

$$S_i = q \cdot B \cdot (1 - \mu^2) / E_u \cdot I_s$$

$$S_i = 89,24 \text{ kN/m}^2 \cdot 12.11 \text{ m} \cdot (1 - 0.374^2) / 37008,33 \text{ kN/m}^2 \cdot 0.82$$

$$S_i = 0,020 \text{ m}$$

$S_i = 20,00$  mm anlık oturma oluşacaktır.

### 3.1.2.2 Konsolidasyon Oturması

İnceleme alanına gözlemlenen katı kil birimi içerisinde Menard vd.(1962) formülüne göre oturma analizi aşağıdaki formül ile yapılmaya çalışılmıştır.

$$S : (2 / (9 \cdot EM)) \cdot q \cdot B_o \cdot (\lambda_d \cdot B / B_o)^{\alpha} + (\alpha / (9 \cdot EM)) \cdot q \cdot \lambda_c \cdot B$$

$S$  = Toplam oturma

$$q_{net} = \text{Proje Yüğü kg/cm}^2 = 5.01$$

$$B_o = \text{Temel (referans) Genişliği} = 0,6$$

$$B = \text{Temel Genişliği cm.} = 1211 \text{ cm.}$$

$$E_p = \text{Elastisite Modülü (İlk 3.00m ye kadar)} = 377,38 \text{ kg / cm}^2$$

$$\lambda_d = \text{Temel Şekline Bağlı Katsayı} = 1,2$$

$$\lambda_v = \text{Temel Şekline Bağlı Katsayı} = 1,33$$

$\alpha = \text{Zemin Cinsine ve } E_p/P_{ln} \text{ oranlarına bağılı katsayı} = 0,33$

$$S = (2 / (9 * 377,38)) * ((5,01 * 0,6 * (1,2 * 1211 / 0,6)^{0,33}) + (0,33 / (9 * 377,38)) * 5,01 * 1,33 * 1211$$

$$S = 0,80 \text{ cm.}$$

S = 8,00 mm. olarak hesaplanmıştır.

### 3.1.2.3 Toplam Oturma

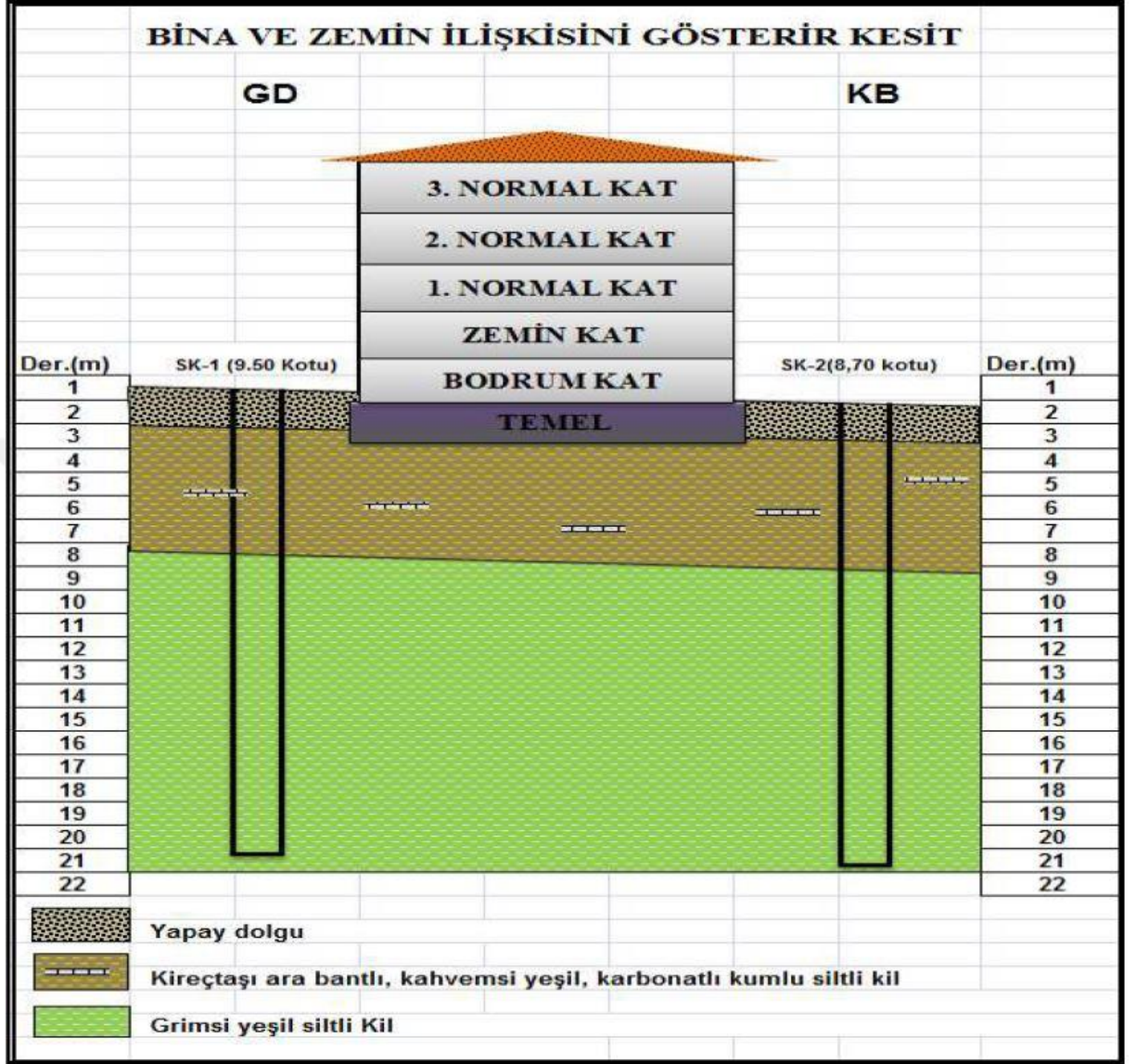
Toplam oturma miktarı (ST),  $ST = S_i + S$

$$ST = 20,00 + 8,00 = 28,00 \text{ mm olur.}$$

**Tablo 8** Binalarda İzin Verilebilir Maksimum Oturma Miktarı (mm) ( McDonald ve Skempton, 1955)

Kriter	Tekil Temel	Radye Temel
Açılı Distorsiyon	1/3000	
<b>Farklı Oturma</b>		
Killer	45(35)	
Kumlar	32(25)	
<b>Maksimum Oturma</b>		
Killer	75	125
Kumlar	50	75

Sonuç itibari ile belirli kabuller ve yapı boyutu göz önüne alınarak oturmalar hesaplanmış ve izin verilebilir aralıkta bulunmuştur. Böylelikle tasarlanan yapı için temel derinliği oturma analizine göre de güvenli olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 3 3 Jeolojik Birimler ve Bina Zemin İlişkisini Gösteren Kesit

### 3.2 Uygulama 2

Bu uygulama İstanbul ili, Büyükçekmece ilçesi sınırları içerisinde yapılması planlanan konut projesi için temel tasarım dayanımının belirlenmesi, üst yapı yükleri ve temel derinliğinin hesaplanıp parametrelerinin belirlenmesini kapsamaktadır.

Planlanan yapı bloklu olarak Bodrum + Zemin + 2 Normal Kat + Çatı Kattan oluşacaktır. Yapının kesitleri ve özellikler aşağıdaki özetlenmiştir.





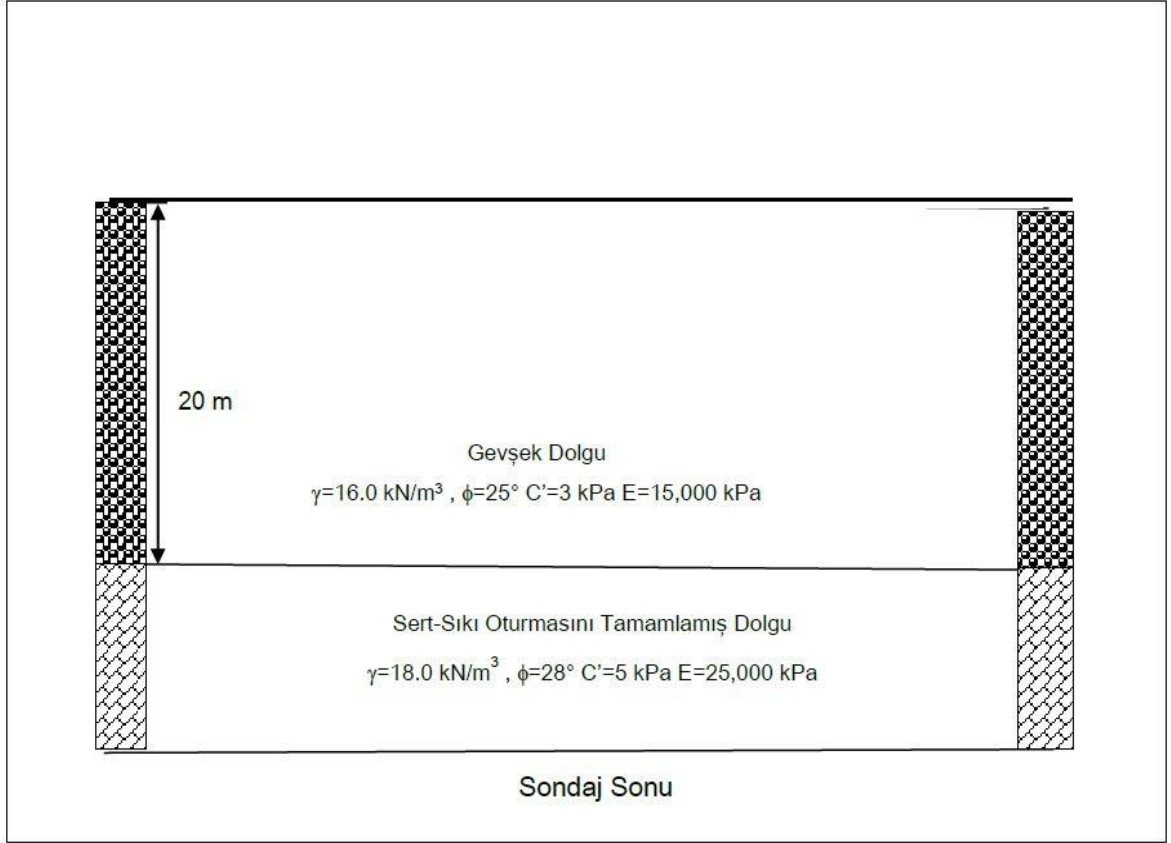
Şekil 3 4 Yapı Mimari Kesiti

Tablo 9 Uygulama 2 Yapı Özellikleri

Kullanım Amacı	Konut
Taşıyıcı Sistemi	Betonarme
A Bloklar Mimari Düzenleme Kotu	±0.00=88.00
B Bloklar Mimari Düzenleme Kotu	±0.00=94.40
A Bloklar Temel Alt Kotu	-6.84 (+81.16)
B Bloklar Temel Alt Kotu	-6.84 (+87.56)
Kat Sayısı	4
Bina Kullanım Sınıfı (BKS)	1
Bina Önem Katsayısı (I)	1.0
Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	7
Toplam İnşaat Alanı (m <sup>2</sup> )	10,605.02
Yapı Yüğü (G+Q) Toplam	~212,700 kN
Maksimum Temel Taban Basıncı (1.4G+1.6Q)-B Bloklar Seviyesi	102.00 kPa
Maksimum Temel Taban Basıncı (1.4G+1.6Q) -B Bloklar Seviyesi	121.00 kPa
Maksimum Temel Taban Basıncı (1.4 G+1.6Q )-A Bloklar Seviyesi	120.00 kPa
Maksimum Temel Taban Basıncı (G+Q+E) )-A Bloklar Seviyesi	124.00 kPa

Zemin özelliklerini belirlemek amacıyla alanda 11 ayrı noktada derin sondaj çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca alanın sismik aktivitesinin belirlenmesi ve Jeolojik verilerin desteklenmesi amacıyla 10 adet yüzey dalgalarının çok kanallı analizi (MASW) yöntemi ile Jeofizik araştırmaları yapılmıştır.

İnceleme alanında açılan sondaj kuyusunda, arazi ve laboratuvar deneyleri sonucunda zemin birimlerinin jeoteknik özellikleri belirlenmiştir. İnceleme alanı üzerinde açılan sondaj kuyularında; 0,00 – 20,00 metre arası gevşek dolgu tabakasının altında, sondaj sonuna kadar sert sıkı oturmasını tamamlamış dolgu birimi tespit edilmiştir.



**Şekil 3 5** Geoteknik Zemin Profili

Blokların temellerinin tümü sondaj çalışması sırasında dolgu olarak nitelendirilen birime oturacaktır. Gerek SPT çalışmaları gerekse sismik çalışmalarla dolgunun derinlikle özelliklerinin değiştiği belirlenmiştir. SPT çalışmalarına göre yüzeyden

itibaren 15 metre derinliğe kadar SPT sayısı 11,5 ile 24 arasında değişmektedir. Özellikle üst seviyelerde SPT sayılarının 11~13 gibi düşük değerler aldığı görülmektedir. 15 metre derinlikten sonra ise SPT deneylerinin refü verdiği görülmektedir. Bu durum 15 metre sonrasında dolgunun sıklığının farklı olduğu şeklinde yorumlanabilir.

Benzer şekilde yapılan sismik deneylerde yüzeyden 20 metre derinliğe kadar ki birimin kayma dalgası hızı  $V_{\text{sort}}=278$  m/sn iken 20 m sonrasında ise  $V_{\text{sort}}=397$  m/sn olup bu aradaki fark 20 metre sonrasında dolgu birimin dayanım özelliklerinin farklı olduğunu göstermektedir. Yeni dolgu olmayan bu birimin oturmalarını tamamlamış olduğunu ve 20 metre sonrasında zemin sınıfını ZD olarak yani orta sıkı kum çakıl ya da çok katı killer olarak sınıflandırılabilceği değerlendirilmektedir.

İnceleme alanında herhangi bir su kaynağının bulunmaması küçük dere, çay, nehir, göl ve benzeri olmaması ayrıca yapılan mekanik sondajlarda yer altı suyu ölçümleri ve gözlemleri yapılmıştır. Söz konusu kuyularda da yapılan 7 günlük ölçümlerde yer altı suyuna rastlanmamıştır.

### **3.2.1 Şişme Potansiyeli Değerlendirmesi**

Bünyelerine su aldıklarında şişen, su yitirdiklerinde büzülen plastik killere doğada sıkça rastlanmaktadır. Bu tür zeminler üzerine inşa edilmiş yapılarda kabarma, çatlama ve bazı hallerde yıkılma türü olumsuzluklar görülebilmektedir. Şişme; killi zeminlerde (özellikle montmorilonit grubu killer) minerallerin su alarak hacimce genişlemesi olarak tanımlanabilir. Özellikle killi seviyeler yüksek şişme özelliği sergilemektedir. Likit limit değerlerinden dolayı su altında şişme kabarma riskinin çok yüksek olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Şişme problemini önlemek için;

- Yer altı ve yer üstü drenajının sağlıklı bir şekilde yapılması gerekmektedir.
- Şişmeye karşı yük uygulamasının çok iyi yapılmış olması gerekir.
- Temel derinliği artırılarak şişen zeminin yapı etrafında kabarmasına olanak verilmemiş olur.

Yöntemlerinden bir veya bir kaçının uygulanması yararlı olacaktır. Şişme potansiyeli kil türü minerallerin türü ve miktarı tarafından kontrol edildiğinden birçok

araştırıcı şişme potansiyeli ile atterberg kıvam limitleri arasında bağlantı kurmaya çalışmıştır.

Temel zemini, dūřuk şişme potansiyeline sahipse, standart inşaat çalışmaları uygulanır, temel zemini şişme özelliği gösteriyorsa önerilen uygulamalar ehemmiyetle uygulanmalıdır.

İnceleme alanında gözlemlenen kil birimler için Aktivite değerine bağlı olarak Seed ve Diğ., (1962) göre şişme yüzdesi değerleri hesaplanmış olup, Seed ve Diğ., (1962) – Holtz ve Gibss (1956) ve Chen (1975) sınıflamasına göre şişme potansiyelleri belirlenmiştir. Sridharan ve Gurdug (2004) şişme yüzdesi ile şişme basıncı arasında aşağıdaki bağlantıyı önermiştir.

$$S = 3.6 \times 10^{-5} \times A^{2.44} \times C^{3.44}$$

$$A = PI / (C - n)$$

$$Ps = 48.22 \times S$$

Burada,

$$Ps = \text{şişme Potansiyeli (kN/m}^2\text{)}$$

$$\%S = \text{şişme Potansiyeli}$$

$$A = \text{Aktivite}$$

$$PI = \text{Plastisite İndisi}$$

$$C = \text{Kil Yüzdesi}$$

$$n = 5 \text{ (Doğal zeminler için)}$$

$$n = 10 \text{ (Yapay zeminler için)}$$

**Tablo 10** Killerin Aktivite Değerine Göre Sınıflandırılması (Skempton, 1953)

<b>Aktivite Sınıflama</b>	<b>Aktivite Sınıflama</b>
A<0.75 Aktif Olmayan Kil (Kaolinit)	A<0.75 Aktif Olmayan Kil (Kaolinit)
0.75-1.25 Normal Kil (İllit)	0.75-1.25 Normal Kil (İllit)
A>1.25 Aktif Kil (Montmorillonit)	A>1.25 Aktif Kil (Montmorillonit)

**Tablo 11** Plastisite İndisine Göre Kilin Şişme Potansiyeli (Seed, vd., 1962)

<b>Plastisite İndeksi (PI) Sınıflama</b>	<b>Plastisite İndeksi (PI) Sınıflama</b>
% 0 – 15 Düşük	% 0 – 15 Düşük
% 15 – 24 Orta	% 15 – 24 Orta
% 24 – 46 Yüksek	% 24 – 46 Yüksek
> % 46 Çok Yüksek	> % 46 Çok Yüksek

**Tablo 12** Serbest Şişme Değerine Göre Kilin Şişme Potansiyeli (Holtz ve Gibbs, 1956)

<b>Şişme Değeri (%) Sınıflama</b>	<b>Şişme Değeri (%) Sınıflama</b>
% 0 – 1.50 Düşük	% 0 – 1.50 Düşük
% 1.50 – 5.00 Orta	% 1.50 – 5.00 Orta
% 5.00 – 25.00 Yüksek	% 5.00 – 25.00 Yüksek
> % 25 Çok Yüksek	> % 25 Çok Yüksek

**Tablo 13** Serbest Şişme Değerine Göre Kilin Şişme Potansiyeli (Holtz ve Gibbs, 1956)

<b>Şişme Değeri (%) Sınıflama</b>	<b>Şişme Değeri (%) Sınıflama</b>
% 0 – 1.50 Düşük	% 0 – 1.50 Düşük
% 1.50 – 5.00 Orta	% 1.50 – 5.00 Orta
% 5.00 – 25.00 Yüksek	% 5.00 – 25.00 Yüksek
> % 25 Çok Yüksek	> % 25 Çok Yüksek

Hacimsel şekil değiştirme şişme ve büzülme etkileri ile meydana gelen geoteknik zemin problemidir. Şişme potansiyeli; laboratuvarında belli şartlarda sıkıştırılmış veya doğal (bozulmamış) bir zemin örneğinin belirli yük altında, sıfır yanıl deformasyon durumunda suya doygun duruma gelinceye kadar uğradığı düşey şişme miktarının, örneğin ilk kalınlığa oranı olarak tanımlanabilir. Bu değer aynı zamanda sıfır yanıl deformasyon şartlarındaki hacimsel artış yüzdesidir. Şişme potansiyeli zeminin içerdiği kil minerali ve kil içeriğine bağlıdır. İnceleme alanında ki iki farklı zemin tabakası için de yapılan şişme değerleri ve risk değerlendirmesi aşağıdaki gibidir.

**Tablo 14** Hacimsel Şekil Değişirme Analizi

<b>Zemin Tabakası</b>	<b>Derinlik (metre)</b>	<b>Likit Limit (%)</b>	<b>Kil Yüzdesi (%)</b>	<b>Plastisite İndisi (%)</b>	<b>Aktivite Kat Sayısı</b>	<b>Şişme Değeri (%)</b>	<b>Şişme Değerlendirmesi</b>
Gevşek Dolgu Siltli Kil	15.00	55.90	74.64	28.55	0,409	10.67	Riskli
Sert Sıkı Katı Kil	25.00	39.8	40.32	21.9	0.54	3.74	Uygun

İnceleme alanında ki her iki zemin tabakası için hesaplanan (Laboratuvar sonuçlarına göre) % 10.67 şişme yüzdesi yüksek olup, şişme analizi bölümünde belirtilen önerilere aynen uyulmalıdır.

Buna göre planlanan yapı için toplam ve farklı oturmaların kabul edilebilir limitlerde kalması, yapı temellerinden zemine iletilen statik yüklerin üniform olarak alana yayılması, farklı ve toplam oturmaların kontrol altında tutulması, zeminde kabarma ve şişme problemlerinin kontrol altında tutulması bakımından uygun temel derinliği ve tipi seçilmesi gerektiği gibi ilk etapta Gevşek Dolgu Siltli Kil tabakasına oturtulması düşünülen yapı için çeşitli zemin iyileştirme yöntemleri de gözden geçirilip uygulanabilirliği ve maliyet olarak değerlendirilmiştir.

### **3.2.2 Dinamik Kompaksiyon**

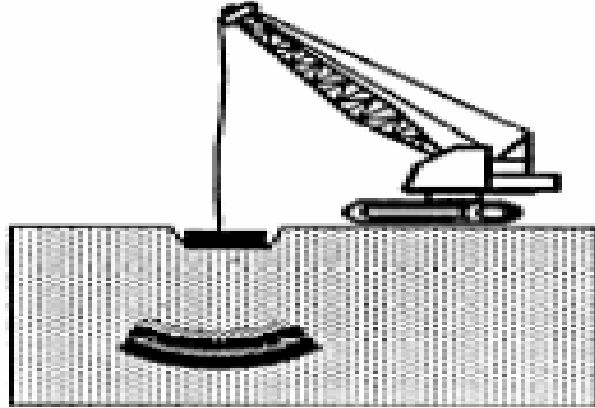
Dinamik kompaksiyon; ağır tokmaklama yöntemiyle, zemini titreştirmek ve yüzeye yakın granüle zeminlerin yoğunluğunu arttırmak amacıyla, büyük bir ağırlığı zemin yüzeyine defalarca kaldırıp ve düşüren bir vinçten oluşmaktadır. Belirli bir yükseklikten bırakılan ağırlığın zemine düşmesiyle şok dalgaları oluşmaktadır. Zemin sıklığı bırakılan ağırlığın miktarı, düşme yüksekliği ve düşme sayısı ile doğrudan

etkilidir. Bu yöntem ile zemin yoğunluğunu 18 metre derinliğe kadar arttırılabirse de, genellikle yaklaşık olarak 6 ile 9 metre derinliklerde etkilidir.

Genellikle kohezyonsuz suya doymun olmayan zeminlerde en verimli sonuç alınan bu yöntemde ince daneli zeminlerde de (Kil, silt ve kum gibi) kullanılmaktadır.

Dinamik kompaksiyon uygulanacak alan yüzeyi yapının taban alanından daha fazla olması gerekmektedir. Ayrıca uygulama sırasında oluşacak olan şok dalgaları çevre yapılara potansiyel hasara sebep olabilmektedir.

Basit ve hızlı sonuç alınabilen bu yöntem uygun maliyetli olmasına karşın uygulama alanın yerleşim bölgesinde olması ve uygulama taban alanının dar olması sebebiyle tatbik edilemez.



**Şekil 3 6** Dinamik Kompaksiyon İşlemi

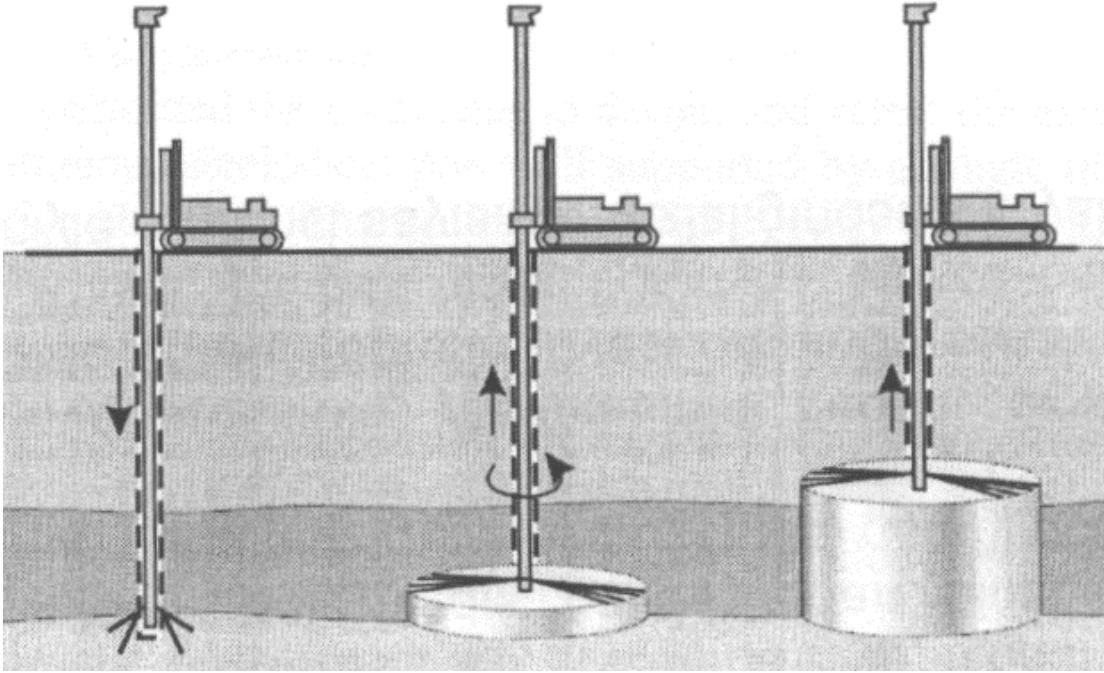
### 3.2.3 Jet Grout

Jet grout yöntemi, zemine iyileştirme yapılması ya da yapı yükünün daha derindeki tabakalara aktarılması amacıyla iyileştirme yapılacak derinliğe kadar zemine

delgi yapılması ve yüksek basınçla su ve çimento enjeksiyonuyla silindirik zemin kolonları oluşturmaktır.

İri ve ince daneli zeminlerin geniş yelpazesinde kullanılan bu yöntem, alüvyon zemin, yumuşak kil, silt, kum ve çakıla kadar her türlü zemin iyileştirilmesinde kullanılabilir. Aynı zamanda dar alanda tatbik edilebilmesi de avantajları arasındadır.

Ancak enjeksiyonla oluşturulan kolonlar genellikle kırılğan olup, yanal hareketlere direnci düşüktür; bu nedenle de yanal zemin hareketleri ile kırılabilirler. İncelenen alanın şevli olmasından dolayı bu yöntemle oluşturmak istenen jet grout kolon sayılarının sık olması gerekmektedir. Böylece yüksek malzeme maliyeti oluştuğundan bu yöntem ile ıslah çalışması yapılmamıştır.



**Şekil 3 7** Jet Enjeksiyonu İşlemi

### 3.2.4 Fore Kazık

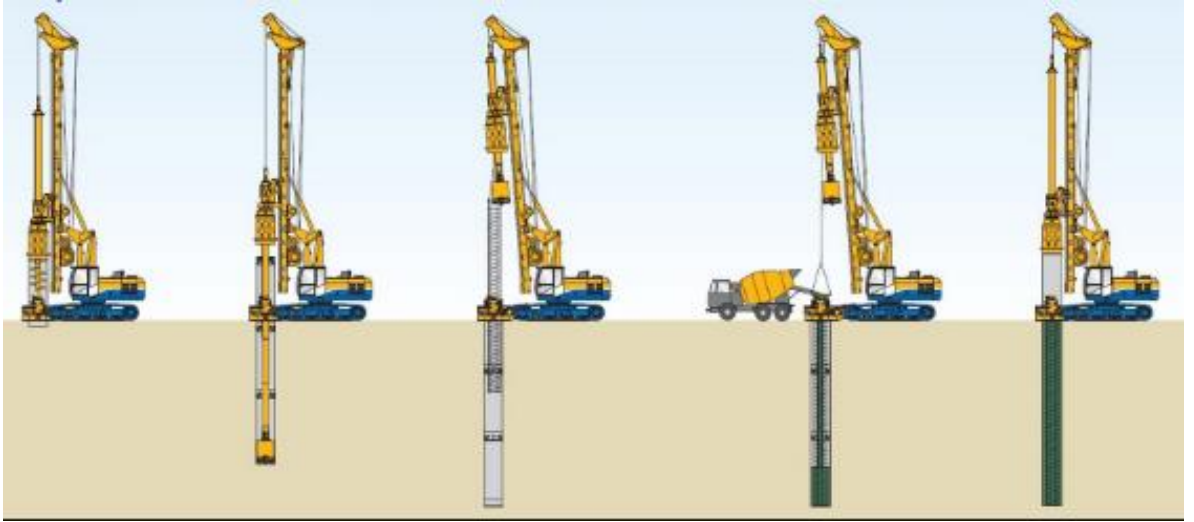
Yapıların temel sisteminin oturduğu zeminler, bina yüklerini göçmeden veya aşırı oturmalar yapmaksızın taşıyabilecek bir yüzeysel temel teşkiline uygun olmadığı



hallerde derin temel sistemleri tercih edilir. Derin temel kavramı, temel derinliği temel genişliğinin dört katı olan temeller için kullanılmaktadır. Üst yapı yüklerini daha derinlerdeki tabakalara aktarmakta kullanılan kazıklı temeller, kesonlar, ayak (kuyu, şaft) temeller olarak örnek verilebilir.

Fore kazıklı temeller, yapı yüklerini zeminin derin tabakalarına taşıtmak amacıyla kullanılan derin temel türüdür. Fore kazıklı temeller, yüzeysel temellerin derinlik bakımından ekonomik olmadığı, yzeeye yakın zemin tabakalarının düşük taşıma kapasitesi nedeni ile yüzeysel temel uygulamanın mümkün olmadığı, inşa edilecek yapıların oturmaya hassas olduğu, üst yapıdan temellere büyük yatay yük etkidiği hallerde uygulama alanı bulurlar. Aynı zamanda taşıma kapasitesi ve oturma problemlerine karşı kullanılmalarının yanı sıra, şişme ve çökme özelliği gösteren zeminlerde, oyulmaya karşı temel altlarında tercih edilmektedir.

Zemin iyileştirme gerektiren yapılarda aksenal yüklere iletilerek taşınabilme ve kesme kuvveti taşıyabilme kapasitesine sahip betonarme fore kazık uygulaması diğer iyileştirme yöntemlerine göre daha yüksek gvenliktedir. Fore kazıklı radye temel tasarımında yapı yükünün radye temel ve kazıklar tarafından paylaşılarak taşınacağı kabul ile daha ekonomik kazık modellemesi yapılmaktadır.



**şekil 3 9** Fore Kazık İmalatı

İncelenen alanda planlanan yapı için güvenlik, uygulanabilirlik ve ekonomik bakımdan fore kazıklı derin temel seçimi uygun temel tipi olacaktır. Ayrıca incelenen alan için zemin profilindeki Gevşek Dolgu Kil zemin derinliğinin 20 metre olması ve yapı temelinin bu tabakaya oturabilmesi için tabakanın tamamının ıslahı gerekmektedir. Bu sebeple oluşacak yüksek maliyet ve uygulama zorluğu sebebiyle yapı temeli Sert Sıkı Katı Kil zemine taşınması fore kazıklı derin temel tipi olarak uygun görülmüştür. Böylelikle incelenen alan için zemin profiline ait yüzeyden 20 metre sonra tespit edilen Sert Sıkı Katı Kil zemine göre analizler değerlendirilmiştir.

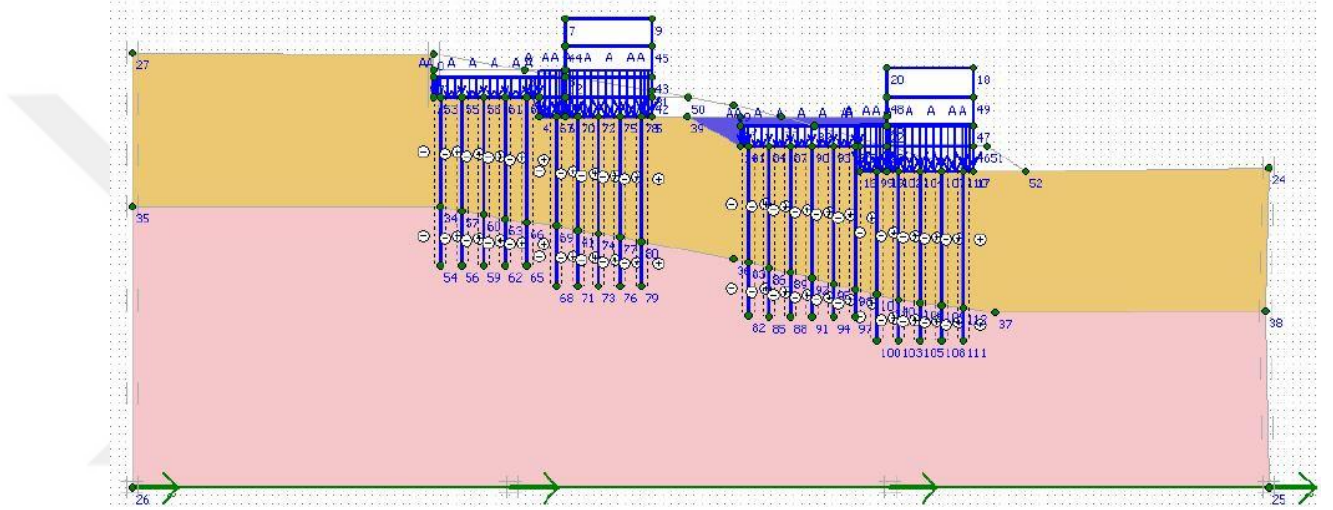
### **3.2.5 Taşıma Gücü Analizi**

Blok temel yüklerinin üst seviyedeki gevşek olarak nitelendirilebilecek dolgudan 20 metre derinlikte başladığı kabul edilecek oturmalarını tamamlamış eski dolgu birime aktarılmasının yapıların stabilitesi açısından uygun bir yaklaşım olacağı değerlendirilmektedir.

Temel altında imal edilecek donatılı kazıklar ile temel ve üst yapı yükleri eski dolgu birime aktarılacaktır. Kazık çapı yapı boyutları ve gelen gerilme değerleri dikkate alınarak Ø65 cm olarak seçilmiştir. Kazık boyları için B ve A Blokların temel altı kottan 20 metre derinliğe kadar olan dolgu kalınlığı belirleyici olacaktır. B Bloklar temel alt kotundan eski dolgu birime kadar 15 metre ile 17 metre arası bir dolgu kalınlığı olduğu, A Bloklar temel alt kotundan eski dolgu birime kadar 16.5 metre ile 19.0 metre arası bir dolgu kalınlığı belirlenmiştir. Kazık boyları belirlenirken en kalın gevşek dolguyu geçecek şekilde seçilmiştir. Eski dolguya kazıkların en az 3 metre soketlenmesine göre değişik kazık boyları için tek kazığın taşıma gücü GGU-Axpile bilgisayar programı ile hesaplanmıştır.

Kazık boyu  $L=22$  metre olarak öngörülmüştür. Bu boyda kazık ile kazıkların gevşek dolguyu geçip eski dolguya en az 3 metre soketleneceği öngörülmektedir. Tek kazığın izin verilebilir taşıma gücü  $Q_{all}=974$  kN olarak hesaplanmıştır.

Üst seviyedeki dolgunun gevşek olup kazıkların imalatı sonrasında oturmaya devam edecek olması sebebiyle kazıklar için negatif çevre sürtünme etkisi oluşturabileceği değerlendirilmektedir. Oluşması muhtemel bu negatif çevre sürtünme etkisinin en aza indirilmesi için gevşek dolgunun dinamik kompaksiyonla ön sıkışmaya maruz bırakılmasının uygun bir yaklaşım olacağı değerlendirilmektedir.

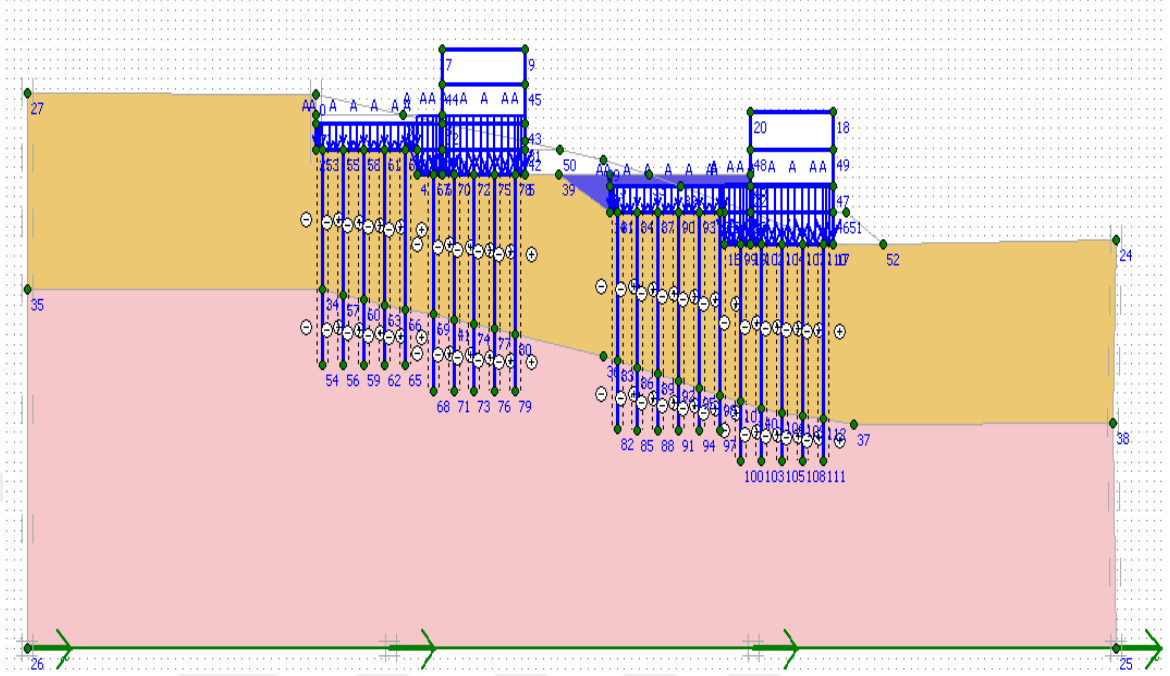


Şekil 3 9 Kazıklı Temel Modeli

Temel seviyesinde yapılan temel tasarım dayanımı değerlendirmesine göre taşıma gücü problemi beklenmektedir. Temellerin tamamı yeni ve gevşek dolgu birime oturacaktır. Gevşek dolgular heterojen karakterde birimler olup taşıyıcı olarak kabul edilmemektedir. Bu sebeple temel ve üst yapı yüklerinin yüzeyden 20 metre derinde olan ve sismik hızlara göre ZD olarak sınıflandırılabilir oturmasını tamamlamış ve dayanımı yeterli olan eski dolgu birime aktarılması önerilmektedir. Böylece yapılması planlanan yapı için temel derinliği kazıklı sisteme göre seçilmiştir.

### 3.2.6 Oturma Analizi

Oturma analizleri Plaxis bilgisayar programı yardımıyla A-A kesiti için yapılmıştır. Şekil 3.7' de gerçekleştirilecek temel imalatı modeli görülmektedir.



**Şekil 3 10** Plaxis Analiz Modeli

Statik ve dinamik durumda A blokları için en büyük toplam oturma 13.1 mm, B blok ve otoparkı için 37.5 mm olarak hesaplanmıştır. Temelde farklı oturma beklenmemektedir. Hem statik yükler altında hem de deprem yükleri altında yapılan analizler sonucunda toplam ve farklı oturmalar izin verilen limitler içerisinde hesaplanmıştır. Farklı oturmadan kaynaklı açılmalı dönmeler limit içerisinde kalmaktadır. Radye temel seçimi ile toplam ve farklı oturmalar nedeniyle herhangi bir riskin bulunmadığı görülmektedir.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Tasarlanması planlanan yapılara ait temel derinliği, don derinliği, su içeriğinde olacak değişikliğin hacimsel değişikliklere yol açtığı aktif tabaka derinliği, çöp veya kontrolsüz yapay dolgu derinliği, temel oyulma derinliği, deprem yükleri altında sıvılaşma veya kayma mukavemetinin yitirilmesi olasılığı olan tabaka derinliği, gözetilerek belirlenmelidir. Bu etkenler ile birlikte yapım güçlükleri ve maliyet ile taşınacak yükün doğrultusu, büyüklüğü ve yükleri taşıyabilecek iyi özellikleri olan zemin tabakası derinliği temel derinliğinin belirlenmesinde etkilidir. Ayrıca eski bir temel yanında oluşturulacak yeni bir temelin kazı nedeniyle eski temelin güvenliğini tehlikeye düşürmemek için özel destekleyici sistemler ile veyahut temel zemini özelliğine göre belirlenecek bir kritik bölge dışında kalmak için düzenlemeler yapılması gerekmektedir. Temel tasarımı için belirlenmek istenen temel derinliğine karar verilirken aşağıda sıralanan önlem ve sorun teşkil edebilecek koşullar aşağıda açıklanmıştır.

- Mevsimsel değişikliklerle birlikte zeminlerin donma çözülme çevrimleri sonucunda gevşediği ve yumuşadığı bilinmektedir. Bölgelere göre belirlenmiş don derinliğinin altına inecek şekilde temel derinliği belirlemek gerekmektedir.
- Kohezyonlu zeminler kuruyunca büzülme, su muhtevası artınca kabarma eğilimi vardır. Hacim değişimleri büzülme limitinin küçük, plastisite içeriğinin büyük olduğu zeminlerde daha fazladır. Uzun süren kurak mevsimlerin kısa yoğun yağışların izlediği bölgelerde zemin kuru mevsimde çatlamakta ve yağmur zeminde büyük kabarmalara sebep olabilmektedir. Yağışlar uzun süreli olmadığından sorun teşkil eden kil mineraller yeryüzüne yakın bölgelerde değişmeden kalabilmekte ve yağışlı mevsimde çabucak ıslanmaktadır. Bazen temel altında derinlerdeki su tabakasından buhar veya kapiler olarak gelen su, zemini doymun hale getirip yapı çevresindeki zemin daha kuru kaldığından farklı hareketlere sebep olabilmektedir.
- Yeni yapılacak olan bir temel ile var olan bir temel arasında seviye farkı var ise iki yapı arasında uzaklığın bu farktan daha fazla olmasına dikkat edilmelidir.

- Yeni yapılacak olan temel daha derinde ise yapılacak olan kazının duraylılığı yanında eski yapı için göz önüne alınmışsa sürşarj etkisinin kazıyla yok olacağı dikkate alınmalıdır.
- Köprü ve istinat yapı temellerinde olası oyulma derinliğine göre temel derinliğini belirlenmesi gerekmektedir.
- Kum tabakalı zeminlerde temellerin sığ olması halinde temel çevresinden zemin kaçması, su ve rüzgâr erozyonuna sebep olabilmektedir. Bu zeminlerde göreceli sıkılığın yüksek, sıkışma yüzdesinin %90'dan büyük olması gerekmektedir. Bu zeminlerde yük ve titreşimlerden dolayı aşırı oturma miktarlarının olması ihtimali göz önüne alınmalıdır.
- Yer altı su seviyesi altında ki ince kum ve siltli zeminlerde deprem yükleriyle birlikte sıvılaşma gerçekleşmektedir. Benzer durumda yumuşak kohezyonlu zeminlerde ise taşıma gücü yenilmesi olduğu gözlemlenmektedir. Bu iki olasılık uygun analizlerle değerlendirilip uygun temel derinliğine karar verilmelidir.
- Yumuşak kil ve siltli zemin tabakaları oturma ve taşıma gücü bakımında sorunlu teşkil etmektedirler. Bu tür zeminler hassas olduklarından dolayı drenajsız kayma mukavemetlerinin Veyn, Koni Penetrasyonu veya Levha Dilatometre arazi deneyleri bulunması için dikkate alınmalıdır. Önemli yapılar için oturma analizleri indeks özelliklerine bağlı ampirik yaklaşımlarla birlikte konsolidasyon deneylerine de dayandırılmalıdır.
- Yapı temeli şevin içerisinde veya gerisinde olması durumunda düz zemin koşullarına göre daha düşük taşıma gücü olacağı dikkate alınmalıdır. Özellikle dik şevlerde temel derinliğini belirlemek için şev duraylılığı analizleri yapılması gerekmektedir.

## KAYNAKÇA

ASTM Standard D1586, (2011). " Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils" ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011, DOI: 10.1520/D1586\_D1586M-18, [www.astm.org](http://www.astm.org).

ASTM Standard D2487, (2020). "Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)" ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011, DOI: 10.1520/D2487-17E01, [www.astm.org](http://www.astm.org).

ASTM Standard D2573 - 08, (1994). " Standard Test Method for Field Vane Shear Test in Cohesive Soil " ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011, DOI: 10.1520/D2573-08-03, [www.astm.org](http://www.astm.org).

ASTM Standard D2850 – 03a, (2007). " Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils " ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011, DOI: 10.1520/D2850-03A, [www.astm.org](http://www.astm.org).

ASTM Standard D4318-00, (2018), “ Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils” ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003, DOI: 10.1520/D4318-00, [www.astm.org](http://www.astm.org).

ASTM International. D4767-11 Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils. West Conshohocken, PA, (2011). doi: <https://doi.org/10.1520/D4767-11>

ASTM International. D7181-20 Standard Test Method for Consolidated Drained Triaxial Compression Test for Soils. West Conshohocken, PA, (2020). doi: <https://doi.org/10.1520/D7181-20>

ASTM Standard E11, (2020), " Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves" ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011, DOI: 10.1520/E0011-20, [www.astm.org](http://www.astm.org).

- Abd El Aal, A. K., & Rouaiguia, A. (2019). Determination of the Geotechnical Parameters of Soils Behavior for Safe Future Urban Development, Najran Area, Saudi Arabia: Implications for Settlements Mitigation. *Geotechnical and Geological Engineering*, 38(1), 695-712. <https://doi.org/10.1007/s10706-019-01058-x>
- Baguelin, F., JF, J., & DH, S. (1978). *The pressuremeter and foundation engineering*.
- Barrios, G., Uemura, K., Kikkawa, N., Itoh, K., Larkin, T., Orense, R., & Chouw, N. (2021). Dynamic response of stand-alone and adjacent footing on saturated sand [Article]. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 143, 18, Article 106584. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2021.106584>
- Borghesi, A., Ghayoomi, M., & Turner, M. (2020). Effects of Groundwater Level on Seismic Response of Soil–Foundation Systems. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 146(10), 04020110.
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation Analysis and Design*.
- Chang, W.-Y., Lai, J.-S., & Yen, C.-L. (2004). Evolution of scour depth at circular bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 130(9), 905-913.
- Chenari, R. J., & Mohafezatkar, A. (2010). Adjacent Building Induced Settlement Reduction in Residential Constructions. *Forensic Approach to Analysis of Geohazard Problems*.
- Consoli, N. C., Schnaid, F., & Milititsky, J. (1998). Interpretation of plate load tests on residual soil site [Article]. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 124(9), 857-867. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1090-0241\(1998\)124:9\(857\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1090-0241(1998)124:9(857))
- Das, B. M. (2021). *Principles of geotechnical engineering*. Cengage learning.
- Das, G., Bharat, A., & Tadikonda, B. (2016). Shrinkage behaviour of clay soils: an experimental study. International Conference on Soil and Environment ICSE2016, Bangalore,
- Duncan, J. M., Wright, S. G., & Brandon, T. L. (2014). *Soil strength and slope stability*. John Wiley & Sons.
- Durkee, D. B. (2000). *Active zone depth and edge moisture variation distance in expansive soils*. Colorado State University.



- Ertan, B., Özocak, A., & Sedat, S. (2014). Koni Penetrasyon Deneyi ile Zeminlerin Karakterizasyonu. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 22-33.
- Garmjani, S. G., Moghaddam, A. K., Maleki, P., & Jafarian, Y. (2021). Effect of non-liquefiable layer on bearing capacity and settlement of shallow foundations [Article]. *International Journal of Physical Modelling in Geotechnics*, 21(2), 72-84. <https://doi.org/10.1680/jphmg.19.00016>
- Hokmabadi, A. S., & Fatahi, B. (2016). Influence of Foundation Type on Seismic Performance of Buildings Considering Soil-Structure Interaction [Article]. *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, 16(8), 29, Article 1550043. <https://doi.org/10.1142/s0219455415500431>
- Jayamohan, J., Aishwarya, S., Soorya, S., & Balan, K. (2020). Additional Settlement of Footing Due to Loads Acting on Adjacent Foundation. In *Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development* (pp. 1143-1149). Springer.
- Knappett, J. (2012). *Craig's soil mechanics* (Vol. 8). spon press London.
- Lazcano, D. R. P., Aires, R. G., & Nieto, H. P. (2020). Bearing capacity of shallow foundation under cyclic load on cohesive soil [Article]. *Computers and Geotechnics*, 123, 16, Article 103556. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2020.103556>
- Lucian, C. (2006). *Geotechnical aspects of buildings on expansive soils in Kibaha, Tanzania: preliminary study KTH*].
- Lukić, D. (2018). Ugao Unutrašnjeg Trenja Tla I Stena. *Zbornik radova Građevinskog fakulteta*, 34, 349-357. <https://doi.org/10.14415/konferencijaGFS2018.034>
- Lunne, T., Powell, J. J., & Robertson, P. K. (2002). *Cone penetration testing in geotechnical practice*. CRC Press.
- Ma, Y., & Deng, N. (2014). Deep foundations. *Substructure Design*, 239.
- Magar, J., Kudtarkar, A., Pachpohe, J., & Nagargoje, P. (2020). Study and Analysis of Types of Foundation and Design Construction. *IRJET*, 7, 3301-3307.
- Miedema, S. A. (2014). *The Delft sand, clay and rock cutting model*. IOS Press.

- Moffitt, C. J. (2019). Footing Soil Pressure from Biaxial Loading [Article]. *Civil Engineering Journal-Tehran*, 5(11), 2423-2440. <https://doi.org/10.28991/cej-2019-03091421>
- O'Brien, A. S. (2012). Chapter 52 foundation types and conceptual design principles. In *ICE manual of geotechnical engineering* (pp. 733-764). Thomas Telford Ltd.
- Özüdoğru, K. G., Tan, O., & Aksoy, İ. H. (2001). *Çözümlü problemlerle zemin mekaniği*. Birsen Yayınevi.
- Park, C. S., & Jung, K. M. (2020). A Study on the Behavior Characteristics of Large Deep Foundations [Article]. *Journal of the Korean Geosynthetic Society*, 19(1), 83-91. <https://doi.org/10.12814/jkgss.2020.19.1.083>
- Peck, R. B., Hanson, W. E., & Thornburn, T. H. (1953). *Foundation engineering* (Vol. 75). LWW.
- Poulos, H. G., & Davis, E. H. (1980). *Pile foundation analysis and design*.
- Rajapakse, R., & Rajapakse, R. (2008). *Selection of Foundation Type*. Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/b978-075068764-5.50014-3>
- Reddi, L. N., Jain, A. K., & Yun, H. B. (2012). Soil materials for earth construction: properties, classification and suitability testing. In M. R. Hall, R. Lindsay, & M. Krayenhoff (Eds.), *Modern Earth Buildings: Materials, Engineering, Construction and Applications* (pp. 155-171). Woodhead Publ Ltd. <Go to ISI>://WOS:000315529500007
- Sridharan, A., & Gurtug, Y. (2005). Compressibility characteristics of soils. *Geotechnical & Geological Engineering*, 23(5), 615-634.
- Uzuner, B. A. (2007). *Çözümlü problemlerle temel zemin mekaniği*. İnşaat Mühendisleri Odası Trabzon Şubesi.
- Vanapalli, S., & Fredlund, D. (1997). Interpretation of undrained shear strength of unsaturated soils in terms of stress state variables. 3rd Brazilian Symposium on Unsaturated Soils, April,
- Widianto, Heilenman, G., Owen, J., & Fente, J. (2009). Foundation Design for Frost Heave. In *Cold Regions Engineering 2009: Cold Regions Impacts on Research, Design, and Construction* (pp. 599-608).

- Wu, Y. X., Gao, Y. F., Zhang, L. M., & Yang, J. (2020). How distribution characteristics of a soil property affect probabilistic foundation settlement - from the aspect of the first four statistical moments [Article]. *Canadian Geotechnical Journal*, 57(4), 595-607. <https://doi.org/10.1139/cgj-2019-0089>
- Zhou, H.-z., Zheng, G., Yu, X.-x., Zhang, T.-q., & Liu, J.-j. (2018). Bearing capacity and failure mechanism of ground improved by deep mixed columns. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A*, 19(4), 266-276. <https://doi.org/10.1631/jzus.A1700517>



