

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DERİN TEMEL OTURMA DAVRANIŞINDA ETKİN PARAMETRELERİN
BELİRLENMESİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATİCE GÖRKEN AŞIK

ŞUBAT 2019

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DERİN TEMEL OTURMA DAVRANIŞINDA ETKİN PARAMETRELERİN
BELİRLENMESİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hatice GÖRKEN AŞIK

DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL

ZONGULDAK
Şubat 2019

KABUL:

Hatice GÖRKEN AŞIK tarafından hazırlanan “Derin Temel Oturma Davranışında Etkin Parametrelerin Belirlenmesi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 18/02/2019

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk ÇAPAR

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Fatih GÖKTEPE

Bartın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

....../....../2019

Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Hatice GÖRKEN AŞIK



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DERİN TEMEL OTURMA DAVRANIŞINDA ETKİN PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ

Hatice GÖRKEN AŞIK

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL

Şubat 2019, 47 sayfa

Yapı elemanlarından gelen yükleri zemine güvenle nakleden ve zeminden gelen etkileri karşılayarak yapıyı koruyan elemanlara temel denir. Temeller bir yandan yapısal bütünlüğü korurken bir yandan üzerine inşa edildikleri zeminleri aşırı gerilmelere zorlamamalıdır. Bir temel göçmeden üzerine gelen yükleri emniyetli bir şekilde taşıyabilmelidir. Bunun için de temeller tasarlanırken göz önüne alınması gereken birçok önemli parametre vardır. Bunlardan ikisi taşıma gücü ve temelde zamana bağlı olarak meydana gelen oturma değeridir. Bazı durumlarda temel taşıma gücü yetersiz kalır ve yapı yüklerinin daha derinlerdeki sağlam zeminlere iletilmesi gerekir. Bu durumda derin temeller diye adlandırılan kazıklı temeller inşa edilerek kazıklar zeminde sağlam tabakalara ulaşılır.

Tez kapsamında, kazıklı temellerde meydana gelen oturma davranışına, zemin parametrelerinin statik ve dinamik durumda etkisi araştırılmıştır.

ÖZET (devam ediyor)

Çalışma kapsamında incelenen geoteknik rapordan alınan sondaj verilerine bağlı Zemin Mekaniği deney parametreleri kullanılarak oluşturulan sonlu eleman modelinde, 17 m ve 19 m boyutlarındaki yayılı temelde meydana gelen oturmalar analiz edilmiştir. Yayılı temel altında toplamda 54.80 cm oturma meydana gelmiş ve oturma değerini azaltmak amacıyla yayılı temel altına 60 cm çaplı 1.7 m x 1.7 m aralıkla kare yerleşim planına göre, shaft uzunluğu 17 m olacak şekilde delme kazıklar yapılmıştır. Statik durumda, kazıklı yayılı temel altında oturma değerleri 1.3 cm'ye kadar azaltılmıştır.

Dinamik durumda, Mw 5.4 şiddetindeki, 28.02.1990 tarihinde olan Upland deprem verileri kullanılarak 10 saniye boyunca ayrıca yapıya etkitilerek, Delme kazıkların oturma davranışının dinamik durumda da incelenmiştir. Statik ve dinamik durumda Zemin parametrelerinden Elastisite Modülü (E), Kohezyon (c), ve Sürtünme Açısı (ϕ), değerleri %30, %60 ve %90 oranında değiştirilerek, temelde oturma davranışında etkisi araştırılmıştır. Yapılan analizlerde statik ve dinamik durumda, yayılı temel altına delme kazıkların yapılması önerilmektedir. Ayrıca oturma davranışına etki eden en önemli parametrenin, Elastisite modülü olduğu analizlerde belirlenmiştir.

PLAXIS programında modellenen kazıklı temel sisteminde son olarak hassaslık analizi gerçekleştirilmiştir. Karmaşık mühendislik problemlerinde hangi girdi parametrelerinin model üzerinde daha önemli rol oynadığını bulmak amacıyla geliştirilen hassaslık analizinde parametre değişiminin oturmaya etkisine bakılmıştır. Analiz sonucunda görülmüştür ki değişime en hassas olan zemin tabakası siltli kil olup, en etkili parametreye de Elastisite modülü olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Derin Temeller, Elastisite Modülü, Sonlu Elemanlar Metodu, Delme Kazıklar.

Bilim Kodu: 624.01.00

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

DETERMINATION OF EFFECTIVE PARAMETERS IN DEEP FOUNDATION SETTLEMENT

Hatice GÖRKEN ASIK

**Zonguldak Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Thesis Advisor: Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL

February 2019, 47 pages

The elements that transport the loads from the building elements to the ground safely and protect the structure by meeting the effects coming from the ground are called foundations. The foundations must maintain structural integrity and should not force the ground on which they are built to be over-stressed. The foundations should be able to carry loads safely upon migration. There are many important parameters to consider when designing the foundations. Two of them are the bearing power and basically the time-dependent sitting value. In some cases, the basic bearing force is insufficient and the building loads must be transmitted to the deeper soils. In this case, pile foundations are constructed and solid layers are reached on the ground.

In this thesis, the effects of the ground parameters on the static and dynamic conditions was investigated.

ABSTRACT (continued)

In the finite element model, which was formed by using the soil mechanics test parameters which are connected to the drilling data taken from the geotechnical report examined within the scope of the study, the settlements with 17 m and 19 m dimensions were analysed. A total of 54.80 cm settlement was encountered under the spreading foundation and 60 cm diameter drilling pile under the spreading foundation in order to decrease the sitting value was applied according to the square layout plan with a spacing of 1.7 m x 1.7 m and the shaft length was 17 m. In the static case, the seating values are reduced to 1.3 cm below the pile foundation.

In the dynamic case, the structure was affected for 10 seconds using Upland earthquake data of 28.02.1990, (Mw 5.4). In this study where the seating behaviour of the drilling piles were examined, the Elasticity Module (E), Cohesion (c), and Friction Angle (ϕ) values of the ground parameters were changed by 30%, 60% and 90%. In the analysis, it is recommended to make drilling piles under the static foundation in static and dynamic condition. In addition, the most important parameter affecting settlement behaviour was determined as the Elasticity module.

Lastly, the sensitivity analysis was performed in the pile foundation system modeled in PLAXIS program. Sensitivity analysis has been developed to find out which input parameters play more important role in complex engineering problems. In the sensitivity analysis, the effect of parameter change on sitting was investigated. As a result of the analysis, it was seen that the most sensitive ground layer was silty clay and the most effective parameter was Elasticity module.

Keywords: Deep Foundations, Modulus Of Elasticity, Finite Element Method, Bored Piles.

Science Code: 624.01.00.

TEŞEKKÜR

Çalışmamın başından itibaren iki yıl boyunca, bana her türlü konuda yardımcı olan hiçbir zaman bilgisini ve yardımını esirgemeyen, her türlü desteğini gördüğüm, öğrencisi olmaktan her zaman gurur ve mutluluk duyduğum değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL'e teşekkür ederim.

Çalışmam süresince desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve sabırla beni yönlendirip hiçbir sorumu yanıtsız bırakmayan İnş. Yük. Müh. Hüseyin MÜNGAN'a teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen babam Ramazan GÖRKEN, annem Bediha GÖRKEN, kardeşim Halit GÖRKEN ve tüm zorlukları benimle göğüsleyen eşim Yakup Can AŞIK'a teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 Giriş.....	1
BÖLÜM 2 KAZIKLI RADYE TEMELLER ÜZERİNE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR.....	3
2.1 KAZIKLI RADYE TEMELLER ÜZERİNDEKİ MODEL ÇALIŞMALARI.....	4
BÖLÜM 3 DELME KAZIKLAR VE KAZIKLI RADYE TEMELLER	7
3.1 GENEL	7
3.1 KAZIKLI RADYE TEMELLERİN KULLANIM ALANLARI	8
3.2 KAZIKLARDA GRUP ETKİSİ	9
3.3 KAZIKLARDA YANAL YÜKLEME	10
3.4 KAZIKLARDA OTURMA	10
3.4.1 Kazık Grup Oturması.....	11
3.4.1.1 Analiz Yöntemleri.....	11
3.4.1.2 Diğer Basit Hesap Yöntemleri	14

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

BÖLÜM 4 SONLU ELEMENLAR YÖNTEMİ VE PLAXIS PROGRAMI.....	19
4.1 SONLU ELEMENLAR YÖNTEMİ	19
4.2 PLAXİS V9 DİNAMİK MODÜL.....	21
BÖLÜM 5 MODELLEME VE ANALİZLER.....	25
5.1 MATERYAL VE METOT.....	25
5.2 MALZEME ÖZELLİKLERİ	26
5.3 HESAP AŞAMASI.....	28
5.3.1 Kazıklı radye temelin iki boyutlu modellenmesi	29
5.4 KAZIKLI RADYE TEMELİN İKİ BOYUTLU ANALİZLERİ	29
5.4.1 Sade Durum	29
5.4.2 Elastisite Modülü Arttırımı (E).....	31
5.4.3 Kohezyon Arttırımı (c)	32
5.4.4 Sürtünme Açısı Arttırımı (ϕ).....	34
5.5 HASSASLIK ANALİZİ	36
BÖLÜM 6 SONUÇLAR.....	41
KAYNAKLAR.....	43
ÖZGEÇMİŞ	47

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 Delme kazık yapımı.	7
Şekil 3.2 Kazıklı radye temel katsayısı ile kazıklı radyenin oturması / radyenin oturması arasındaki bağıntıya bir örnek	9
Şekil 3.3 Yüzeysel temel ve kazık gruplarının altında meydana gelen gerilme dağılımı	11
Şekil 3.4 Oturma oranı yönteminde e sayısı hesabı için grafikler	15
Şekil 5.1 Zemin tabakaları ve SPT-N sayıları.....	26
Şekil 5.2 Sonlu elemanlar yöntemiyle model.....	28
Şekil 5.3 Toplam yerdeğiştirme analiz sonuçları.	30
Şekil 5.4 Elastisite modülü oturma sonuçları.	31
Şekil 5.5 Elastisite modülü dinamik oturma sonuçları.....	32
Şekil 5.6 Kohezyon oturma sonuçları.	33
Şekil 5.7 Kohezyon dinamik oturma sonuçları.	34
Şekil 5.8 Sürtünme açısı oturma sonuçları.....	35
Şekil 5.9 Sürtünme açısı dinamik oturma sonuçları.....	36
Şekil 5.10 Hassaslık analizi ve parametre değişimi analizi için değerler.	38
Şekil 5.11 Hassaslık analizi ve parametre değişimi analiz sonuçları.....	39



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5.1 Zemin parametreleri	27
Çizelge 5.2 Delme kazık parametreleri.	28





SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

M_w	: Moment büyüklüğü
E	: Modülü elastisite
c	: Kohezyon
ϕ	: Kazık ile zemin arasındaki sürtünme açısı
α_{kr}	: Kazıklı radye temel katsayısı
L	: Kazık uzunluğu
d	: Kazık çapı
R_s	: Oturma oranı
B_r	: Radye genişliği
k	: Tekil kazığın rijitliği
k_k	: Kazık grubunun rijitliği
n_t	: Toplam kazık sayısı
η	: Kazık grubu etkinlik oranı
e	: Oturma oranı sayısı
k_{kr}	: Kazıklı radye temelin rijitliği
k_r	: Radye temelin rijitliği
P_k	: Kazıklı radye temelde kazık grubunun taşıdığı yük
P_{kr}	: Kazıklı radye temelin taşıdığı yük
P_r	: Kazıklı radye temelde radyenin taşıdığı yük
α	: Kazıklı radye temelde etkileşim katsayısı
r	: Kazık yarıçapı
r_b	: Kazık başlık yarıçapı
r_m	: Maksimum etki yarıçapı
ζ	: Kazık etki yarıçapı oranı
ρ	: Zeminin birim hacim ağırlığı
ρ_{sat}	: Zeminin doymun birim hacim ağırlığı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

E_u	: Drenajsız elastisite (young) modülü
c_u	: Drenajsız kayma dayanımı
c'	: Kohezyon
ν	: Poisson oranı;
ν_u	: Drenajsız Poisson oranı
k	: Permeabilite m/gün
f_s	: Sürtünme Direnci
Q_g	: Uç Direnci
B	: Temel genişliği
η_{SR}	: Hassaslık Oranı
$f(x)$	: Değiştirilmiş değere bağlı fonksiyondan elde edilen değerler
$f(x_{L,R})$	: Referans değere bağlı fonksiyondan elde edilen değerler
x	: Hassaslığı irdelenecek olan parametresinin referans değeri
$x_{L,R}$	: Değiştirilmiş parametre
$\max x_R$	: Seçilen maksimum parametre değeri
$\min x_R$	: Seçilen minimum parametre değeri
$\Sigma \eta_{SS,i}$	: Her bir değişkenin toplam hassaslık sayısı

KISALTMALAR

ISSMGE	: International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering
TC18	: Technical Committee 18 (Pile Foundations)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Yapı temellerinin, üst yapıdan gelecek olan statik ve dinamik yükleri güvenli bir şekilde zemine iletmesi gerekir. Bunun için temellerin göçmeye karşı yeterli güvenliğe sahip olması yani taşıma gücü ve oturma şartlarını sağlaması gerekir. Taşıma gücü şartı sağlanamadığı takdirde temelin göçmesi ve bunun sonucunda da üst yapının yıkılması riski ortaya çıkacaktır. Taşıma gücünün yetersiz olduğu durumlarda ve aşırı oturma görüldüğü zemin ortamlarında, öncelikle bazı zemin iyileştirme yöntemleri önerilmektedir. Fakat bazı durumlarda bu zemin iyileştirme yöntemleri de yetersiz kalır. Bu gibi durumlarda son çare olarak kazıklı temel sistemler önerilmektedir.

Yapı yüklerinin sığ temeller ile zemin tarafından taşınamaması durumunda, yapı yükleri zeminin daha derinlerdeki tabakalarına derin temeller aracılığıyla aktarılır. Derin temellerin de başlıca türü, kazıklı temellerdir (Uzuner 2000). Kazıklı temeller kazıkların bir araya gelmesi ve yapı temelini bu kazıklar üzerine oturması ile oluşturulan temellerdir. Kazıklı temellerde birden çok sayıda kazık bir araya gelerek kazık grubunu oluşturur. Geoteknik mühendisliğinde; zeminin taşıma gücünün artırılmasın, köprü ayakları, şevlerin stabilitesi, liman yapıları, deniz yapıları gibi birçok alanda kazıklar kullanılır.

Kazık imalatı yüksek güce sahip makinalar ile hızlı ve kaliteli bir şekilde yapılabildiği için kazıklı derin temel uygulaması yaygınlaşmıştır. Bunun dışında sağlam zemin tabakasının derinde olduğu durumlarda bile kazıkların sağlam tabakaya oturmalarına gerek kalmadan yüksek yükler taşıyabilmelerine olanak vermeleri de kazıklı temellerin yaygın olarak kullanılmasında etkilidir.

Bazı durumlarda yüzeysel temel, taşıma gücü bakımından yeterlidir ancak oturma değerleri izin verilen değerleri aşabilir. Bu gibi durumlar söz konusu olduğunda, yüzeysel temelin altına imal edilen kazıklar, oturmaya azaltıcı eleman olarak kullanılmaktadır (Broms 1976;

Burland vd. 1977). Bu sistemlere kazıklı radye temeller denir. Kazıklı radye temeller kazıklı temellere göre daha ekonomiktir. Bu çalışmada kazıklı radye temel kullanılmıştır. Bu sistemde radyenin zemin ile direkt temas halinde olduğu durumlarda, yük kazıklar ve radye arasında paylaşarak zemine iletilir.

Bu çalışmada, delme kazıklar modellenerek, temel altında, zemin parametre değişkenlerine bağlı olarak, oturma etkisi incelenmiştir. Tasarım sonlu elemanlar programı olan PLAXIS (2D) 2016 yazılımıyla yapılarak oturma davranışına etki eden zemin parametresinin tayini sonuçlarda gösterilmiştir.

Giriş bölümünde, tez çalışmasının konusundan genel hatlarıyla bahsedilmiş ve çalışmanın içeriği açıklanmıştır.

İkinci bölümde, kazıklı radye temeller üzerine yapılmış çalışmalar hakkında literatür araştırması yapılarak sunulmuştur.

Üçüncü bölümde, delme kazıklar ve kazıklı radye temeller hakkında genel bilgi verilmiş ve kazıklarda oturma ile oturma hesapları ve analizlerinden bahsedilmiştir. Sonunda da önerilen hesap yöntemi sunulmuştur.

Dördüncü bölümde, temel davranışının incelenmesinde kullanılan sonlu elemanlar yöntemi ve analiz sonuçlarının irdelenmesinde yararlanılan Plaxis 2D bilgisayar yazılımı tanıtılmıştır.

Beşinci bölümde, çalışmada modellenen sistem, kullanılan zemin değerleri ve malzemelerin özellikleri ile değerleri üzerinde durulmuştur. Daha sonra kazıklı radye temellerin davranışını incelemek amacıyla yapılan statik ve dinamik analizlerin Plaxis 2D 2016 yazılımıyla yapılan çözümlerin sonuçları verilmiştir. Aynı zamanda bu bölümde kazıklı radye temeller üzerinde yapılan hassaslık analizi tanıtılmış ve analiz sonuçları sunulmuştur.

Altıncı bölümde, tez çalışması üzerine genel sonuçları içermektedir.

BÖLÜM 2

KAZIKLI RADYE TEMELLER ÜZERİNE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Temeller, üst yapıdan gelen yükleri taşıyıcı zemin tabakalarına ileten yapı elemanlarıdır. Bu iletim esnasında da temellerin zeminin taşıyabileceği gerilmeleri ve izin verilen oturmaları aşmaması gerekir. Temeller yüzeysel temel veya derin temel olarak iki gruba ayrılırlar. Temel zemininin zayıf olduğu ve taşıma gücünün aşıldığı durumlarda derin temel sistemi tercih edilir.

Genel olarak tercih edilen yöntemlerde kazıklı temel hesabı, üst yapıdan zemine aktarılan yükün tamamının kazıklar tarafından taşındığı varsayılarak yapılmaktadır. Fakat radye ile zeminin doğrudan temas halinde olduğu durumlarda yük, kazıklar ve radye tarafından taşınarak zemine iletilir. Bu durum temel tasarımlarında göz önüne alındığında kazık sayısı azalır ve böylece ekonomik olarak tasarruf sağlanmış olur. Yüzeysel temelin taşıma gücünün yeterli olduğu fakat oturmaların izin verilen değerleri aştığı durumlarda, kazıklar temel altında 'oturmayı azaltıcı eleman' olarak kullanılırlar (Broms 1976, Burland vd. 1977).

Kazıklı radye sistemlerin tasarımında birçok farklı metot olduğu halde uzmanlar tarafından onaylanmış bir yöntem henüz bulunmamaktadır. Fakat günümüzde uygulanan yöntemlerle tasarlanan sistemler ile oldukça başarılı sonuçlar elde edilmektedir. ISSMGE TC18 tarafından sunulan raporda literatürde bulunan çalışmalardan 24 adet örnek secilmiş ve yayınlanmıştır (O'Neill vd. 2001). Örneklerde projelerin ayrıntılarına yer verilmemiştir. Bunlara örnek olarak İngiltere'deki çalışmaların bir kısmından bahseden Cooke (1986), Almanya'daki vakalara değinen El-Mosallamy (2002), Franke vd. (2000) sayılabilir.

Mandolini vd. (2005), kazıklı radye tasarımında, "kullanım için hazır" şeklinde ifade ettikleri noktaları aşağıdaki gibi sıralamışlardır:

1. Kazık sayısını arttırmak çoğu zaman faydalıdır ancak kullanılacak kazık sayısının bir üst limiti vardır. Bu üst limit aşıldığında eklenen diğer kazıkların sisteme önemli bir katkısı olmaz.
2. Toplam oturmayı azaltmak amacıyla radye genişliğinden daha uzun kazıkları, radye alanının tamamına düzenli bir yerleşim planı ile yaymak en uygun çözümdür.
3. Radye kalınlığını arttırmak veya radye alanına düzgün yayılı olarak dağıtılmış çok sayıda kazık kullanmak yerine farklı oturmaları azaltmak için ihtiyaç duyulan bölgeye az sayıda kazık yerleştirmek daha iyi sonuç verir. Kazıkların yerleşiminde en uygun bölge yükleme şartlarına bağlı olarak belirlenir. Düzgün yayılı yük halinde, kazıkların radye sisteminin merkezine yerleştirilmeleri en doğru çözümdür (Viggiani 2001, Prakoso ve Kulhawy 2001, Horikoshi ve Randolph 1998). Kazıkların uzunluğu arttıkça darklı oturmalarda oluşacak azalma da o kadar fazla olur.
4. Radyenin kalınlığı, eğilme momentlerini ve farklı oturmaları etkilemektedir, ancak radye ile kazıklar arasındaki toplam oturma ve yük dağılımı üzerinde etkisi çok azdır.

2.1 KAZIKLI RADYE TEMELLER ÜZERİNDEKİ MODEL ÇALIŞMALARI

Gerçek model veya örnek model yapımı maliyetli olduğu için genellikle tercih edilmez. Santrifuj deneyi modellemede zaman ve boyut aşılmasında etkilidir ancak kullanımı ve kurulumu maliyetlidir. Bu yüzden sistem üzerinde fiziksel çalışma yapmak için tasarım yöntemleri ve sayısal analiz kadar örnek yoktur.

Laboratuvar (1g) şartlarında yapılmış model deneyleri: Whitaker (1961), laboratuvar şartları altında yaptığı çalışmalarında rijit kazık başlığının kohezyonlu zeminle temas halinde olduğu kazıklı radye sistem ve başlığın olmadığı yani zeminle temas halinde olmadığı kazıklı temel sistem olmak üzere iki farklı sistemi incelemiştir. Sonuç olarak kazıklı radye temellerin taşıma gücünün daha yüksek olduğunu belirtmiştir.

Cooke (1986), bu deneylerden elde edilen sonuçları yeni deneylerle karşılaştırmıştır. Whitaker (1961)'ın sonuçlarını doğrulamış ve aynı zamanda da kazıkların oturmaya olan etkisini incelemiştir. Oturmaları azaltmak için kazıkların sayısının arttırmanın, 4 kazık çapından daha küçük kazık aralığı kullanmanın sisteme önemli bir yarar sağlamadığını ifade etmiştir. Kazık boyu radye genişliğini aştıkça oturmadaki azalma da artmaktadır.

Santrifuj sistemi ile yapılan model çalışmaları: Bu modelde önce sistemdeki kazık davranışı kontrol edilmiştir. Ko vd. (1984)'de gerçek boyutları yansıtan prototiplerde iki ayrı yükleme deneyini santrifuj modelini farklı ivme değerleri kullanarak test etmişlerdir. Elde edilen verileri sistemin davranışını incelemeye kullanmışlardır.

Thaher ve Jessberger (1991a, 1991b) 150g ivme değeri kullanarak 4 ayrı grupta deneyler yapmıştır. Deneylerinde kazıklı radye temellerin yük-oturma davranışlarının dışında yük dağılımını da incelemişlerdir. Çalışmalara bakarak kazık aralığı/kazık çapı oranı s/D kazıklı radye temellerde davranışa etki eden en önemli etken olduğu söylenebilmektedir

Türkiye’de kazıklı radye temeller üzerine lisansüstü çalışmalar:

Türkiye’de kazıklı radye temeller hakkında çok sayıda tez çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalarda genellikle sonlu elemanlar yöntemi kullanılmış ve kazıklı radye temellerin davranışlarına bakılmıştır (Gök 1998, Karaşahin 1999, Sağlam 2003, Sert 2003, Özdemir 2006, Gök 2007, Türkmen 2008, Öztürk 2008, Kaltakçı 2009, Yalçın 2010, Demirci 2012).

Gök (1998) yüksek lisans tezinde, fotoelastik laboratuvar deneyleri yaparak radye – zemin – kazık arasındaki etkileşimi incelemiş, radye ve kazıklar arasında bulunan yük dağılımı ve oturma davranışı hakkında çalışmıştır. Fotoelastik deneylerden elde ettiği sonuçları bilgisayarda analiz programı ile karşılaştırma yapmıştır.

Karaşahin (1999) yüksek lisans tezinde, arazi deneyi ve literatur taraması yapmış ve çalışmalardan elde ettiği sonuçlara bakarak kazık-radye etkileşimi ve radye ile kazıklar arasında bulunan yük paylaşımını incelemiştir.

Sağlam (2003) yüksek lisans tezinde, kazık gruplarının oturma analizlerinde elle çözüm yöntemlerini araştırmıştır. Oturma oranı, eşdeğer radye, eşdeğer ayak yöntemlerini incelemiş ve farklı durumlar için hangi yöntemin daha uygun olduğunu araştırmıştır.

Sert (2003) doktora tezinde, sonlu eleman yazılımı ile üç boyutlu olarak kazıklı radye temel modelleri üzerinde çözümlemeler yapmıştır. Belirlenen zemin kesitinde kazık sayısı, temel kalınlığı, kazık yerleşimi ve çapını değiştirerek kazıklı radye temeller üzerinde parametrik

alışmalar üzerinde çalışmıştır. Bulunan sayısal değere bakarak izin verilen oturma değereğini sağlayan en uygun kazık yerleşimini tespit etmiştir.

Özdemir (2006), yüksek lisans tezinde, Plaxis programı kullanarak oluşturduğu parametrik modellerde kazık aralığı, kazık boyu, yükleme çeşidi, kazık çapı, zemin cinsi ve kazık sayısı gibi parametreleri değıştirerek radye altında meydana gelen taban basıncı değışimini üzerinde çalışmıştır.

Gök (2007) doktora tezinde, model deneyleri ve sonlu elemanlar analizlerinden yararlanarak kazıklı radye temellerin davranışını araştırmış ve başlangıç aşamasında kullanılabilecek bir hesap yöntemi sunmuştur.

Türkmen (2008) doktora tezinde, saha ve laboratuvar deneyleri yapmıştır. Bunun yanında kazıklı radye temellerin yük taşıma davranışı üzerinde çalışmıştır.

Öztürk (2008) yüksek lisans tezinde, Poulos (2000) tarafından önerilen elle hesap yöntemini sunmuş ve sonlu elemanlar programı kullanarak üç boyutlu olarak sayısal uygulama yaparak sonuçları karşılaştırmıştır.

Kaltakçı (2009) yüksek lisans tezinde, aşırı konsolide killer üzerine inşa edilmiş olan düzgün yayılı yük altındaki kazıklı radye temellerin oturma davranışlarını ve farklı kazık yerleşim planlarını incelemiştir.

Yalçın (2010) yüksek lisans tezinde, sonlu elemanlar programı ile üç boyutlu olarak radye temel, kazıklı temel ve kazıklı radye temellerin yatay ve düşey yükler altındaki davranışını araştırmış ve sunmuştur. Üst yapıdan gelen ağır yüklere bağlı olarak, diğer iki temele göre kazıklı radye temelin daha güvenli ve ekonomik bir sistem olduğunu göstermiştir.

Demirci (2012) yüksek lisans tezinde, sonlu elemanlar yazılımı kullanarak kumlu zeminlerde kayma modülü azaltmaya giderek düşey yük altında kazık davranışını incelemiştir. Analiz sonuçları çeşitli bağıntılar ve farklı bir yazılım sonuçlarıyla karşılaştırıldığında rijitlik azalımı dikkate alındığı takdirde zemin modellerinde ekonomik tasarım yapılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

BÖLÜM 3

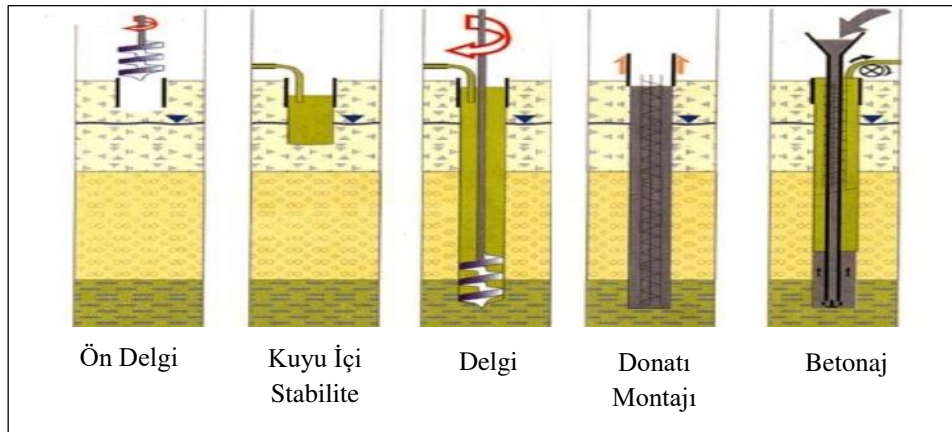
DELME KAZIKLAR VE KAZIKLI RADYE TEMELLER

3.1 GENEL

Kazıklı temelerde amaç; yapı yüklerini sağlam derin tabakalara iletebilmektir. Kazıklar imal edilen malzeme türüne göre, ahşap, çelik ve betonarme olabilirler. Kazık seçimi yapılırken, zemin türü, yükler, çaplar ve kazık boyu dikkate alınmalıdır (Toğrol 2009). Kullanım tipine göre, uç kazığı, sürtünme kazığı, çekme kazığı ve sıkıştırma kazığı olarak farklı tipte kazıklar mevcuttur. Kazıklar yapım yöntemlerine göre şu şekilde sıralanır:

- a) Delme Kazıklar
- b) Çakma Kazıklar
- c) Vidalı Kazıklar
- d) Enjeksiyonlu Kazıklar

Çalışmada, delme kazıklar kullanılmış olup, çeşitli tekniklerle açılan silindirik bir çukur veya zemine botu çakarak zeminde oluşan deliğin içerisine konulan donatıların betonlanması suretiyle elde edilirler. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi zemine açılan kuyuya donatılar yerleştirilir daha sonra beton dökülerek delme kazık imalatı tamamlanır.



Şekil 3.1 Delme kazık yapımı.

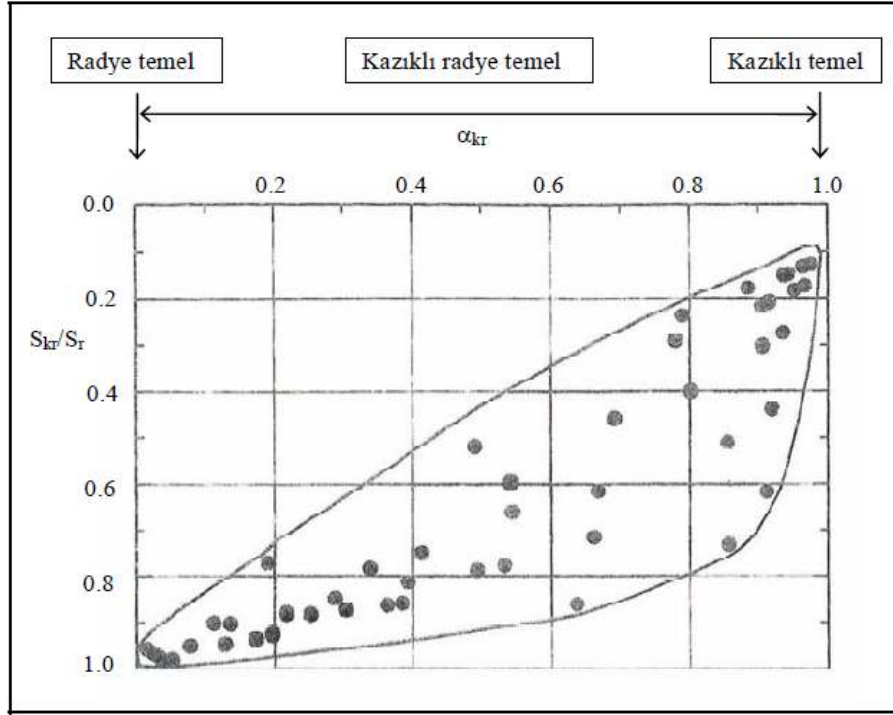
Fore kazıklar olarak da adlandırılan delme kazıklar, aşırı yüklerin olduğu ve aşırı oturmaların görüldüğü zeminlerde, kendini tutabilen ve tutamayan zeminlerde, zemin iyileştirme yöntemlerinin yeterli olmadığı durumlarda, temelin sismik hareketlerden etkilenmesini önlemek için imal yapılırlar. Deprem sırasında oluşabilecek temel hareketini azaltmanın en etkin yöntemler biri olan delme kazıklar, kolon şeklindeki donatılı beton elemanlarından oluşur. Delme kazıklar, zeminde yanal ötelenme ve buna bağlı olarak da komşu zeminde sıkışma yaratmazlar.

İmalatı basit olarak tarif etmek gerekirse ilk olarak zeminde bir sondaj çukuru açılır daha sonra bu çukura donatı yerleştirilir ve alttan başlamak sureti ile çukur betonlanır. Böylece kazık imalatı tamamlanır. İmalat sırasında kullanılan yöntem ve teknoloji, kazık çapı, kazık uzunluğu, zemin cinsi gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir. Kullanılacak yöntem ve teknolojiyi seçerken önemli bir unsur ekonomidir. Bu kazıklar ülkemizde çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır

3.1 KAZIKLI RADYE TEMELLERİN KULLANIM ALANLARI

Radye temelin taşıma gücünün yeterli olduğu bazı durumlarda oturma değerleri izin verilen aralıkları aşabilir. Bu durumlarda oturma değerlerini azaltmak için kazıklı radye temeller imal edilir. Sıkı kumlardan ve/veya sert killerden meydana gelen ve temel derinliğince gevşek ve/veya yumuşak tabakaların olmadığı zemin profilleri kazıklı radye kullanımı için uygundur (Poulos 1994). Bu gibi durumlarda, radye ihtiyaç duyulan taşıma gücünün büyük bölümünü üstlenirken kazıklar asıl taşıyıcı eleman olmaksızın oturmaları azaltmak amacıyla kullanılmaktadırlar. Diğer taraftan kazıklı radye sistemlerinin uygun olmayacağı şartlar, gevşek kumların veya yumuşak killerin yüzeye yakın seviyelerde bulunduğu, sığ derinliklerde yumuşak tabakalarının yer aldığı, konsolidasyon oturmasının görülebileceği ve dış etkiler sonucunda şişme gösterebilecek zemin profilleridir. İlk iki durum söz konusu olduğunda, radyenin taşıma gücü az olabilir, üçüncü durum söz konusu olduğunda ise aradan uzun bir süre geçtiği zaman sıkışabilir zemin tabakalarının oturmaları, radyenin sisteme katkısını azaltabilir. Konsolidasyon sonunda radye ile zemin arasında meydana gelebilecek temas kaybından dolayı radye ağırlığının kazıklara aktarılması veya ortaya çıkabilecek negatif çevre sürtünmesi nedeniyle kazıklara gelen yük artar ve sistemin oturmaları da büyür. Şişebilen zeminlerde kazık boyunca oluşan yukarı doğru zemin hareketi ve radye altında meydana gelen gerilmeler kazıklarda çekme gerilmesinin artmasına neden olur (Sinha ve Poulos 1997,

Poulos 1993). Katzenbach ve Moorman (2001)'a göre, radye altında dolgu, organik zemin veya yumuşak bir tabaka varsa kazıklı radye kullanımı uygun değildir. Ayrıca kazıklı radye temel katsayısı (kazık yükü/toplam yük) α_{kr} , 0.9'dan büyük ise genellikle bu sistemler tercih edilmez. $\alpha_{kr} = 0$ radye temeli, $\alpha_{kr}=1$ kazıklı temeli ifade etmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Kazıklı radye temel katsayısı ile kazıklı radyenin oturması / radyenin oturması arasındaki bağıntıya bir örnek (Katzenbach vd. 1998).

3.2 KAZIKLARDA GRUP ETKİSİ

Genellikle üst yapının her bir elemanı en az üç kazık grupları ile desteklenir. Münferit kazıklar yerine, kazık grupları tercih edilir. Çünkü genellikle tek bir kazık yeterli kapasiteyi tek başına sağlayamaz.

Kazıklar, düşeyde titizlikle dağıtılır. Bir bina kolonu tek bir kazık üstünde desteklendiğinde geometrik eksinlerin birçoğu çakışmayacağı için eksantirisite hem kolonda hem de kazıkta istenmeyen momentler ve sapmalar oluşturur. Eğer kolon üç veya daha fazla kazık ile desteklenirse, bu gibi eksantirisiteler önemini kaybeder. Bu nedenle kazıklar tek başına nadiren kullanılırlar. Genellikle kazık grupları kullanılacak şekilde oluşturulur.

Grup kazıkların daha güvenli olmasının bir diğer sebebi de kazıklardan biri kusurlu olduğunda dahi yapı yükünün güvenli taşıyabiliyor olmasıdır.

3.3 KAZIKLARDA YANAL YÜKLEME

Kazıklar tekil olarak çok nadir durumlarda kullanılırlar. Genellikle en az üç kazık kullanılarak kazık grupları şeklinde imal edilir. Bu sayede temele etkiyen yükler daha güvenli taşınmış olur.

Temel kazıkları, yapıdan kaynaklanan eğik statik yükler, toprak basıncı, rüzgâr, gemi çarpması, deprem gibi yanal yükleri de taşımak üzere tasarlanır. Bazen simetrik olmayan sürşarjdan kaynaklı olarak da yanal kuvvetlere maruz kalabilir. Kuvvetin düşey bileşeninin yatay bileşene göre daha büyük olduğu durumlarda, kazıklar yatay doğrultudan gelen yükleri emniyetle taşıyabilecek yatay dirence sahip olabilirler. Kazık temellerin taşıyabileceği yanal yük, kazık başlığının kazığa bağlanma şekline, kazık cinsine, zeminin özelliklerine ve durumuna bağlıdır.

3.4 KAZIKLARDA OTURMA

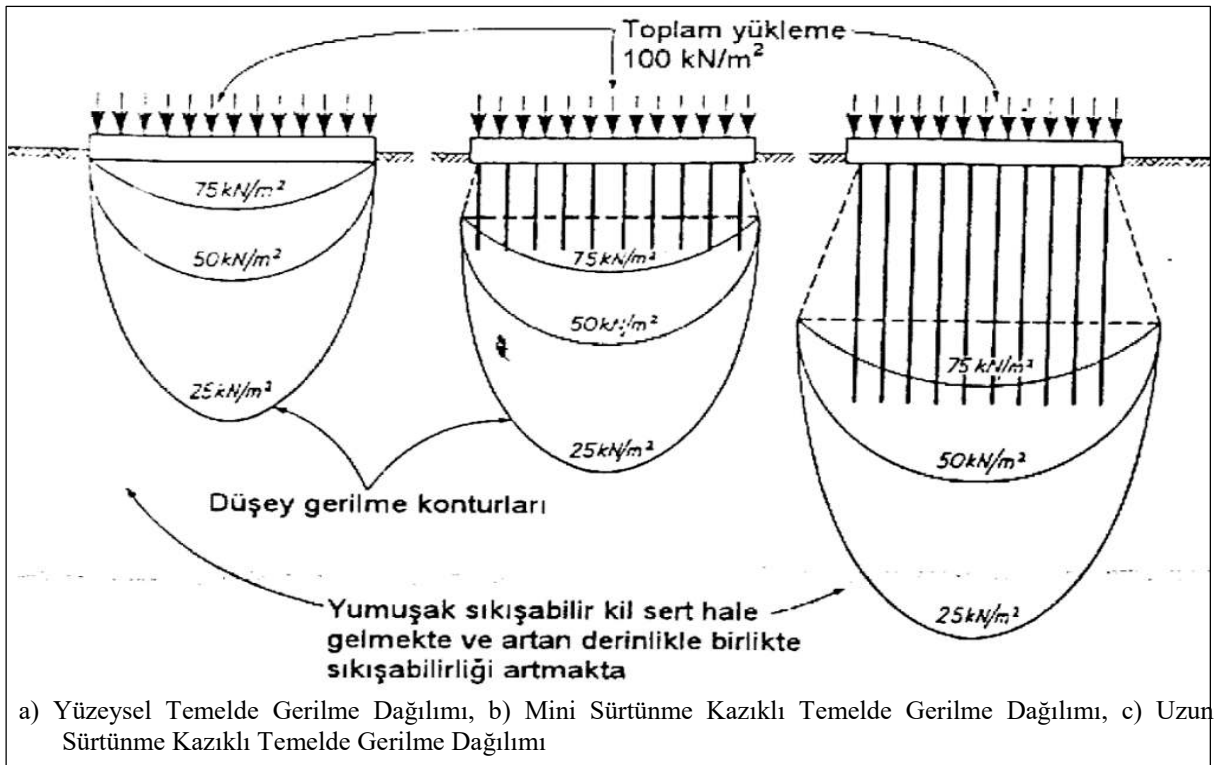
Bir temelin güvenli olabilmesi için hem göçme güvenliğini sağlamalı hem de izin verilen oturma miktarının üzerine çıkmamalıdır. Tek bir kazığın oturmasını kazık boyu, kazık çapı, zeminin elastisite modülü, zeminin poisson oranı, kazığın elastiklik modülü, L / d oranı gibi faktörler etkilemektedir.

Kazık gruplarının oturması kazık grubunun fazla sıkışabilen bir tabaka içinde bulunması, oturmaya karşı hassas olan üst yapı varlığı ve düşey yükler altında kazık grubunun yer değiştirmesinin üst yapı statik hesabında gerekmesi durumlarında hesaplanır. Kazıklı temeller, çoğunlukla oturmaları sınırlamak için imal edilirler. Bununla beraber, kazık grupları, sürtünme kazıklarında, kazık grubunda kazıklar arasında bulunan zeminin sıkışması veya konsolidasyonu ve kazığın yapması gereken yer değiştirme ile oturma meydana gelebilir. Yükü uç mukavemeti ve çevre sürtünmesi ile taşıyan kazıklarda, kazık altındaki zeminin sıkışması ile meydana gelen oturma ve kazığın elastik boy kısalması gibi nedenlerden oluşan bir toplam oturmaya maruz kalır.

3.4.1 Kazık Grup Oturması

Kazık gruplarında meydana gelen oturmalar tek kazıklarda meydana gelen oturmalarından daha fazladır. Bunun nedeni kazık grubu altında kaya tabakasında ya da zeminde oluşan gerilme bölgesi tek kazıklara göre grup kazıklarda daha geniş ve derindir.

Kazıklı temellerde gerilme dağılışı yüzeysel temellere göre daha farklıdır. Yüzeysel temel altında bulunan zemin örselenmesinden dolayı aynı değerde yükleme yapıldığında kazıklı temele göre daha az oturma yapabilir. Bu durumu anlatan örnek şekiller Şekil 3.3' de verilmiştir.



Şekil 3.3 Yüzeysel temel ve kazık gruplarının altında meydana gelen gerilme dağılımı (Tomlinson 1994).

3.4.1.1 Analiz Yöntemleri

Grup kazıklarda oturmayı hesaplamak amacıyla en az yedi geniş analiz yönteminden faydalanılmaktadır (Rove 2000):

1) Grubu eşdeğer radyeye indirgeyerek çözüm yapan basitleştirilmiş yöntemler (Terzaghi ve Peck 1967, Tomlinson 1986).

2) Grubu eşdeğer bir kazığa indirgeyerek çözüm yapan basitleştirilmiş yöntemler (Poulos ve Davis 1980, Poulos 1993, Van Impe 1991).

3) Oturma oranı yöntemi. Bu yöntem genellikle yukarıda belirtilen yöntemlerden türetilir. Yöntemde ortalama yük etkisi altında olan tek bir kazığın oturması, oturma oranı ile çarpılarak çözüm gerçekleştirilir (Poulos 1979b, Fleming ve diğerleri 1985).

4) Tek kazık davranışını ve kazık-zemin-kazık etkileşimini elastik teori kullanarak hesaplayan yöntemler (Poulos 1968, Randolph ve Wroth 1979, Hirayama 1991, Polo ve Clement 1988).

5) Tek kazığın davranışını yük-transfer analizi kullanarak hesaplayan ve elastik teori kullanıldığından dolayı da kazık-zemin-kazık etkileşimine izin veren karma yöntemler.

6) Her bir kazığın ayrı elemanlara bölünerek çözüm yapıldığı yöntemler. Bu elemanlar arasındaki kazık-zemin- kazık etkileşimi elastik teori kullanılarak tam sınır eleman çözümleri yapılır (Butterfield ve Douglas 1981, Poulos ve Hewitt 1986).

7) Kazık grubunu eşdeğer düzlem şekil değiştirme ya da eksenel simetrik sisteme basitleştiren yöntemler (Ottavini 1975, Pressley ve Poulos 1986).

Farklı yöntemler arasında kıyaslama yapan bir çok yayın yapılmıştır ve bu yöntemler arasında elastik teoriye dayanan bazı yöntemlerle benzer değerlerde oturmalar bulunmuştur ; örneğin Poulos ve Randolph (1983), Chow (1986) ve Lee (1993). Poulos (1993), sondan mesnetli kazık grupları için eşdeğer radye yöntemini geliştirmiştir. Bu yöntem kazık sayısının 16 veya daha çok sayıda kazık grupları için uygun oturma değerleri vermektedir. Ancak az sayıda kazık içeren gruplar için kullanıldığında olması gerektiğinden daha fazla oturma değerleri vermektedir. Bu yöntem sürtünme kazıklardan oluşan gruplar için uygundur ve 4 kazıktan oluşan kazık grupları gibi küçük gruplar için daha uygun sonuçlar vermektedir (Rove 2000).

O'Neill ve Ha (1982), zemin parametreleri uygun seçildiği takdirde elastik ve hibrit yöntemlerin benzer sonuçlar verdiğini bulmuştur. Pressley ve Poulos (1986) ise lineer sonlu eleman analizi kullanarak buldukları yük-oturma davranışının, etkileşim katsayısı analizi çözümlemesi ile bulunan değerlerle benzer olduğunu çalışmalarında göstermişlerdir (Rove 2000). Poulos (1994a), bir kazık grubunun yük-oturma davranışını etkileyebilecek çeşitli katsayıları incelemiştir. Bu katsayılardan en önemlileri kazıkların arkasında ve çevresindeki zemin modülleridir. Özellikle kumda imal edilen kazıklarda, kazıkların yerleştirme düzeninin kazık grubunda zemin özelliklerine etkisi çok önemlidir. Grup içindeki kazığın yük-oturma davranışı tek bir kazığın davranışından farklı olabilir. Bazı faktörlerin varlığının tam olarak anlaşılmadan yapılan teorik analizlerin uygulamaları, grup oturma değerlerinin büyük hatalarla bulunmasına neden olabilir (Poulos 1968, Leonards 1972). Ancak önemli olan bu hataların güvenli tarafta kalıyor olmasıdır, yani öngörülen oturma değerleri gerçek oturma değerlerinden daha büyük çıkmaktadır. Güvenli kalan tarafın gerçek değere yakınlığı imalatın ekonomikliğini etkilemektedir (Rove 2000).

Oturma, yük altında zemin içerisindeki suyun uzaklaşması ile temelin herhangi bir noktasında oluşan yerdeğiştirmeye denir. Toplam oturma yapıya zarar verebildiği gibi altyapıda da sorunlar yaratabilir. Yapılarda en büyük hasarı ise farklı oturmalar sebep olmaktadır. Kil zeminlerdeki radye temellerde kabul edilen sınır değerler, toplam oturma ve farklı oturmalar sırasıyla 65-100 mm ve 40mm'dir (Skempton ve MacDonald 1953).

Radye temelde toplam oturmayı azaltmak için radye genişliğinden daha uzun olan kazıkları, radye alanının tamamına düzgün yayılı olacak şekilde yerleştirmek en uygun çözümdür. Oturmalar L/Br oranına bağlı olarak değişmektedir. Büyük boyutlu radyelerde ise ($Br > 15m$) bu durum uygulanabilir olmayacaktır ve kazık sayısı arttırılsa da toplam oturma çok fazla azalmayacaktır (Mandolini vd. 2005). Farklı oturmaları azaltmak için ise yükleme şartlarına göre belirlenen bölgeye az sayıda kazık yerleştirmek uygun bir çözümdür (Viggiani 2001, Yuan vd. 2001, Horikoshi ve Randolph, 1998).

Kazıklı radyenin oturmaları tekil kazığın oturmasına bağlı olarak ampirik ifadelerle hesaplanabilir (Poulos ve Davis, 1980; Clancy ve Randolph, 1993; Mandolini vd., 2005). Tekil kazığın oturması literatürde mevcut yöntemlerle veya kazık yükleme deneyi ile hesaplandıktan sonra oturma miktarı, kazık sayısı, narinlik oranı, kazık aralığı gibi değişkenlere bağlı abaklar kullanılarak elde edilen R_s grup oturma etkinliğiyle çarpılarak

bulunur (Skempton ve MacDonald 1953, Meyerhof 1969, Vesic 1969). Toplam oturmalar ile farklı oturmalar arasındaki ilişki ise ampirik bağıntılarla bulunabilir.

3.4.1.2 Diğer Basit Hesap Yöntemleri

Eşdeğer Ayak Yöntemi

Eşdeğer ayak yönteminde, kazık gruplarının blok davranışını dikkate alan bir yöntemdir ve kazık grubu eşdeğer bir ayakla temsil edilir (Poulos ve Davis 1980). Kazık grubuyla aynı çevre alanına sahip olan Le eşdeğer uzunluğunda veya aynı uzunlukta de eşdeğer çapında bir ayak olmak üzere iki eşleme kullanılabilir. Tabakalı zeminlerde eşdeğer çap eşlemesini kullanmak daha uygundur (Poulos 1993).

Oturma Oranı Yöntemi

Bir kazık grubu ve eşdeğeri bir tekil kazık aynı yüke maruz kaldığında kazık grubu, daha fazla oturur. Oturmadaki artışı ifade etmek için R_s oturma oranı hesaplanır. Bu oran kazık grubunun oturma miktarının tekil kazığın oturma miktarına oranı ile elde edilir. Butterfield ve Douglas (1981) kazık grubunda bulunan kazıklar arası etkileşimi dikkate alarak, k_k kazık grubu rijitliğini, k tekil kazık rijitliklerinin toplamının bir çarpanı olarak aşağıdaki şekilde ifade etmişlerdir (Fleming vd. 1994):

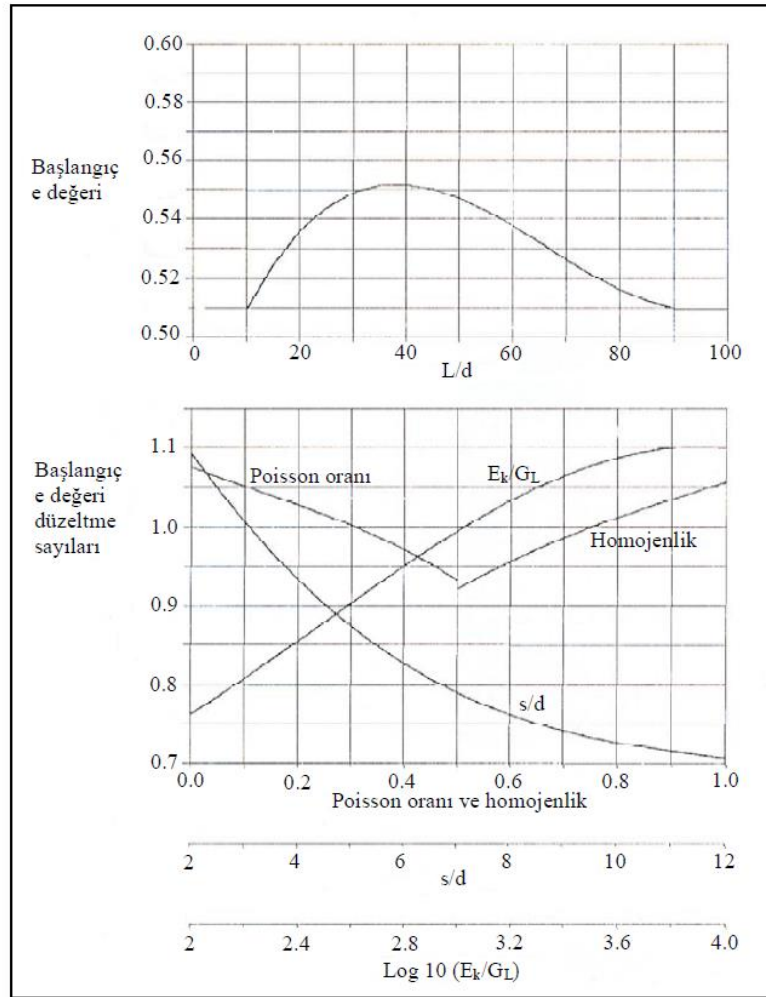
$$k_k = \eta n_t k \quad (3.1)$$

Denklemden η , oturma oranı R_s 'in tersidir ve etkinlik oranı gibi düşünülebilir. Kazıklar arası etkileşim olmadığında η bire eşit olacaktır. Kazık sayısına göre etkinlik oranı grafikleri logaritmik eksenle çizildiğinde bir doğru elde edildiğinden,

$$\eta = n_t^{-e} \quad (3.2)$$

şeklinde yazılabilir. Oturma oranı sayısı olan e kazık grubu için genellikle 0.4-0.6 arasındadır.

e oturma oranı sayısının değeri kazıkların aralık oranları, narinlik, rijitlik, ve zemin homojenliği ile poisson oranına bağlıdır. Bu değer abaklar yardımıyla bulunur (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Oturma oranı yönteminde e sayısı hesabı için grafikler (Fleming vd. 1994).

İlk olarak üstte bulunan grafikten, başlangıç değerleri olarak kabul edilen değerlerden yola çıkarak gerçek kazık narinlik oranına (L/d) göre e değeri okunur. Daha sonra aşağıdaki ikinci grafikten ise gerçek değerler için düzeltme sayıları bulunur ve ilk okunan e değeriyle çarpılır. Böylece gerçek e sayısı elde edilmiş olur.

Etkileşim Faktörleri Yöntemi

Randolph (1983), kazıklı radye temelin davranışını elde etmek için kazık başlığı ve kazıktan oluşan elamanın davranışlarını incelemiştir. Araştırmalarında etkileşim faktörlerinden faydalanmıştır. Bu yöntem sadece kazıklı radye sistemlerin doğrusal davranışı için geçerlidir.

Kazıklı radye sistemin rijitliği kazık grubu ve radyenin rijitlikleri sırayla k_{kr} , k_k ve k_r olmak üzere α etkileşim faktörüne bağlı olarak:

$$k_{kr} = \frac{k_k + (1-2a)k_r}{1-a^2\left(\frac{k_r}{k_k}\right)} \quad (3.3)$$

ifadesi ile hesaplanır.

Sistemde radye tarafından taşınan yükün oranı:

$$\frac{P_r}{P_r + P_k} = \frac{P_r}{P_{kr}} = \frac{(1-a)k_r}{k_k + (1-2a)k_r} \quad (3.4)$$

olur. Burada P_{kr} , P_k ve P_r sırasıyla kazıklı radye, kazık ve radyeye gelen yüklerdir.

α etkileşim faktörü, r yarıçapında kazık ve r_b yarıçapında başlıktan oluşan tekil sistem için:

$$\alpha = \frac{\ln(r_m/r_b)}{\ln(r_m/r)} \approx 1 - \frac{\ln(r_b/r)}{\zeta} \quad (3.5)$$

olarak hesaplanır. Burada r_m maksimum etki yarıçapı ve ζ kazık etki yarıçapı oranıdır.

Bu bağıntı birden fazla kazıktan oluşan kazıklı radye sistem için r_b her kazığa düşen radye alanının eşdeğer yarıçapı alınarak kullanılır. Grup boyutu büyüdükçe (3x3 kazıktan itibaren), etkileşim faktörü kazık aralığı, narinliği ve rijitliğinden bağımsız olarak 0.8 değerine yakınsamaktadır (Clancy ve Randolph 1993). Bu durumda (3.3) ve (3.4) bağıntıları:

$$k_{kr} = \frac{1-0.6(k_r/k_k)}{1-0.64(k_r/k_k)} k_k \quad (3.6)$$

$$\frac{P_r}{P_k + P_r} = \frac{0.2k_r}{k_k - 0.6k_r} \quad (3.7)$$

şeklini alır.

Radye ile kazıklar arasındaki yük paylaşım oranı:

$$\frac{P_r}{P_k} = \frac{0.2}{1 - 0.8(k_r/k_k)} \frac{k_r}{k_k} \quad (3.8)$$

ifadesiyle hesaplanır. Bu değer de genellikle 0.3-0.5 (kr/kk) aralığında değişir.

Özetle, ilk adımda kazık grubu ve radyenin ayrı ayrı rijitlikleri literatürde bulunan mevcut yöntemlerden herhangi biri ile hesaplanır. Kazıklı radye sistemin rijitliği ile kazık grubu ve radyenin taşıdığı yük değerleri bu değerlere ve tanımlanan etkileşim faktörüne bağlı olarak bulunur.



BÖLÜM 4

SONLU ELEMENLAR YÖNTEMİ VE PLAXIS PROGRAMI

4.1 SONLU ELEMENLAR YÖNTEMİ

Şevler, dolgular, derin temeller gibi yeraltı yapılarının stabilite analizleri geoteknik mühendisliğinde oldukça önemli disiplinlerden bazılarıdır. Bu gibi problemlerin stabilite analizleri için ihtiyaç duyulan deneysel modeller maddi sıkıntılar veya zaman problemleri yüzünden her zaman oluşturulamamaktadır. Bunun yerine basit yöntemler ya da amprik yaklaşımlar tercih edilmektedir. Ancak bu çözümlemelerde zeminler lineer elastik homojen ve izotropik kabul edildiği için bulunan sonuçlar çoğu zaman gerçeği yeterince yansıtamamaktadır. Bu yüzden daha gerçekçi değerlere ulaşmak amacıyla ve özellikle de eş zamanlı kısmi diferansiyel denklemlerin çözüme dâhil olması nedeniyle sayısal yöntemlere başvurulmaktadır. Farklı sayısal yöntem metotları bulunduğu halde bunlardan sonlu elemanlar yöntemi en çok tercih edilen yöntemlerdendir.

Bu yöntem, elle hesaplanması fazla zaman alan ya da mümkün olmayan karmaşık mühendislik problemlerine, problemin karakterine uygun bir yaklaşımla probleme çözüm arayan sayısal çözüm yöntemidir. Matematiksel ifadeler ile süreklilik gösteren problemlerin genel çözüm yöntemi şeklinde tanımlanan bu yöntem ilk kez Zienkiewicz (1977) tarafından kullanılmıştır. Yöntem, elde bulunan elemanlar üzerinde iç ve dış kuvvetlerin enerjisinin minimum olması esasına dayanır. Yöntemin temelinde sistemin matematiksel olarak ifade edilmesi yatar. Bu yöntemle karmaşık bir geometriye sahip olan sistemler, basit geometriye sahip parçacıklara bölünür ve bu parçacıklar ayrı ayrı çözüldükten sonra analiz edilir. Parçalara bölme işlemi sırasında modelde bulunan süreksizliklere dikkat edilmelidir. Modelde bulunan farklı malzeme özelliklerine sahip geometriler bulunduğu durumda bunların her biri kendi içinde parçalara ayrılır. Her parça için ayrı denge denklemi yazılır ve bilinmeyen değerler sınır şartları kullanılarak bulunur. Parçalar birbirine düğüm noktaları ile bağlanırlar. Düğüm noktalarının her birinin belirli serbestlik dereceleri vardır ve bu serbestlik dereceleri

bulunması gereken bilinmeyenleri temsil etmektedir. Çözümleme için bir asıl değişken seçiler ve bir elemanda seçilen değişkenin davranışı modellenir. Daha sonra matris hesap yöntemi ile bu davranış tüm sisteme uygulanarak bilinmeyenler elde edilir. Hesaplanan ana değişkenler kullanılarak ikincil değişkenler de bulunur (Brinkgreve ve Broere 2006). Bu yöntemin bir diğer avantajı ise sınır koşullarının problemin çözümü sırasında en son adımda hesaplara dahil edilmesidir. Böylece sınır koşulları değiştirilip tekrar çözüm yapılmak istendiğinde başlangıçtaki yoğun hesapların tekrar yapılmasına gerek kalmamaktadır.

Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan çözümlemelere geoteknik mühendisliğinde çoğunlukla deplasmanların hesaplanmasında başvurulmaktadır. Yani deplasmanlar ana değişkenleri belirtirken deplasmanlar kullanılarak bulunan zorlanma ve gerilmeler ikincil değişkenleri belirtmektedir. Sonlu elemanlar yönteminin işleyişini özetleyecek olursak öncelikle model sonlu elemanlara ayrılır. Daha sonra elemanda yükleme sonrasında oluşacak deplasmanları gösterecek deplasman modelleri seçilir. Ardından elemanın malzeme ve geometrik özelliklerinden yola çıkarak bulunan denge denklemleri katsayıları bulunur. Sonrasında da minimum potansiyel enerji ilkesinden yararlanarak bulunan katsayıları içeren rijitlik matrisi oluşturulur. Son olarak da oluşturulan eleman rijitlik matrisleri ve yük vektörleri toplanarak sistemin tamamı için rijitlik matrisi ve yük vektörü elde edilir.

Sonlu elemanlar yönteminin temelinde istenilen bölge elemanlara ayrılarak ‘node’ adı verilen düğüm noktaları ile bağlanır ve böylece çözümleme yapılması istenen bölgede sonlu elemanlar ağı oluşturulması vardır. Böylece karmaşık geometriler ve farklı malzemelere sahip bölgeler doğru bir şekilde modellenip incelenen kısmi diferansiyel denklem lineer denklem takımına indirgenerek çözüm yapılmaktadır.

Ne kadar az sonlu eleman sayısı olursa o kadar kaba bir yaklaşım ile problemi çözmüş oluruz, yani sonuç gerçekten uzak kalacaktır. Sonlu eleman sayısını arttırarak hassasiyeti de arttırmak mümkündür. Fakat eleman sayısı arttıkça bilinmeyen sayısı da arttıracaktır ve ne kadar bilinmeyen var ise o kadar denklem vardır. Bu da çözüm süresini daha da uzatır, yuvarlama hataları nedeniyle sonucun gerçekten uzaklaşmasına sebep olur.

Geoteknik sonlu elemanlar analizlerinde gerçek zemini mümkün olduğunca yansıtabilmek adına aşağıda sıralanan özellikler geliştirilmiştir.

- Modellerin, drenajsız, drenajlı ve bütünleşik konsolidasyon analizini barındırması ve nonlinear gerilme-şekil değiştirme davranışını gösterebilmesi.
- Var olan arazi gerilmelerini saptayabilme.
- Analiz esnasında kazı ve inşa modellemeleri için elemanların eklenip çıkarılabilmesi

4.2 PLAXIS V9 DİNAMİK MODÜL

Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak geliştirilmiş olan PLAXIS yazılımı genellikle geoteknik mühendisliğinde modellerin stabilite ve deformasyon analizlerinde kullanılan bir programdır. Program statik yükler dışında dinamik yükler altında da karmaşık geometriye sahip sistemler üzerinde çözümleme yapabilir. Sıklıkla tercih edilmesinin sebebi hem kullanım kolaylığı hem de zeminin elastoplastik davranışını, yapı zemin etkileşimini, başlangıç gerilme durumunu, göz önünde bulundurması olarak gösterilebilir. PLAXIS ile yapılan çalışmalarda sistemlerin karmaşık geometrisi, tabakalı zemin, farklı doğrultularda yükleme gibi birçok özellik ve durum dikkate alınabilir.

Mühendislik çalışmalarında sonlu elemanlar yöntemi mantığı ile çalışan paket program sayısı oldukça fazladır. Bu çalışmada sayısal modellemeleri gerçekleştirmek ve iki boyutlu stabilitenin ve deformasyonların analizleri için PLAXIS 2D 2016 sonlu elemanlar programı kullanılmıştır.

Program kapsamında oluşturulan modellerin anizotrop ve zamana dayalı davranışları kayaları ve zemini birleştirir. Bu modeller lineer olmayan simülasyonlarla oluşturulur. Kaya ve zemin birleşimi sayesinde zemin ve yapı arasında kesişim modeli oluşturulur. Plaxis üzerinde bulunan dinamik modül ise zeminleri analiz eder ve dinamik yük altında yapıların analizini yaparak davranışını inceleyebilir (Brinkgreve 2012).

Plaxis programında problem tipine bakılarak eksenel simetrik geometri koşulları veya düzlem şekil değiştirme dikkate alınabilir. Düzlem şekil değiştirme problemlerinde önemli bir özellik bir boyutun yani z ekseninin diğer iki boyutundan çok daha büyük olmasıdır. Böylece z eksenini yönündeki birim şekil değiştirmeleri sıfır kabul edilebiliriz. Bu durumda şekil değiştirmeler için yalnızca x-y düzleminde çözüm yapılmakta ve problem düzlem şekil değiştirme problemine dönüşmektedir.

Çevresel şekil değiştirmeler ihmal edilip problem düşey radyal düzlemde iki boyutlu olarak çözümlenirken eksenel simetrik çözümlerlerde yükleme durumunun ve yapının merkezinin düşey eksenini etrafında simetrik olmasına dikkat edilmelidir. Yükleme ya da yapıdan biri radyal simetrik değilse problem üç boyutlu bir problem olarak çözümlenmelidir. En bilinen eksenel simetrik problemler daire kesitli düşey kazı ve kazık yükleme problemleridir. Plaxis yazılımında sonlu elemanlar ağı oluşturulurken modelde tanımlanan zemin iki boyutlu olacak şekilde üçgen elemanlara ayrılmıştır. Programda içerisinde de 6 ve 15 düğüm noktalı olmak üzere iki farklı üçgen eleman yer alır. Hassas çözümler yapılmak istendiği zaman 15 düğüm noktalı üçgen elemanlar seçilir.

Program 4 bölümden oluşmaktadır. Bunlar;

1. Input: Modelin geometrisi ve sınır şartlarının girdisi yapılır. Daha sonra ise malzeme değerleri tanımlanır. Çizgisel yük, yayılı yük gibi etkiyen yük tipleri ve etkidikleri noktalar seçilerek sonlu eleman ağı oluşturulur.
2. Calculation: Model tamamlandıktan sonra ise hesaplama aşamasına geçilebilir. Her bir düğüm noktasındaki u_x , u_y ve u_z yer değiştirmeleri hesaplanır. Zorlana ve gerilmeler her bir elemanın gerilme noktalarında hesaplanabilmektedir.
3. Output: Çıktı bölümünde ise hesaplamanın ardından analiz sonuçları elde edilir.
4. Curves: Analizin ardından istenilen grafikler çizdirilir. Bu aşamada istenilen noktalar önceden seçilerek taşıma gücü davranışını ve gerilme-şekil değiştirmeleri gösteren diyagramlar da çizdirilebilir (Brinkgreve ve Broere 2006).

Programda zeminin elastoplastik davranışının Pekleşen Zemin denilen Hardening Soil Model tanımlar. Pekleşen zemin modelinin Mohr-Coulomb modelinden farkı, Mohr-Coulomb modelinde akma yüzeyi asal gerilme aralığı ile sınırlıyken Pekleşen zemin modelinde akma yüzeyi plastik şekil değiştirmeye bağlı olarak genişleyebilmektedir. Üç eksenli basınç deneyi ile elde edilen gerilme-şekil değiştirme diyagramı Mohr-Coulomb modelinde doğrusal olarak Pekleşen Zemin modelinde hiperbolik olarak temsil edilir. Buna bakarak Pekleşen Zemin modelinin gerçek zemin davranışını daha gerçekçi yansıttığını söyleyebiliriz. Ek olarak, zemine etkiyen gerilme artışına bağlı olarak zemin rijitliğinin arttığı düşünülmekte ve

modelde bütün rijitlikler belirli bir referans gerilme alınarak saptanmakta, program zemindeki bu rijitlik artışını başka bir işleme gerek olmadan dikkate almaktadır.

Bu tezde çalışma alanından elde edilen arazi ve yapısal durumu yansıtan parametreler ile sayısal model Plaxis 2016 programında oluşturulmuştur. İncelenecek bölgedeki boyutlar gerçek arazideki verilere göre; modelde düzlemsel şekil değiştirme esası için daha hassas çözüm yapılabilmesi amacıyla 15 düğüm noktalı üçgen elemanlar seçilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan çözümlemelerde gerilmelerin yüksek olduğu yerlerde elemanların sıklaştırılması ile sonuçlar daha gerçeğe yakın elde edilir. Modelde oluşturulan ağın kenar ve köşelerine gidildikçe elemanların büyütülür. Böylece büyük hacimli problemlerde eleman sayısının ihtiyaç duyulandan daha fazla olması engellenir. Bu sayede de çözüm esnasında zamandan tasarruf edilebilir. Modelin sınır koşulları standart sınır koşulları kabul edilir.

Çalışmada, düzlem deformasyon (Plane Strain) modeli kullanılarak analizler yapılmıştır. Analizlerde zeminin, gerilme deformasyon davranışını hiperbol olarak tanımlayıp, 3 farklı elastisite modülünü esas aldığından dolayı ve zeminin elastoplastik özelliğini daha iyi ifade etmesinden ötürü pekleşen zemin modeli, (Hardening Soil) esas alınarak tüm analizler drenajlı duruma göre yapılmıştır (Sert 2003).



BÖLÜM 5

MODELLEME VE ANALİZLER

5.1 MATERYAL VE METOT

Çalışmada kullanılan model, zemine (Çizelge 5.1) oturan yapıyı temsil etmektedir. Modelin, statik ve dinamik yükler altında elastisite modülü (E), kohezyon (c) ve sürtünme açısı (ϕ) mukavemet parametreleri değiştirilerek meydana gelen oturma ve deformasyonlarına bakılmıştır aynı zamanda temel sisteminin davranışı drenajsız kısa periyotlu analizlerle iki boyutlu olarak incelenmiştir. Temel sistemi radye temel tabanının zemin ile temas ettiği kazıklı radye temel olacak şekilde modellenmiştir.

Üstyapıdan yükleri yayılı yük olarak modellenmiştir ve 17m x 19m' lik bir alanda tabanda 100 kPa değerinde bir yükün yapıya etkidiği varsayılmıştır.

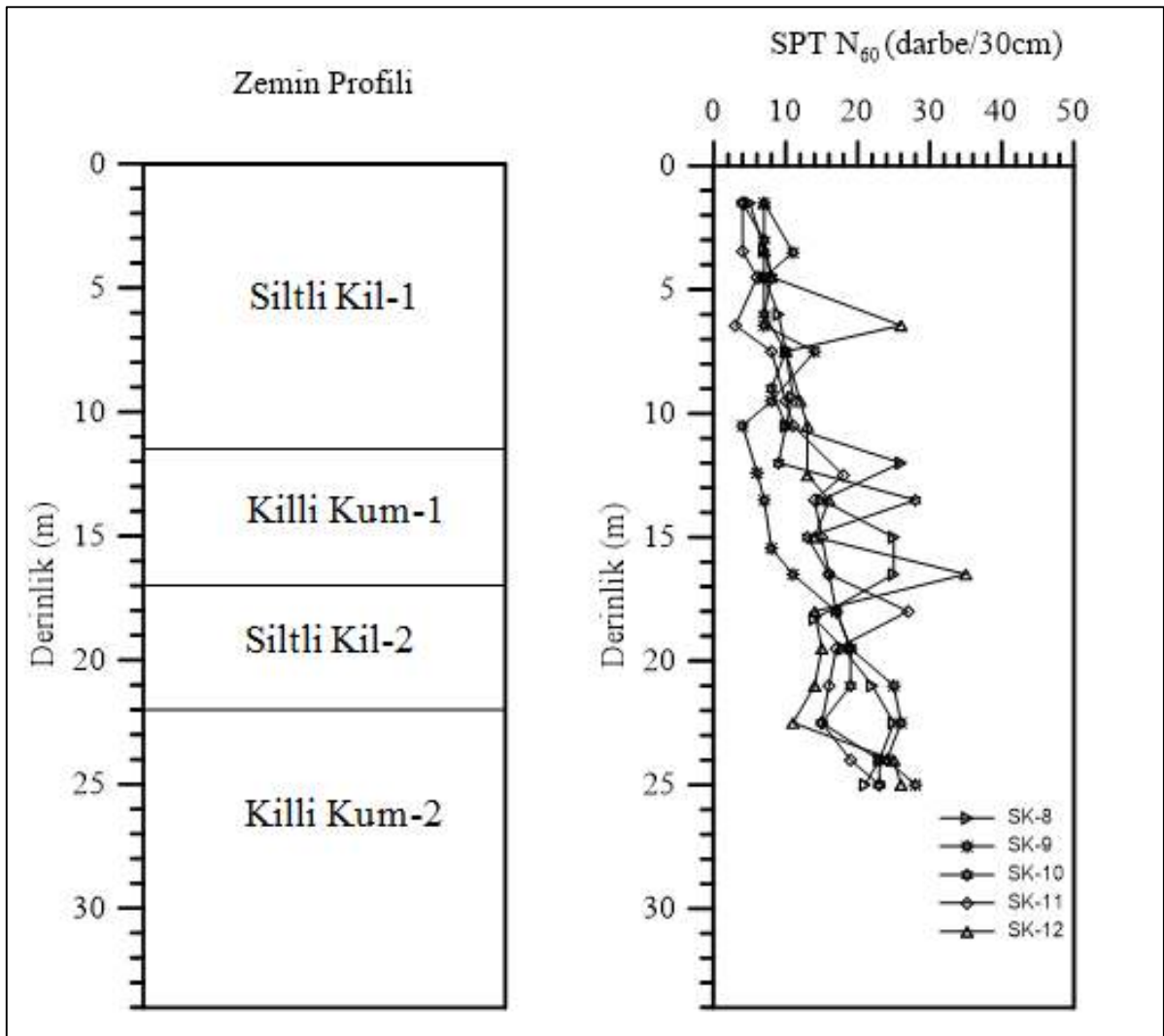
Kritik oturma davranışı gösterebilme olasılığı bulunan ya da gerilmelerin yüksek olduğu alanlarda eleman sayısı ne kadar fazla ise gerçek değerlere o kadar yakın sonuçlar elde edilir. Ancak eleman sayısının artması programın hesap yapması için gerekli zamanın artmasına neden olmaktadır. Ayrıca sonlu eleman ağının “sık” ve “çok sık” olarak modellenmesi durumlarında stabilite analizlerinde beklenenden daha önce göçme gerçekleşebilmektedir (Engin vd. 2007). Bu nedenle her problem için uygun ağ sıklığı belirlenmelidir. Böylece sadece gerekli görülen yerlerde eleman sıklığını arttırarak hesap aşamasını kısaltabiliriz. Bu çalışmada sonlu elemanlar ağı ‘iyi’ ağ sıklığı ile modellenmiştir.

Sistemin analizleri yapılacağı zaman sınır şartlarından etkilenmemesi amacıyla sonlu eleman ağının çalışılacağı geometrinin x ve y eksenlerinde yeterince büyük bir alanda bulunması gerekir. x, y eksenlerinde 70m x 34m ebadında oluşturulan bir geometride sınır şartlarından etkilenmeyeceği belirlenmiştir

5.2 MALZEME ÖZELLİKLERİ

Şekil 5.1’de görüldüğü gibi 4 farklı zemin tabakası görülmektedir. Modellenecek zemin için daha önce bahsedilen sebeplerden dolayı sağlıklı sonuçlar verdiği anlaşılan pekleşen zemin (Hardening Soil) modeli seçilmiştir (Sert 2003).

Delme yöntemine göre imal edilen 60 cm çapındaki Delme Kazıklar temel altına 1.7 m x 1.7 m mesafeli olarak kare yerleşim planına göre, shaft uzunluğu 17 m olacak şekilde zemine uygulanmıştır.



Şekil 5.1 Zemin tabakaları ve SPT-N sayıları (Mungan 2016).

Killi ve siltli zeminlerin drenajsız analizlerinde drenajlı kayma mukavemeti parametrelerinin kullanılması önerilir (Berilgen 2010). Kullanılan zeminin malzeme değerleri Çizelge 5.1'de görülmektedir.

Çizelge 5.2 Zemin parametreleri (Mungan 2016).

Zemin	Kalınlık (m)	ρ (kN/m ³)	ρ_{sat} (kN/m ³)	E_u (kPa)	E (kPa)	c_u (kPa)	c' (kPa)	Φ (°)	ν	ν_u	k (m/gün)
Siltli Kil-1	11,5	18	19	-	2773	40	-	0	-	0.5	10 ⁻⁵
Killi Kum-1	5,5	19	20	-	16800	-	-	35	0.3	-	1
Siltli Kil-2	5	18	19	-	6240	90	-	0	-	0.5	10 ⁻⁵
Killi Kum-2	12	19	20	-	20000	-	10	33	0.35	-	1

Temel sisteminin davranışını gerçeğe mümkün olabildiğince yakın olacak şekilde modellemek için, kazık-zemin etkileşiminin doğru bir şekilde modellenmesi önemlidir. Yer değiştirmenin küçük olduğu durumlarda, kazığın zemin ile beraber hareket ettiğini varsaymak gerçeğe uygun sonuçlara ulaşmak için yeterli bir yaklaşımdır. Ancak yer değiştirme büyük olduğu zaman kazığın zemine göre rölatif yer değiştirmesini inceleyebilmek için daha gelişmiş modellere ihtiyaç duyulur.

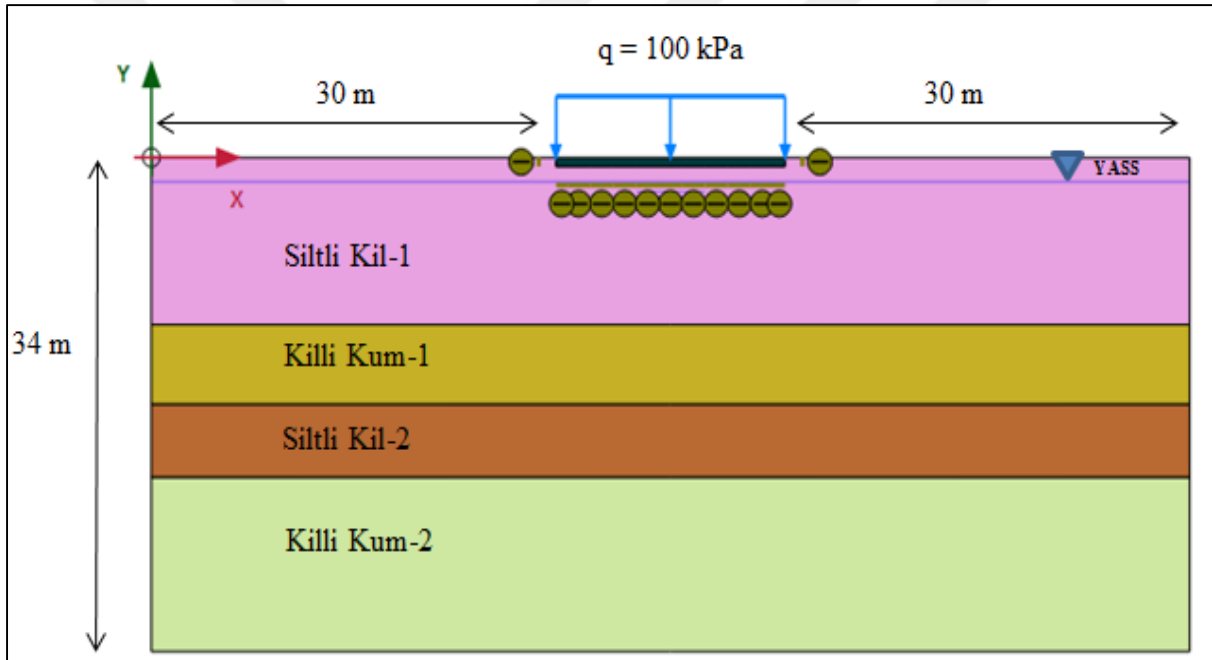
Geleneksel kazık modelinde kazık-zemin etkileşimini göstermek için kazık çevresinde ve ucunda arayüz elemanları kullanarak modelleme yapılır. Ancak bu işlem çözüm süresini artırmaktadır. Gömülü kazık modelinde ise durum daha farklıdır. Burada kazık üç boyutlu bir hacim elemanı olarak modellenmek yerine bir kiriş yani çizgi elemanı olarak modellenir ve zemini herhangi bir doğrultuda ve herhangi bir noktada kesebilir. Temel mühendisliğinde önemli bir yeri olan kazık-zemin etkileşimi, kazık ve zeminin düğüm noktaları arasındaki rölatif yer değiştirme ile tanımlanır. Bu düğüm noktaları kazık gövdesi boyunca gömülü arayüz elemanlarıyla modellenirken kazık ucundaki zemin direnci doğrusal olmayan yay elemanlarıyla modellenmektedir. Kazık kapasitesi modelde girdi bilgisidir ve çevre sürtünmesi kazık çeperi boyunca sabit ya da değişken olarak tanımlanabilir.

Radye plak altına yerleştirilen kazıkları temsil eden gömülü kazık elemanları ve radye plak için kullanılan döşeme elemanı izotropik ve lineer elastik olarak modellenmiştir. Kullanılan gömülü kazık ve radye temel elemanlarının malzeme parametreleri Çizelge 5.2' de verilmektedir.

Çizelge 5.3 Delme kazık parametreleri.

Malzeme	E (MPa)	ρ (kN/m ³)	Çap (m)	Sürtünme Direnci f_s (kN/m)	Uç Direnci Q_g (kN)
Delme Kazık	30 000	24	0.6	784	229

Şekil 5.2’de görülmek üzere, sınır koşullar yatay düzlemde, minimum (x_{min}) 0 m, maksimum (x_{max}) 77 m, düşey düzlemde ise minimum (y_{min}) 0 m, maksimum (y_{max}) 34 m, alınmıştır. Proje verilerinde, Delme kazıklar üstüne oturacak olan yayılı temelin boyutları, $B = 17$ m ve $L = 19$ m olup yayılı temel kalınlığı 60 cm’dir. Üst yapıdan zemine gelen maksimum gerilme 100 kPa’dır. Yeraltı su seviyesi (YASS) zemin yüzeyinden itibaren 1.7 m derinliktedir.



Şekil 5.2 Sonlu elemanlar yöntemiyle model (Mungan 2016).

5.3 HESAP AŞAMASI

Yukarıda belirtilen malzeme özellikleri ve geometri girdileri yapıldıktan sonra sonlu eleman ağı iki boyutlu çalışılacak şekilde oluşturulmuştur.

Hesaplamalarda Plaxis 2D programının “Staged Construction” özelliğinden yararlanılmış, temel sistemini oluşturan elemanların ve yüklerin aktifleştirilmesi gerçeğe en yakın şekilde kademeli olarak gerçekleştirilmiştir.

5.3.1 Kazıklı radye temelin iki boyutlu modellenmesi

Öncelikle sistemin Plaxis 2D programında “Genel Ayarlar” bölümünde x, y düzleminde 70mx34m’lik çalışma alanı oluşturulmuştur. Daha sonra; “Geometri çizgisi” alanından radye temel ve kazıklar, kullanılan derinlik ve çap, aks mesafesi ölçülerine göre yanal görünüş çizilmiştir. Zeminin malzeme parametreleri (Çizelge 5.1) ve yapıdaki elemanların malzeme parametreleri (Çizelge 5.2) verildiği şekilde programa girdisi yapılmıştır. Radye temel üzerine 100 kN/m² yayılı yük etki edildikten sonra örgü ağı oluşturulmuştur.

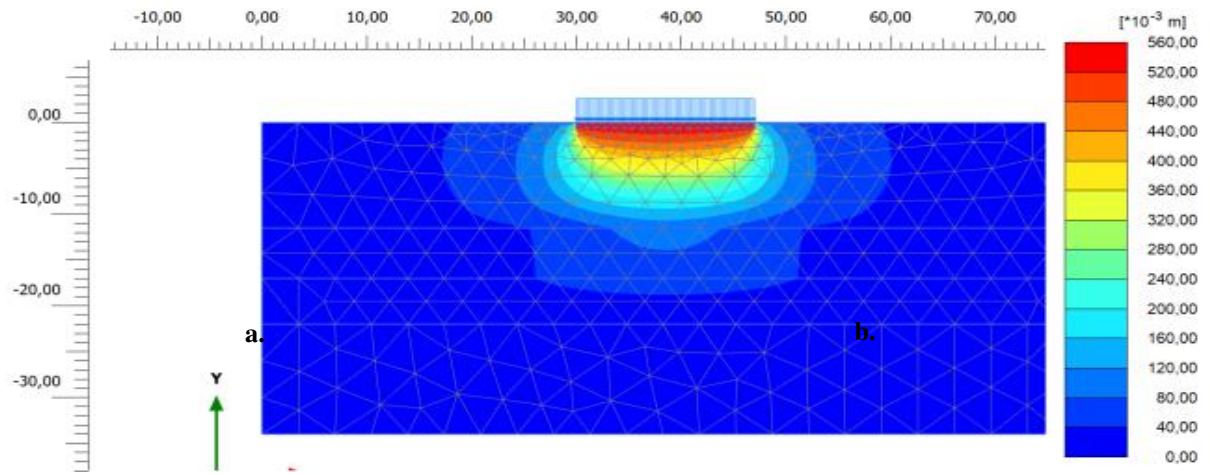
5.4 KAZIKLI RADYE TEMELİN İKİ BOYUTLU ANALİZLERİ

Kazıklı radye temelin Plaxis programında oluşturulan iki boyutlu modellenmesi, malzeme özellikleri ve yükleme girdisinden sonra statik ve dinamik yükler altında elastisite modülü (E), kohezyon (c) ve sürtünme açısı (ϕ) mukavemet parametreleri değiştirilerek meydana gelen oturma ve deformasyonlarına bakılmıştır.

5.4.1 Sade Durum

Yayılı temel altında, ilk durumda uzun dönem oturma analizleri yapılmış olup Şekil 5.3a’ da görüldüğü gibi toplamda 54.80 cm oturma görülmektedir. Çizelge 5.1’deki veriler kullanılarak, yayılı temel altına delme kazıklar imal edilerek, yayılı temel altında Şekil 5.3b’ da görüldüğü gibi 1.3 cm oturma elde edilmiştir.

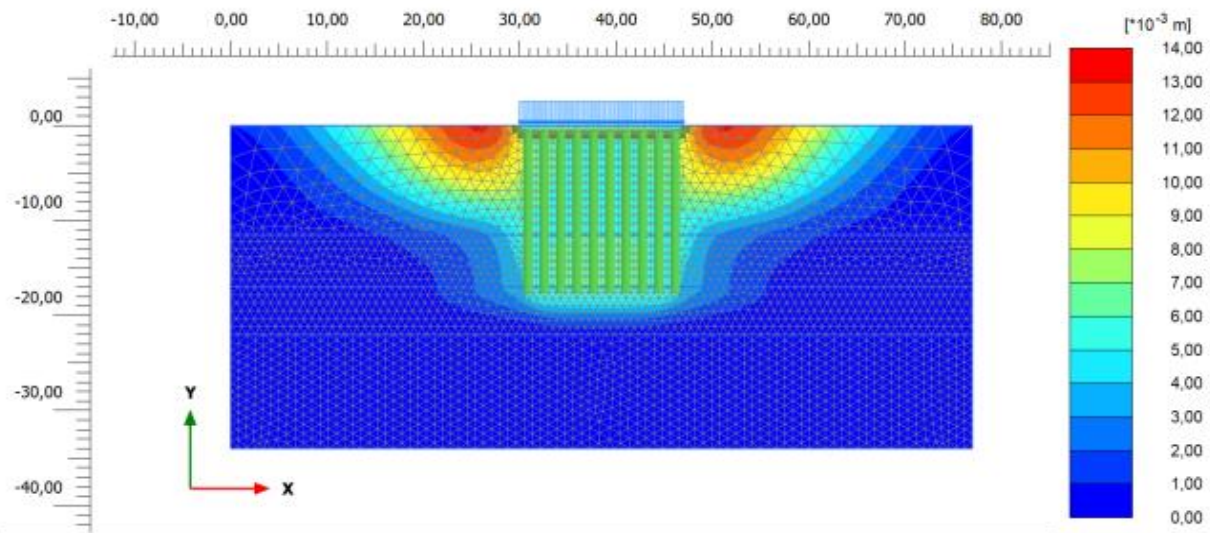
Oturma davranışına etki eden parametreleri belirleyebilmek için, kazık içinde kalan siltli kil-1, killi kum-1 ve siltli kil-2 zemin tabakalarındaki, Elastisite modülü (E), Kohezyon (c) ve Sürtünme Açısı (ϕ) mukavemet parametreleri, sırasıyla, %30 - %60 ve % 90 oranında artırım yapılarak, analiz sonuçlarına göre oturma davranışını hangi parametrelerin etkili olduğu sonuçlandırılmıştır.



Toplam yerdeğiştirme $|u|$

Maksimum değer = 0,5480 m (1932 no'lu düğüm noktasında 9 no'lu eleman)

a.



Toplam yerdeğiştirme $|u|$

Maksimum değer = 0,01314 m (33303 no'lu düğüm noktasında 166 no'lu)eleman)

b.

Şekil 5.3 Toplam yerdeğiştirme analiz sonuçları.

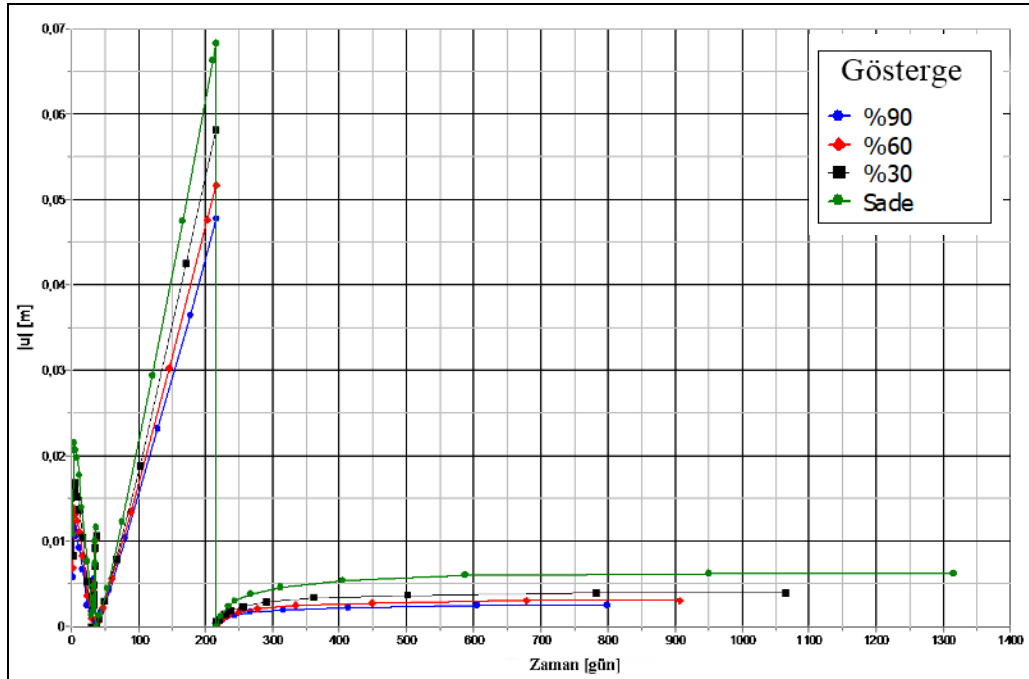
5.4.2 Elastisite Modülü Arttırımı (E)

Rijit kazık içinde kalan, siltli kil-1, killi kum-1 ve siltli kil-2 zemin tabakalarının Elastisite Modülleri (E) sırasıyla, %30 - %60 ve % 90 oranında artırım yapılarak Şekil 5.5'te görüldüğü gibi günlere bağlı olarak oturma değerleri görülmektedir.

Elastisite modülü tüm zemin tabakaları için %30 arttırıldığında, ilk inşaat kademesinde 216 günde, Şekil 5.4' te görüldüğü gibi toplamda 5.8 cm oturma görülmektedir. Daha sonra, oturmalar sıfırlanarak, üst yapı inşaatı sonrasındaki oturma değerlerine bakıldığında, 0.4 cm oturma görülmektedir.

Elastisite modülü tüm zemin tabakaları için %60 arttırıldığında, ilk inşaat kademesinde 216 günde, toplamda 5.2 cm oturma görülmektedir. Daha sonra, oturmalar sıfırlanarak, üst yapı inşaatı sonrasındaki oturma değerlerine bakıldığında, 0.3 cm oturma görülmektedir.

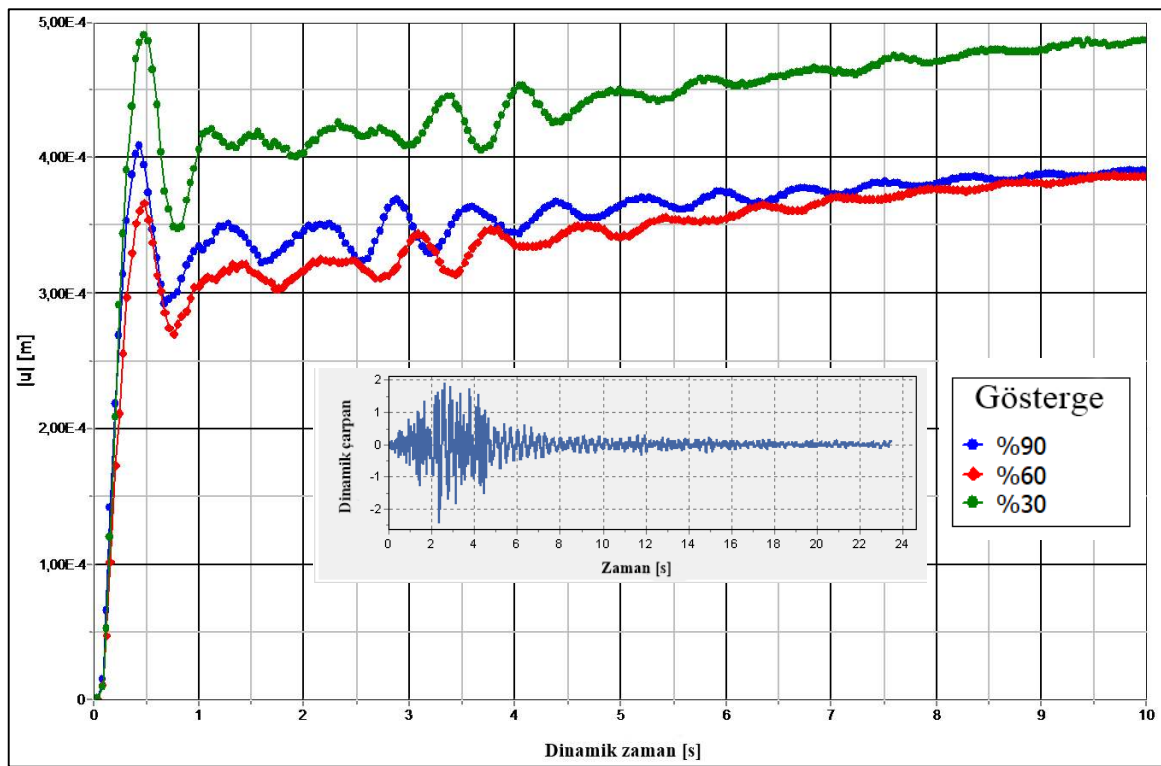
Elastisite modülü tüm zemin tabakaları için %90 arttırıldığında, ilk inşaat kademesinde 216 günde, toplamda 4.8 cm oturma görülmektedir. Daha sonra, oturmalar sıfırlanarak, üst yapı inşaatı sonrasındaki oturma değerlerine bakıldığında, 0.2 cm oturma görülmektedir.



Şekil 5.4 Elastisite modülü oturma sonuçları.

Rijit kazık içinde kalan, siltli kil-1, killi kum-1 ve siltli kil-2 zemin tabakalarının dinamik durumda Elastisite Modülleri (E) sırasıyla, %30 - %60 ve % 90 oranında artırım yapılarak Şekil 6’ da görüldüğü gibi günlere bağlı olarak oturma değerleri görülmektedir.

Dinamik durumda, Mw 5.4 şiddetindeki, 28.02.1990 tarihinde olan Upland deprem verileri kullanılarak 10 saniye boyunca yapıya etkitilmiştir. Temelin ortasından alınan noktada Şekil 5.5’ te, Elastisite modülü tüm zemin tabakaları için %30 - %60 ve % 90 arttırıldığında, üst yapı inşası sonrasında deprem performansı bakımından en az toplam yerdeğiştirme %90 ile %60 Elastisite modülü artırımlı model olmuştur.



Şekil 5.5 Elastisite modülü dinamik oturma sonuçları.

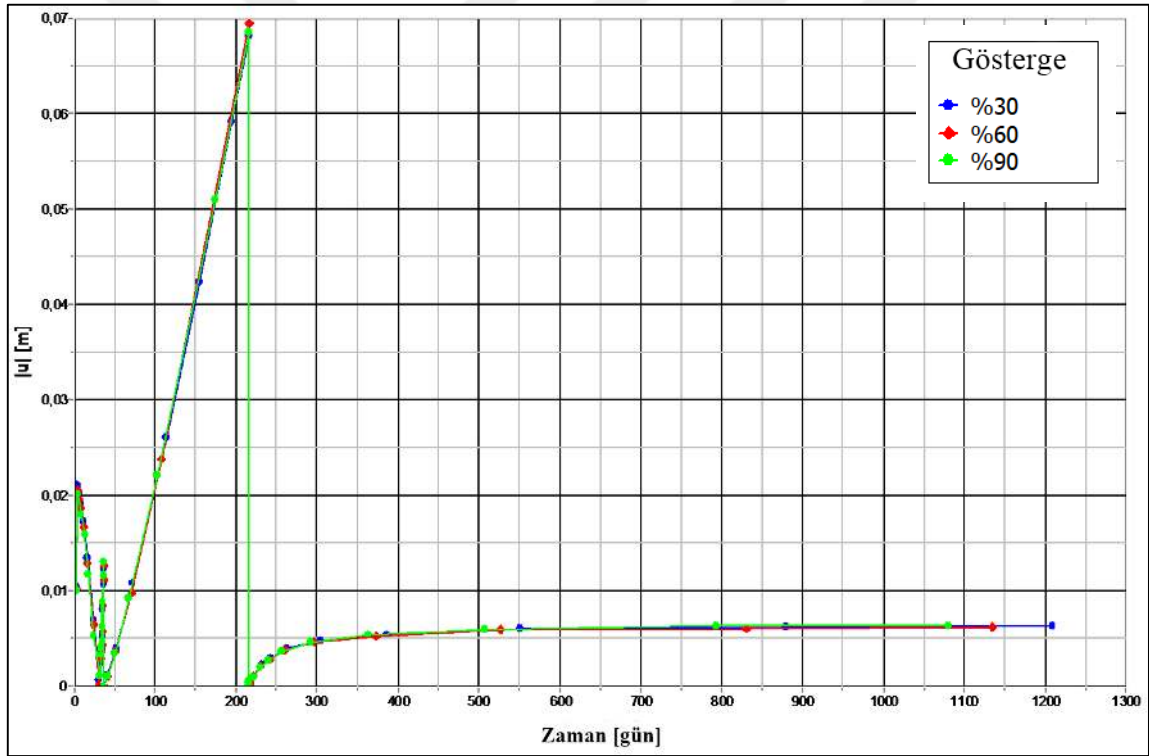
5.4.3 Kohezyon Arttırımı (c)

Rijit kazık içinde kalan, siltli kil-1, killi kum-1 ve siltli kil-2 zemin tabakalarının dinamik durumda kohezyon (c) sırasıyla, %30 - %60 ve % 90 oranında artırım yapılarak temelin ortasından alınan noktada Şekil 5.6’da görüldüğü gibi günlere bağlı olarak oturma değerleri görülmektedir.

Kohezyon tüm zemin tabakaları için %30 arttırıldığında, ilk inşaat kademesinde 216 günde, toplamda 6.8 cm oturma görülmektedir. Daha sonra, oturmalar sıfırlanarak, üst yapı inşaatı sonrasındaki oturma değerlerine bakıldığında, 0.6 cm oturma görülmektedir.

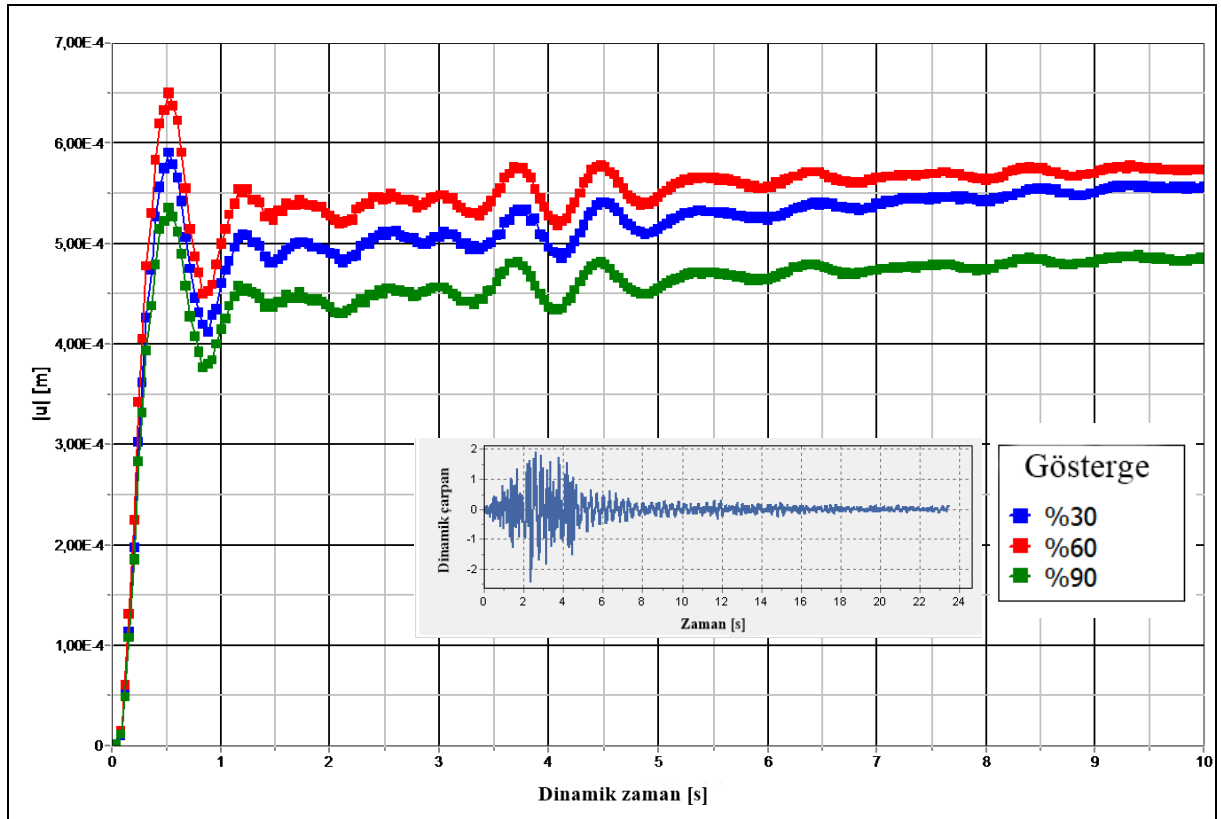
Kohezyon tüm zemin tabakaları için %60 arttırıldığında, ilk inşaat kademesinde 216 günde, toplamda 7 cm oturma görülmektedir. Daha sonra, oturmalar sıfırlanarak, üst yapı inşaatı sonrasındaki oturma değerlerine bakıldığında, 0.6 cm oturma görülmektedir.

Kohezyon tüm zemin tabakaları için %90 arttırıldığında, ilk inşaat kademesinde 216 günde, toplamda 6.8 cm oturma görülmektedir. Daha sonra, oturmalar sıfırlanarak, üst yapı inşaatı sonrasındaki oturma değerlerine bakıldığında, 0.6 cm oturma görülmektedir.



Şekil 5.6 Kohezyon oturma sonuçları.

Dinamik durumda, Mw 5.4 şiddetindeki, 28.02.1990 tarihinde olan Upland deprem verileri kullanılarak 10 saniye boyunca yapıya etkilmiştir. Temelin ortasından alınan noktada Şekil 5.7'de, Kohezyon (c), tüm zemin tabakaları için %30 - %60 ve % 90 arttırıldığında, üst yapı inşası sonrasında deprem performansı bakımından en az toplam yerdeğiştirme %90 kohezyon artırımlı model olmuştur.



Şekil 5.7 Kohezyon dinamik oturma sonuçları.

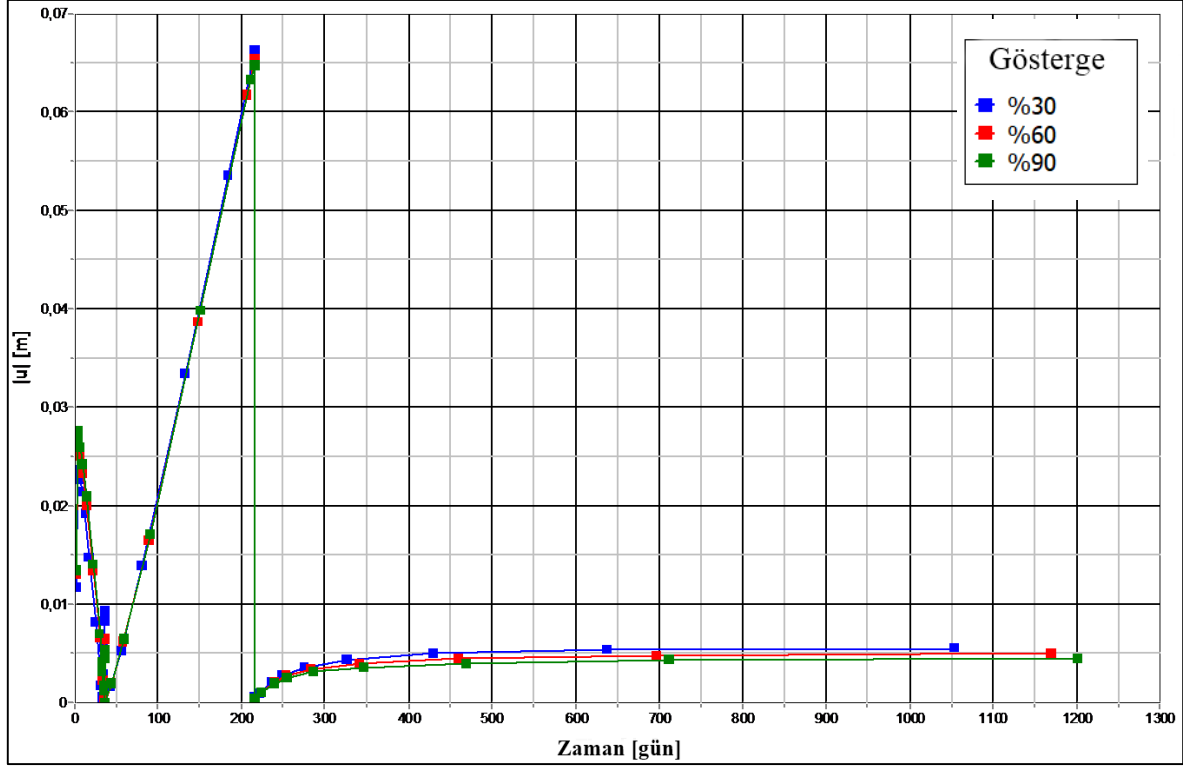
5.4.4 Sürtünme Açısı Artırımı (ϕ)

Rijit kazık içinde kalan, siltli kil-1, killi kum-1 ve siltli kil-2 zemin tabakalarının dinamik durumda Sürtünme açısı (ϕ) sırasıyla, %30 - %60 ve % 90 oranında artırım yapılarak Şekil 5.8' de görüldüğü gibi günlere bağlı olarak oturma değerleri görülmektedir.

Sürtünme açısı tüm zemin tabakaları için %30 arttırıldığında, ilk inşaat kademesinde 216 günde, toplamda 6.6 cm oturma görülmektedir. Daha sonra, oturmalar sıfırlanarak, üst yapı inşaatı sonrasındaki oturma değerlerine bakıldığında, 0.5 cm oturma görülmektedir.

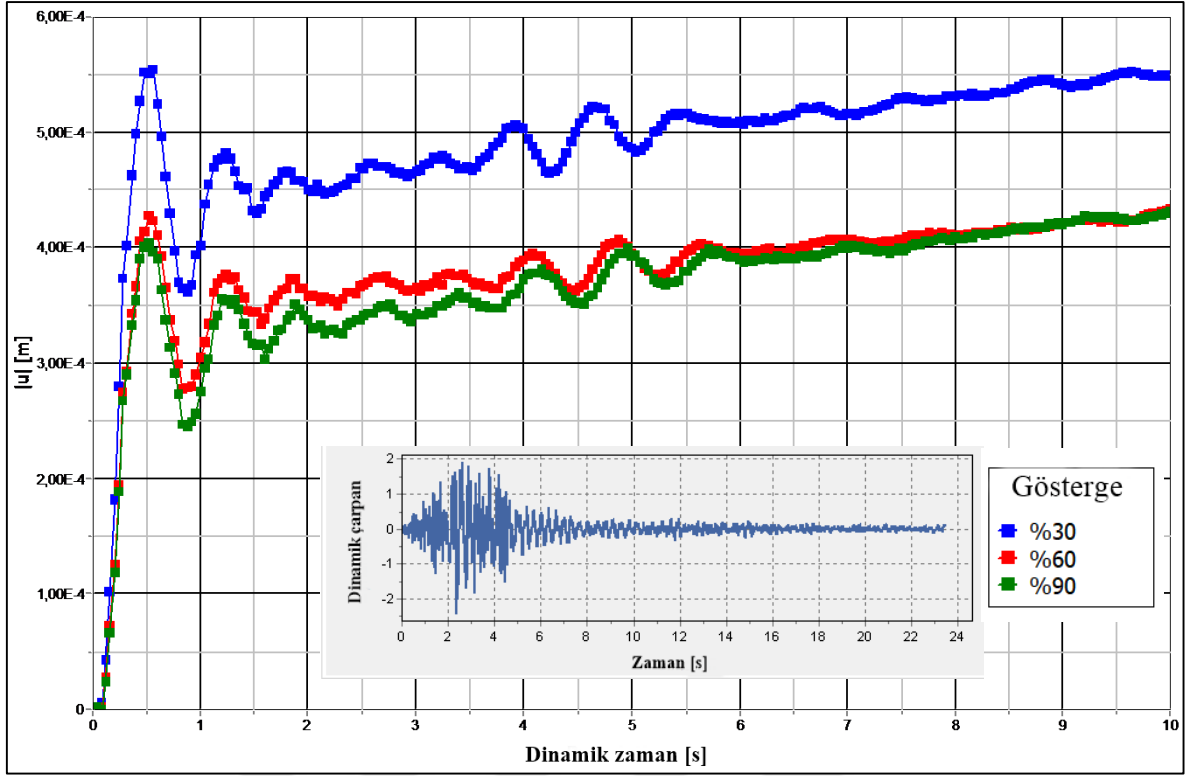
Sürtünme açısı tüm zemin tabakaları için %60 arttırıldığında, ilk inşaat kademesinde 216 günde, toplamda 6.5 cm oturma görülmektedir. Daha sonra, oturmalar sıfırlanarak, üst yapı inşaatı sonrasındaki oturma değerlerine bakıldığında, 0.5 cm oturma görülmektedir.

Sürtünme açısı tüm zemin tabakaları için %90 arttırıldığında, ilk inşaat kademesinde 216 günde, toplamda 6.5 cm oturma görülmektedir. Daha sonra, oturmalar sıfırlanarak, üst yapı inşaatı sonrasındaki oturma değerlerine bakıldığında, 0.5 cm oturma görülmektedir.



Şekil 5.8 Sürtünme açısı oturma sonuçları.

Dinamik durumda, Mw 5.4 şiddetindeki, 28.02.1990 tarihinde olan Upland deprem verileri kullanılarak 10 saniye boyunca yapıya etkilmiştir. Temelin ortasından alınan noktada Şekil 5.9'da, sürtünme açısı tüm zemin tabakaları için %30 - %60 ve % 90 arttırıldığında, üst yapı inşası sonrasında deprem performansı bakımından en az toplam yerdeğiştirme %90 kohezyon artırımlı model olmuştur.



Şekil 5.9 Sürtünme açısı dinamik oturma sonuçları.

5.5 HASSASLIK ANALİZİ

PLAXIS 2D kullanarak modellenen kazıklı radye temel sisteminde hassaslık analizi gerçekleştirilmiştir. Hassaslık analizi (sensitivity analysis) karmaşık mühendislik problemlerinde hangi girdi (input) parametrelerinin tasarlanan ya da var olan model üzerinde daha önemli rol oynadığını bulmak için geliştirilmiştir (Zhou Marshall ve Yu 2014). Hassaslık analizi ve parametre değişimi özellikle model parametrelerin belirlenemediğinde oldukça faydalı olmaktadır.

Bilgisayar yazılımları karmaşık geoteknik problemlerini basite indirgeyerek gerçekçi modellerin oluşturulmasına yardımcı olsa da zemin parametrelerinin tanımlanmasında yapılan hatalar analiz sonuçlarının da hatalı elde edilmesine sebep olmaktadır. Bu sebeple zemin özelliklerindeki değişimin deplasmanlara olan etkisini bulabilmek amacıyla “Hassaslık Analizi” ve “Parametre Değişimi” analizleri yapılmaktadır. Zemin parametrelerinin sistemde belirli bir noktaya olan etkisi hassaslık analizi sayesinde tespit edilebilmektedir. Kullanılan yazılımda yer alan “Hassaslık Analizi” ve “Parametre Değişimi” analizleri ile temelin oturma davranışına etki eden zemin parametreleri bulunmuştur. Yapılan hassaslık analizinin ardından

parametre analizleri gerçekleştirilmiştir. Temelin altında oluşacak olan maksimum ve minimum oturma değerleri bulunmuştur (Sert, Önalp ve Arel 2010).

Hassaslık analizinin ardından parametrelerin etkisi “Hassaslık Oranı (η_{SR})” ile ifade edilmektedir. Bu oran; elde edilen değişimin, girdideki değişime oranının yüzdesi ile elde edilmektedir. Hassaslık oranı:

$$\eta_{SR} = \left[\frac{\frac{f(x_{L,R}) - f(x)}{f(x)} \times 100\%}{\frac{x_{L,R} - x}{x} \times 100\%} \right] \quad (5.1)$$

olarak ifade edilir. Denklem 6.1’de yer alan x , hassaslığı irdelenecek olan parametresinin referans, $x_{L,R}$ ise değiştirilmiş parametreyi ifade etmektedir. $f(x)$ ve $f(x_{L,R})$ ise referans ve değiştirilmiş değere bağlı fonksiyondan elde edilen değeri ifade etmektedir. Hassaslık oranına bağlı olan hassaslık sayısı (η_{SS} -sensitivity score), parametrelerin önemini daha anlaşılır kılmaktadır. Bu değer, normalize edilmiş değer aralığının incelenen parametrenin referans değerine olan oran, hassaslık oranı ile çarpımı ile bulunur:

$$\eta_{SS} = \eta_{SR} \times \frac{(\max x_R - \min x_R)}{x} \quad (5.2)$$

Burada;

Max X_R : seçilen maksimum parametre değeri

x : referans parametre değeri

Min X_R seçilen maksimum parametre değeridir.

Her bir değişkenin hassaslık sayısı, tüm hesap aşamalarında tercih edilen sonuca göre (deplasman, kuvvet, güvenlik sayısı) hesaplanabilir. Bu hesabın matrisi Şekil 6.1’de verilmiştir. Her bir değişkenin toplam hassaslık sayısı ($\Sigma \eta_{SS,i}$), her hesap aşamasında elde edilen toplam hassaslık sayısına eşittir.

Toplam bağıl hassaslık (Peschl 2004) denklem (6.3)’de verilmiştir.

$$a(x_i) = \frac{\Sigma \eta_{SS,i}}{\Sigma_{i=1}^N \Sigma \eta_{SS,i}} \quad (5.3)$$

Analizin aşamaları oluşturulduktan sonra sistemin çözümü yapılmıştır. Ardından hassaslık analizi gerçekleştirilmiş ve sisteme en çok etki eden parametre bulunmuştur.

Hassaslık analizinde kullanılan zemin parametrelerinin alabileceği değer aralığının seçimi, gerçeğe en yakın değerlerin bulunmasında büyük önem taşımaktadır. Doğru aralığın seçimi parametre analizi yapıldığında gerçeğe en yakın sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır.

Hassaslık analizinde temelin orta noktası referans alınarak, parametre değişiminin oturmaya etkisi incelenmiştir. Buna göre, bu değişime en hassas olan zemin tabakasının siltli kil olduğu görülmüştür. Model üzerinde en etkili parametrenin de %73 oranıyla Elastisite modülü olduğu görülmüştür.

Settings	Select parameters	Sensitivity analysis	Parameter variation				
	Type	Material	Parameter	Min	Ref	Max	
Soil							
⊕ Siltli Kil 1 yeni	Soil	Siltli Kil 1	E'	2773	2773	5268	
⊕ Kili Kum 1 yeni	Soil	Siltli Kil 1	c' _{ref}	10,00	10,00	19,00	
⊕ Siltli Kil 2 yeni	Soil	Siltli Kil 1	φ' (phi)	25,00	25,00	42,00	
⊕ Kili Kum 2	Soil	Kili Kum 1	E'	16,80E3	16,80E3	31,92E3	
⊕ DKK	Soil	Kili Kum 1	c' _{ref}	5,000	5,000	10,00	
⊕ Beton	Soil	Kili Kum 1	φ' (phi)	35,00	35,00	40,00	
⊕ Siltli Kil 1	Soil	siltli kil	E'	6240	6240	11,86E3	
⊕ Kili Kum 1	Soil	siltli kil	c' _{ref}	23,00	23,00	44,00	
⊕ siltli kil	Soil	siltli kil	φ' (phi)	20,00	20,00	38,00	
Plate	Soil	Kili Kum 2	E'	20,00E3	20,00E3	25,00E3	
Geogrid	Soil	Kili Kum 2	c' _{ref}	10,00	10,00	15,00	
Beam	Soil	Kili Kum 2	φ' (phi)	33,00	33,00	35,00	
Embedded beam							
⊕ DKK							
⊕ Jet Grout							
⊕ Kazık							
Anchor							

Şekil 5.10 Hassaslık analizi ve parametre değişimi analizi için değerler.

Settings		Select parameters		Sensitivity analysis		Parameter variation								
Type	Material	Parameter	Min	Ref	Max	SensiScore								
Soil	Siltli Kil 1	E'	2773	2773	5268	12								
Soil	Siltli Kil 1	c' _{ref}	10,00	10,00	19,00	0								
Soil	Siltli Kil 1	φ' (phi)	25,00	25,00	42,00	0								
Soil	Killi Kum 1	E'	16,80E3	16,80E3	31,92E3	10								
Soil	Killi Kum 1	c' _{ref}	5,000	5,000	10,00	2								
Soil	Killi Kum 1	φ' (phi)	35,00	35,00	40,00	3								
Soil	siltli kil	E'	6240	6240	11,86E3	73								
Soil	siltli kil	c' _{ref}	23,00	23,00	44,00	0								
Soil	siltli kil	φ' (phi)	20,00	20,00	38,00	0								
Soil	Killi Kum 2	E'	20,00E3	20,00E3	25,00E3	0								
Soil	Killi Kum 2	c' _{ref}	10,00	10,00	15,00	0								
Name	Path	Msg	E' [Siltli Kil 1]	c' _{ref} [Siltli Kil]	φ' (phi) [Siltli Kil]	E' [Killi Kum 1]	c' _{ref} [Killi Kum 1]	φ' (phi) [Killi Kum 1]	E' [siltli kil]	c' _{ref} [siltli kil]	φ' (phi) [siltli kil]	E' [Killi Kum 2]	c' _{ref} [Killi Kum 2]	φ' (phi) [Killi Kum 2]
Kazık sade Moh cou C:\Users\Hüseyin İ OK			5268	10,00	25,00	16,80E3	5,000	35,00	6240	23,00				
Kazık sade Moh cou C:\Users\Hüseyin İ OK			2773	19,00	25,00	16,80E3	5,000	35,00	6240	23,00				
Kazık sade Moh cou C:\Users\Hüseyin İ OK			2773	10,00	42,00	16,80E3	5,000	35,00	6240	23,00				
Kazık sade Moh cou C:\Users\Hüseyin İ OK			2773	10,00	25,00	31,92E3	5,000	35,00	6240	23,00				
Kazık sade Moh cou C:\Users\Hüseyin İ OK			2773	10,00	25,00	16,80E3	10,00	35,00	6240	23,00				
Kazık sade Moh cou C:\Users\Hüseyin İ OK			2773	10,00	25,00	16,80E3	5,000	40,00	6240	23,00				
Kazık sade Moh cou C:\Users\Hüseyin İ OK			2773	10,00	25,00	16,80E3	5,000	35,00	11,86E3	23,00				
Kazık sade Moh cou C:\Users\Hüseyin İ OK			2773	10,00	25,00	16,80E3	5,000	35,00	6240	44,00				
Kazık sade Moh cou C:\Users\Hüseyin İ OK			2773	10,00	25,00	16,80E3	5,000	35,00	6240	23,00				

Şekil 5.11 Hassaslık analizi ve parametre değişimi analiz sonuçları.



BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Temel tasarımında, etki eden önemli iki faktör, temel taşıma gücü ve temelde meydana gelecek uzun dönem (konsolidasyon) oturmalarıdır. Temel taşıma gücünün yetersiz olduğu durumda ve aşırı oturmaların görüldüğü durumda, önce zemin iyileştirme yöntemleri önerilir daha sonra istenilen taşıma gücü ve kriterler sağlanmaz ise, derin temel sistemleri önerilmektedir.

Bu çalışmada, ilk aşamada, 17 m genişliğinde yayılı temeldeki uzun dönem oturmaları temel altında herhangi bir rijit kolonun olmadığı durumda, 54.80 cm olarak analiz edilmiştir. Buda bize oturmaların aşırı düzeyde olduğunu göstermektedir. Temel altına kazık tanımlanarak oturmalar 1.31 cm' e kadar düşürülmüş olup, toplam oturmalar %97 oranında azaltılmıştır.

Oturmada, etki eden parametreleri incelemek için, zeminlerin Elastisite Modülü (E), Kohezyon (c) ve Sürtünme Açısı (ϕ) değerleri %30-%60 ve %90 oranında artırılarak, oturma davranışına hangi parametrenin en etkili olduğu belirtilmiştir.

Yapılan analizlerde, statik durumda, Elastisite modülü %30 artırımdan, %90 artırıma gidilince, %17 oranında iyileşme göstermiştir. Kohezyon değerinde ve sürtünme açısı değerlerinde, %30 artırımdan, %90 artırıma gidilince, %0.02 ve %0.015 değerlerinde iyileşme olduğu gözlemlenmiştir. Dinamik durumda ise yine toplam oturma değerleri incelendiğinde, en iyi performansı Elastisite Modülü artırımlı model vermiştir.

Hassaslık analizi sonucunda, oturmaya etkili değişimi gösteren en etkin parametre %73 oranında, siltli kil tabakasındaki Elastisite modülü (E) değişimi olmaktadır. Bunu takiben, Siltli Kil1 tabakasında Elastisite modülü değişimi %12 ve killi kum tabakasında Elastisite modülü değişimi ise %10 olarak analiz edilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda Elastisite Modülü (E), Kohezyon (c) ve Sürtünme Açısı (ϕ) değerleri arasında oturma davranışına etki eden en önemli parametrenin Elastisite Modülü (E) olduğu görülmektedir.

Analizlerde, Elastisite Modülü (E), Kohezyon (c) ve Sürtünme Açısı (ϕ) değerlerinden ayrı olarak ayrıca zeminin diğer parametrelerine bakılarak ve bu değerlerin sayıları çoğaltılarak, ayrıca genel anlamda değerlendirme yapılmalı, bu parametrelerin etkilerine bağlı olarak ayrıca olasılıksal değerlendirmelerin yapılması da önerilmektedir. Analizlerde beklenen oturma durumlarının uyumluluğu, arazideki gerçek verilerle kıyaslanmalıdır.



KAYNAKLAR

- Berilgen M** (2010) *Plaxis ile Hesaplamalı Geoteknik Kursu*, İstanbul Kültür Üniversitesi, 16-18 Mayıs 2010, İstanbul, 24-26.
- Brinkgreve R and Broere W** (2006) *Plaxis 3D Foundation v1.6 Manual*, Delft, Nederland, 257 pp.
- Brinkgreve R and Vermeer P** (1998) *Plaxis 2D v8.2 Manual*, Rotterdam, Nederland, 215 pp.
- Broms B B** (1976) Pile Foundations-Pile Groups, *6th European Conference on Soil Mechanics & Foundation Engineering Conference Book*, 19-21 April 1976, Vienne, Austria, 103-132.
- Burland J B, Broms B B and de Mello V F B** (1977) Behaviour of Foundations and Structures, *9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 4-5 July, Tokyo, Japan, 495-546.
- Butterfield R and Douglas R A** (1981) Flexibility Coefficient For The Design of Piles and Pile Groups, *Construction Industry Research and Information Association Technical Note*, London, England, 125-159.
- Clancy P and Randolph M F** (1993) An Approximate Analysis Procedure For Piled Raft Foundations, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 17(12): 849-869.
- Cooke R W** (1986) Piled Raft Foundations On Stiff Clays. *A Contribution to Design Philosophy*, 36 (2): 169-203.
- Demirci T** (2012) Zeminlerin Rijitlik Azalımının Düşey Yükler Altındaki Kazıkların Davranışına Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 112 s.
- El-Mossallamy Y** (2002) Innovative Application Of Piled Raft Foundation in Stiff and Soft Subsoil, *International Deep Foundations Congress Conference Paper*, 22-25 February 2002, 426-440.
- Engin H K, Septanika E G and Brinkgreve R B J** (2007) Improved Embedded Beam Elements For The Modelling of Piles, *Proceedings of The 10th International Symposium on Numerical Models in Geomechanics*, 7-9 April 2007, Rome, Italy, 475-480.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Fleming W G K, Weltman A J, Randolph M F and Elson W K** (1994) *Piling Engineering*, 2nd edition, ISBN 9780-4191-61-806, Spon Press, Rickmansworth, United Kingdom, 408 pp.
- Franke E, El-Mossallamy Y and Wittmann P** (2000) Calculation Methods For Raft Foundations in Germany, *Design Applications of Raft Foundations*, Hemsley J A and Thomas T (Ed.), ISBN: 978-0727727657, ICE Publishing, Darmstadt, 283-322.
- Gök S** (1998) Kazıklı Radye Temellerin Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 175 s.
- Gök S** (2007) Kazıklı Radye Temellerin Tasarımı, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 205 s.
- Horikoshi K and Randolph M F** (1998) A Contribution To Optimum Design Of Piled Rafts, *Geotechnique*, 48 (3): 301-307.
- Kaltakçı V** (2009) Kazıklı Radye Temellerin Oturma Davranışının İki Ve Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Analizleri İle Karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 157 s.
- Karaşahin T** (1999) Kazıklı Radye Temellerde Yükün Kazıklar Ve Radye Arasındaki Paylaşımı, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 96 s.
- Katzenbach R, Arslan U, Moorman C and Reul O** (1998) Piled Raft Foundation – Interaction Between Piles And Raft, Darmstadt Geotechnics, *International Conference on Soil Structure Interaction in Urban Civil Engineering*, 7-9 September 1998, Darmstadt, Germany, 279-296.
- Katzenbach R and Moorman C** (2001) Recommendations For Design And Construction Of Piled Rafts, *15th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 29-31 August 2001, Istanbul, Turkey, 927-930.
- Ko H Y, Atkinson R H, Goble G G and Ealy C D** (1984) Centrifugal Modeling Of Pile Foundations, *In Analysis And Design Of Pile Foundations*, Meyer J R (Ed.) ISBN: 978-0-87262-427-6, Francis Publisher, New York, 21-40.
- Mandolini A, Russo G and Viggiani C** (2005) Pile Foundations: Experimental Investigations, Analysis And Design, *16th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 12-16 September 2005, Osaka, Japan, 177-213.
- Mungan H** (2016) Ground Improvement With Aggregate Piers, *Master Thesis*, İstanbul Kültür University, Institute of Science And Technology, Department of Civil Engineering, İstanbul, 122 pp.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- O'Neill M W, Caputo V, de Cock F, Hartikainen J and Mets M** (2001) Case Histories Of The Performance Of Pile Assisted Rafts, *International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering TC18 Subcommittee 2 Report*, 13-15 January 2001, 75-86.
- Öztürk K** (2008) Kazıklı Radye Uygulamaları, *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 146 s.
- Peschl G M** (2004) Reliability Analyses in Geotechnics with the Random Set Finite Element Method, *PhD Thesis*, Graz University of Technology, Institute for Soil Mechanics and Foundation Engineering, Graz, Austria, 205 pp.
- Prakoso W A and Kulhawy F H** (2001) Contribution To Piled Raft Optimum Design, *American Society of Civil Engineers Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(1): 17-24.
- Poulos H G and Davis E H** (1980) *Pile Foundation Analysis and Design*, ISBN: 0-471-02084-2, John Wiley&Sons Press, Sussex, 307 pp.
- Poulos H G** (1993) Piled Rafts in Swelling or Consolidating Soils, *American Society of Civil Engineers Journal of Geotechnical Engineering*, 119 (2): 374-380.
- Poulos H G** (1994) An Approximate Numerical Analysis of Pile-Raft Interaction, *International Journal of Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 18 (2): 73-92.
- Randolph M F** (1983) Design Of Piled Rafts, *International Symposium on Recent Developments in Laboratory and Field Tests and Analysis of Geotechnical Problems*, 6-9 December 1983, Bangkok, Thailand, 525-537.
- Rove R Kerry** (2000) *Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Handbook*, 1st edition, Kluwer Academic Publishers Group, ISBN: 978-1-4615-1729-0, Netherlands, 1087 pp.
- Sağlam N** (2003) Kazıklı Radye Temellerin Oturması: Hesap Metotlarının Ve Gerçek Problemlerin Eleştirel Yaklaşımla Tekrar İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 102 s.
- Sert S** (2003) Alüvyial Ortamda Kazıklı Yayılı Temellerin Üç Boyutlu Analizi, *Doktora Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 84 s.
- Sinha J and Poulos H G** (1997) Piled Raft Foundation Systems İn Swelling And Shrinking Soils, *14th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 12 September 1997, Hamburg, Germany, 1141-1144.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Skempton A W and MacDonald D H** (1956) The Allowable Settlements of Buildings, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 5 (6): 727-784.
- Thaher M and Jessberger H L** (1991a) The Behaviour of Pile-Raft Foundations, *Investigated In Centrifuge Model Tests*, 38 (14): 225-234.
- Thaher M and Jessberger H L** (1991b) Investigation of The Behaviour of Pile-Raft Foundations By Centrifuge Modelling, *10th European Conference on Soil Mechanics & Foundation Engineering*, 9-12 February 1991, Firenze, Italy, 597-603.
- Toğrol E ve Tan O** (2009) *Kazıklı Temeller*, ISBN 978-975-511-327-4, Birsen Yayıncılık, İstanbul, 256 s.
- Tomlinson M J** (1994) *Pile Design and Construction Practice*, 4th Edition, ISBN:0-415-38582-2, E&F Spon Publisher, London, 566 pp.
- Türkmen H K** (2008) Rijit Kazıklı Radyelerin Düşey Yükler Altında Taşması Üzerine DeneySEL Bir Çalışma, *Doktora Tezi*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 135 s.
- Uzuner B A** (2000) *Temel Mühendisliğine Giriş*, 5. Baskı, ISBN: 9789758053001, Derya Kitapevi, Trabzon, Turkey, 205 s.
- Vesic A S** (1969) Experiments with Instrumented Pile Groups in Sands, *Performance of Deep Foundations*, ASTM Special Technical Publication 444 (1): 177-222.
- Viggiani C** (2001) Analysis and Design of Piled Foundations, *Rivista Italiana di Geotecnica*, 35 (1): 47-75.
- Whitaker T** (1961) Some Experiments on Model Piled Foundations in Clay, *6th International Congress of International Association of Bridge Structure Engineering*, 9-13 February 1961, Stockholm, Sweden, 539-542.
- Yalçın A** (2010) Kazıklı Radyejeneral Temellerin Düşey ve Yatay Yükler Altında Davranışının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 117 s.
- Zhou Bo, Marshall A M and Yu H** (2014) The Effect of Relative Density on Settlement Above Tunnels in Sand, *International Symposium on Geomechanics from Micro to Macro*, 20-22 May 2014, Nottingham, United Kingdom, 127-139.
- Zienkiewicz O C** (1977) *The Finite Element Method*, 3rd edition, ISBN-13: 978-0070840720, McGraw Hill Higher Publisher, Maidenhead, London; New York, England, 787 pp.

ÖZGEÇMİŞ

Hatice GÖRKEN AŞIK, 02.12.1993 tarihinde Sivas'ta doğdu. İlköğretim ve lise eğitimini Ankara' da tamamladı. 2011 yılında girdiği Bülent Ecevit Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden Temmuz 2016' da mezun oldu. 2017 yılında Bir-Den Yapı Denetim Ltd. Şti.'de Yapı Denetim Kontrol Elemanı olarak çalıştı. 2017–2019 Öğretim Yılında Bülent Ecevit Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı ve öğrenimine devam etmektedir. İyi derecede İngilizce bilmektedir.

ADRES BİLGİLERİ:

Adres : Menderes Mah. Dergi Sok. Sevgi Apt. No:8/7

Tel : (+90) 506 476 24 87

E-posta: haticegorken@gmail.com