



**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI BOYUT VE ÖZELLİKLERDEKİ KAZIKLARIN GRUP
DAVRANIŞININ ANALİZ PROGRAMLARI İLE MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sid Ahmed BABA HAYBALLA

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Ocak 2024

**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI BOYUT VE ÖZELLİKLERDEKİ KAZIKLARIN GRUP
DAVRANIŞININ ANALİZ PROGRAMLARI İLE MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Sid Ahmed BABA HAYBALLA
(20262821138)
ORCID: 0000-0002-1899-1055**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Eray YILDIRIM
ORCID: 0000-0002-5134-0625**

Ocak 2024

BTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 20262821138 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Sid Ahmed BABA HAYBALLA, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "FARKLI BOYUT VE ÖZELLİKLERDEKİ KAZIKLARIN GRUP DAVRANIŞININ ANALİZ PROGRAMLARI İLE MODELLENMESİ " başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Eray YILDIRIM**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Eyübhan AVCI**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Sedat SERT**
Sakarya Üniversitesi

Teslim Tarihi :
Savunma Tarihi : 29.01.2024



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Sid Ahmed BABA HAYBALLA

İmzası :

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanma sürecinde, çalışmalarımı yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Eray YILDIRIM'a ve PLAXIS 3D Foundation programının kullanımında yardımlarını esirgemeyen kıymetli hocam Doç. Dr. Sedat SERT'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme en içten şükranlarımı sunarım.

Ocak 2024

Sid Ahmed BABA HAYBALLA
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
SEMBOLLER	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Kapsamı ve Amacı	1
1.2 Konu ile ilgili Yapılmış Çalışmalar	2
2. KAZIKLI RADYE TEMELLER	9
2.1 Temel Tipleri.....	9
2.2 Kazıklı Radye Temeller	9
2.2.1 Kazıklı radye temellerin kullanım amaçları.....	10
2.2.2 Kazıklı radye temellerin sayısal analizi	11
3. KAZIK ÇEŞİTLERİ	13
3.1 Ahşap Kazıklar.....	13
3.2 Betonarme Kazıklar	13
3.2.1 Önceden dökme (precast) betonarme kazıkları.....	13
3.2.2 Yerinde dökme kazıklar	14
3.3 Çelik Kazıklar	14
3.4 Kompozit Kazıklar	15
4. KAZIKLARIN TAŞIMA GÜCÜNÜN BELİRLENMESİ	16
4.1 Kazık Uç Direncinin Belirlenmesi	17
4.1.1 Meyerhof metodu.....	18
4.1.2 Vesic metodu	20
4.2 Kazık Sürtünme Direncinin Belirlenmesi	23
4.2.1 Kumlu zeminlerde sürtünme direncinin belirlenmesi.....	23
4.2.2 Killi zeminlerde sürtünme direncinin belirlenmesi.....	25
4.3 Kazık Yükleme Deneyleri.....	27
4.4 Kazık Grupları.....	28
4.4.1 Grup verimliliği	28
4.4.2 Kazıklarda negatif çevre sürtünmesi.....	30
4.4.3 Kazıklı radye grubunun oturması.....	31
4.5 Yanal Yük Altında Kazıkların Davranışı.....	33
4.5.1 Yanal yük altında kazıkların elastik çözümü	33
4.5.2 Broms metodu ile yanal yük altında kazıkların çözümü.....	38
5. MATERYAL VE YÖNTEM.....	42
5.1 Analizlerde Kullanılan Programlar	42

5.1.1 SAP2000 sonlu elemanlar programı	43
5.1.2 Plaxis 3D sonlu elemanlar programı	45
5.1.3 GEO5 sonlu elemanlar programı	46
5.2 Üstyapı Modellemesi ve Temele Aktarılan Yükler Belirlenmesi	48
5.2.1 Yapıdan temele aktarılan yükler	51
5.3 Zemin ve Kazık Modellerinin Özellikleri	52
5.4 Kazık Modellerin Özellikleri	53
5.5 Kazık Modellerin Hesabı	53
5.6 Kazık Donatı ve Beton Metrajı	59
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	60
6.1 SAP2000 Programı ile Modelleme ve Analiz	60
6.2 PLAXIS 3D Foundation ile Modelleme ve Analiz	62
6.3 GEO5 Programı ile Modelleme ve Analiz	64
6.4 Modellerin Analiz Sonuçları ve Karşılaştırma	65
6.4.1 Oturmalar ve yanal yerdeğiştirmeler karşılaştırılması	65
6.4.2 Kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri karşılaştırılması	67
6.4.3 Modellerin verimlilik değeri karşılaştırılması	69
6.4.4 Modellerin maliyet karşılaştırılması	71
6.4.5 Analiz programların karşılaştırılması	74
7. SONUÇLAR	75
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	80

SEMBOLLER

I	: Değişim faktör
I_p	: Kazık çevresel kesitinin momenti
I_r	: Esneklik endeksi
I_{rr}	: Rijitlik azalması endeksi
k	: Zeminin yatak katsayısı
k_z	: Z seviyesindeki zemin yatak katsayısı
K₀	: Zeminin pasif durumdaki basınç katsayısı
K₀	: Kumlu zeminlerde (aşırı konsolide) düşey gerilme ve efektif yatay gerilme oranı.
K_{onc}	: Kumlu zeminlerde (Normal konsolide) düşey gerilme ve efektif yatay gerilme oranı
ΔL	: Kazığın belirli bir katman içindeki uzunluğu
L_g	: Kazık grubunun uzunluğu, zemin elastisite modülü ile ilişkilendirilmiş bir katsayıya bağlıdır
M_g	: Kazıklı radye temelindeki kazıklara etkiyen moment
M_{z(z)}	: Belirli bir derinlikteki kazık momenti
M_y	: Kazığın Akma momenti
n₁	: Grup boyunca yer alan kazık sayısı kazık grubunda
n₂	: Kazık grubundaki kazıkların grup enindeki sayısı
N_{arazi}	: Standart Penetrasyon Testi (SPT) (Arazi deneyi)
N	: Çakma sayısı
N_c[*], N_q[*], N_σ[*]	: Yük taşıma kapasitesi faktörü
N	: Standart Penetrasyon Testi (SPT)
N_ø	: Drenajlı içsel sürtünme açısına bağlı olan bir katsayı
μ_s	: Zeminin poisson oranı
ξ	: Çevresel sürtünme direncine bağlı olan bir katsayı
σ₀'	: Efektif düşey gerilme
σ₀'	: Efektif normal gerilme
ø'	: Efektif içsel sürtünme açısı
ø_R'	: Örselenmiş kilin drenajlı içsel sürtünme açısına ilişkin katsayı

q_1	: Kazık uç direnci limit değeri
q_u	: Kayanın serbest basınç mukavemeti
q_{wp}	: Kazık ucundaki gerilme
Q_{all}	: Tek kazığın taşıyabileceği maksimum yükü
Q_F	: Dinamik kazık taşıma gücü
Q_g	: Kazığın maruz kaldığı yanal kuvvet
$Q_{g(u)}$	: Kazık grubunun maksimum taşıma kapasitesi
Q_n	: Kazığın üzerine etki eden aşağı yönlü kuvvet
Q_u	: Bir kazığın maksimum nihai taşıma gücü
Q_p	: Kazık uç direnci
Q_s	: Kazık çevre sürtünme direnci
Q_{wp}	: Servis yükü altında, kazık uç noktasında taşınan yük.
Q_{ws}	: Servis yükü altında kazık çevresinin taşınan yük
S	: Kazığın kesit modülü
S_e	: Kazık oturması
$S_{e(1)}$	: Kazığın kendi elastik oturması
$S_{e(2)}$	: Kazık ucundan kaynaklanan oturma
$S_{e(3)}$	: Kazık çevresinden kaynaklanan oturma
$S_{g(e)}$	: Kazık grubunun elastik oturması
S_{net}	: Net oturma
S_t	: Toplam oturma
T	: Kazık-zemin sistemi karakteristik uzunluğu
$V_{z(z)}$	: Kazığın herhangi bir derinlikte kesme kuvveti
$x_{z(z)}$	: Kazığın herhangi bir derinlikteki deplasmanı
Z	: Derinlik
N_{60}	: Teorik serbest düşme enerjisinin %60'ına göre düzeltilmiş hali N_{60} Standart penetrasyon direnci ortalama değeri.

ÇİZELGELER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 : TS 3168 standartlarına göre uygulanan yerinde dökme kazıkların minimum çapları.	14
Çizelge 4.1 : Enterpolasyon ile elde edilmiş Meyerhof metoduna göre içsel sürtünme açılarına ait N_q^* değerler.	19
Çizelge 4.2 : Kumlu zeminlerde Vesic metoduna göre N_{σ}^* taşıma kapasitesi faktörleri.	21
Çizelge 4.3 : Killi zeminlerde N_c^* 'nin $\phi = 0$, halinde I_{rr} ile değişikliği.	22
Çizelge 4.4 : Kumlu zeminlerde efektif zemin basınç katsayıları.	24
Çizelge 4.5 : Kazığın gömülü olduğu derinlikle birlikte λ değerinin değişimi.	25
Çizelge 4.6 : Ampirik adezyon faktörü α değerinin değişimi.	27
Çizelge 4.7 : Uzun kazıklar için katsayılar, $k_z = n_h z$	36
Çizelge 4.8 : Granüler zeminler η_h değerleri.	40
Çizelge 4.9 : Killi zeminler için K değerleri.	41
Çizelge 5.1 : Yapıdan temelin merkezine itilen yükler.	51
Çizelge 5.2 : Modellerde kullanılan zemin özellikleri.	53
Çizelge 5.3 : Analizlerde kullanılan yapısal malzeme özellikleri.	53
Çizelge 5.4 : Analiz programlarında kullanılan kazık modellerin özellikleri.	53
Çizelge 5.5 : Seçilen kazık mesafesi ve hesaplanan verimlilik değeri tablosu.	58
Çizelge 6.1 : Modellerin analiz programlardan elde edilen maksimum oturmaları ve yanal yer değiştirmeleri.	66
Çizelge 6.2 : Modellerin analiz programlardan elde edilen maksimum eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri.	68
Çizelge 6.3 : Modellerin maliyet analiz karşılaştırma tablosu.	71

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : Temellerin tipleri	9
Şekil 2.2 : Kazıklı radye temelin yük paylaşım mekanizması	10
Şekil 2.3 : Yükleri taşıma ve iletme şekilleri	11
Şekil 2.4 : Yaylar üzerinde şerit metodu kullanım, (a) kazıklı radye sisteminin kiriş ve yaylar aracılığıyla modellemesi, (b) ise kazıkların ve çevresindeki zeminin yaylar ifade edilmektedir..	12
Şekil 2.5 : Yaylar üstünde plak yaklaşımı	12
Şekil 4.1 : Kazığın toplam taşıma kapasitesi	16
Şekil 4.2 : λ Metodunun tabakalı zeminde uygulanması	26
Şekil 4.3 : Kazık yükleme deneyleri, a) eksenel yük deneyinin şeması, b) yük ve oturma ilişkisinin grafiksel gösterimi, c) yük ve net oturma ilişkisinin grafiksel gösterimi	28
Şekil 4.4 : Kazıklarda grup etkisi	29
Şekil 4.5 : Kazıkta oluşan negatif çevre sürtünmesi.....	31
Şekil 4.6 : Kazıklı radye grubunun konsolidasyon oturma	33
Şekil 4.7 : Kazıkta oluşan kesme kuvveti ve eğilme momenti, (a) rijit kazık (b) elastik kazık	34
Şekil 4.8 : Uzun kazıklar için katsayılar; A'_x , B'_x , A'_m ve B'_m 'nin Z ile değişimi.	37
Şekil 4.9 : Kumlu zeminlerde kısa kazıkların maruz kaldığı nihai yanal direnç.....	38
Şekil 4.10 : Killi zeminlerde kısa kazıkların maruz kaldığı nihai yanal direnç.....	39
Şekil 4.11 : Kumlu zeminlerde uzun kazıkların maruz kaldığı nihai yanal direnç . .	39
Şekil 4.12 : Killi zeminlerde uzun kazıkların maruz kaldığı nihai yanal direnç.	40
Şekil 4.13 : Kazık başlığı yerdeğiştirme, (a) kumlu zeminlerde ve (b) killi zeminlerde	41
Şekil 5.1 : SAP2000 programı ile kazık ve temel özellikleri tanımlanması.	43
Şekil 5.2 : SAP2000 programı ile zemin özellikleri tanımlanması.	44
Şekil 5.3 : Plaxis 3D foundation kazık grubuna yük tanımlanması.	44
Şekil 5.4 : Zemin ve kazık özellikleri tanımlanması.	45
Şekil 5.5 : Kazık grubuna yük bileşenler tanımlanması.	46
Şekil 5.6 : Plaxis 3D foundation, faz işleminin tanımlanması.	46
Şekil 5.7 : GEO5, kazık grubu yönetici ayarları ve güvenlik faktörleri.	47
Şekil 5.8 : GEO5, zeminin özelliklerini girilmesi.	47
Şekil 5.9 : GEO5 programında yükler tanımlanması.	48
Şekil 5.10 : Üstyapının kat planı, (kullanılan ölçüleri birimi metredir).	48
Şekil 5.11 : Üstyapı Sap2000 modeli.	49
Şekil 5.12 : Türkiye deprem tehlike haritaların çıktıları.	50
Şekil 5.13 : Deprem yer hareketi SAP2000 Programında tanımlanması.	50
Şekil 5.14 : Sap2000 programından alınan Mesnet Reaksiyonları.....	51
Şekil 5.15 : Analizlerde kullanılan zemin profili.	52
Şekil 5.16 : Meyerhof metodu ile kazık uç direnci hesabı.	55

Şekil 5.17 : Vesic metodu ile kazık uç direnci hesabı.	56
Şekil 5.18 : SPT korelasyon metodu ile kazık sürtünme direnci hesabı.	56
Şekil 5.19 : Tek kazığın taşıma kapasitesinin hesabı.	57
Şekil 5.20 : Kazık sayısının belirlenmesi, kazık yerleşim planlaması ve kazık verimliliği hesabı.....	57
Şekil 5.21 : Model 2 için kazık grubu yerleşim planı.....	58
Şekil 5.22 : Model 2 Kazık Donatı ve beton Metrajı.	59
Şekil 6.1 : SAP2000 programında Model-2 için zemin özelliklerinin tanımlanması.	60
Şekil 6.2 : SAP2000 programında temel özellikleri tanımlanması.	61
Şekil 6.3 : SAP2000 programında Model-2 için kazık ve temel modellenmesi.....	61
Şekil 6.4 : SAP2000 programı model yükleme durumu.....	62
Şekil 6.5 : Plaxis 3D Foundation 3D görünümü, zemin özellikleri tanımlaması.	62
Şekil 6.6 : Model 2 için PLAXIS 3D kazık grubu modellenmesi.	63
Şekil 6.7 : Plaxis 3D Foundation hesap fazlarının tanımlanması.	63
Şekil 6.8 : GEO5 3D görünümü, zemin özellikleri tanımlaması.....	64
Şekil 6.9 : GEO5 programı yükler ve momentler girilmesi.	65
Şekil 6.10 : Modellerin analizlerde oluşan maksimum oturmaları grafiği.	66
Şekil 6.11 : Modellerde oluşan maksimum yanal yer değiştirmeleri grafiği.....	67
Şekil 6.12 : Modellerde oluşan maksimum kesme kuvveti grafiği.	68
Şekil 6.13 : Modellerde oluşan maksimum eğilme mometi grafiği.	69
Şekil 6.14 : Modellerde hesaplanan M.das verimlilik grafiği.	70
Şekil 6.15 : Verimlilik ve oturma, yanal yerdeğiştirme, kesme kuvveti ve eğilme momenti karşılaştırılması.	71
Şekil 6.16 : Modellerin maliyet karşılaştırma grafiği.....	72
Şekil 6.17 : Maliyet ve verimlilik karşılaştırılması.	72
Şekil 6.18 : Maliyet ve oturma, yanal yerdeğiştirme, kesme kuvveti ve eğilme momenti karşılaştırılması.	73
Şekil 6.19 : Analiz Programların karşılaştırılma grafiği.....	74

FARKLI BOYUT VE ÖZELLİKLERDEKİ KAZIKLARIN GRUP DAVRANIŞININ ANALİZ PROGRAMLARI İLE MODELLENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, farklı derinlik, çap ve grup sayılarındaki kazıkların eksenel ve yanal yükler altındaki maksimum oturmaları, yanal yer değiştirmeleri, kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri SAP2000, Plaxis 3D foundation ve GEO5 programları ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada 70, 90 ve 110 cm çapında ve 15 ile 20 metre derinliğe sahip toplam altı farklı kazık modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bu kazık modellerinin uç direnci ve sürtünme direnci farklı metotlar kullanılarak hesaplanmıştır. Kazıkların sayısal modelleri oluşturulduktan sonra, SAP2000 programı kullanılarak 15 katlı bir üst yapı modeli oluşturulmuş ve üst yapıdan temele gelen yanal ve düşey yükler analiz edilmiştir. SAP2000, Plaxis 3D foundation ve GEO5 programları kullanılarak, kazık modellerinin grup davranışı analiz edilmiş ve her bir model için üç farklı programda maksimum düşey oturma, yanal yer değiştirme, kesme kuvvetleri ve momentleri analiz edilmiş ve kazık grup verimliliği hesaplanmıştır. Aynı kazık çapına sahip kazıklar için uzunluk arttıkça oturma miktarı artmakta, aynı uzunluktaki kazıklar için ise çapın büyümesi oturmaları azaltmaktadır. Aynı kazık çapı için kazık uzunluğu arttıkça kesme kuvveti ve eğilme momenti artmakta ve aynı kazık uzunluğu için kazık çapı büyüdükçe kesme kuvveti ve eğilme momenti artmaktadır. Tüm modellerin kesme kuvveti ve eğilme momenti sonuçlarına göre, kazık çapının büyük seçilmesi durumunda daha az kazık sayısı oluşur. Bu durumda, kazık grubunun karşılayabileceği yanal yük azalır, ve bu da kesme kuvveti ile eğilme momentinin artmasına neden olmaktadır. En yüksek kazık grup verimliliği 90 cm çap ve 20 m derinliğe sahip kazık modelinde (Model 4) elde edilirken, en düşük verimlilik 70 cm çapında 15 m derinliğe sahip kazık modelinde (Model 1) gözlenmiştir. Oturmalar, yanal yer değiştirmeler, kesme kuvvetleri, eğilme momentleri, kazık verimliliği ve kazık maliyeti parametreleri dikkate alındığında, Model 1 (70 cm çap, 15 m derinlik) tercih edilebilir bir seçenek olarak değerlendirilebilir. Buna karşın kazık sayısının daha az ve maliyetin bir miktar fazla olduğu Model 3 (90 cm çap, 15 m derinlik) nispeten en verimli seçenek olarak yorumlanabilir. Analiz programlarının verilerinin karşılaştırılması yapıldıktan sonra, sonuçları arasında düşey oturmalarda %3.85-8.2, yanal yer değiştirmelerde %1.52-3.8, kesme kuvvetinde %13.8-32.7 ve eğilme momentinde ise %4.38-11.8 civarında farklılık göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kazık, Kazıklı Radye, SAP2000, PLAXIS 3D Foundation, GEO5.

MODELING OF PILE GROUP BEHAVIOR OF DIFFERENT SIZES AND FEATURES USING ANALYSIS PROGRAMS

SUMMARY

In this study, the maximum settlements, lateral displacements, shear forces, and bending moments of piles with different depths, diameters, and group numbers under axial and lateral loads were compared using the SAP2000, Plaxis 3D Foundation, and GEO5 programs. Six different pile models were formed with diameters of 70, 90, and 110 cm and depths ranging from 15 to 20 meters. The tip resistance and frictional resistance of these pile models were calculated using different methods. After forming numerical models of the piles, a 15-story superstructure model was built using the SAP2000 program, and the lateral and vertical loads from the superstructure to the foundation were analyzed. The group behavior of the pile models was analyzed using the SAP2000, Plaxis 3D Foundation, and GEO5 programs. For each model, maximum vertical settlement, lateral displacement, shear forces, and moments were analyzed using the three programs, and pile group efficiency was calculated. For piles with the same diameter, the settlement increases as the length increases, and for piles with the same length, increasing the diameter reduces settlements. As the length of piles with the same diameter increases, the shear force and bending moment also increase, and for piles with the same length, increasing the diameter leads to an increase in shear force and bending moment. Based on the results of shear force and bending moment for all models, selecting a larger pile diameter results in fewer piles, reducing the lateral load-bearing capacity of the pile group and increasing shear force and bending moment. The highest pile group efficiency was obtained in the pile model with a diameter of 90 cm and a depth of 20 m (Model 4), while the lowest efficiency was observed in the pile model with a diameter of 70 cm and a depth of 15 m (Model 1). Considering settlements, lateral displacements, shear forces, bending moments, pile efficiency, and pile cost parameters, Model 1 (70 cm diameter, 15 m depth) can be considered as a preferable option. However, Model 3 (90 cm diameter, 15 m depth), with fewer piles and slightly higher costs, can be relatively interpreted as the most efficient option. After comparing the data from the analysis programs, differences were observed in vertical settlements 3.85-8.2%, lateral displacements 1.52-3.8%, shear forces 13.8-32.7%, and bending moments 4.38-11.8%.

Keywords: Pile, Pile Raft Systems, SAP2000, PLAXIS 3D Foundation, GEO5

1. GİRİŞ

Dünya genelinde nüfus yoğunluğunun artması, konut ihtiyacının karşılanması amacıyla yapılan konut inşaatlarını artırmıştır. Ancak, bu yapılaşma süreci beraberinde uygun olmayan zemin koşullarını getirebilir. Bu durumda, yapıların oturduğu zeminin daha güvenli bir şekilde tasarlanması önemli hale gelir. Bu güvenliği sağlamanın bir yolu da derin temel çeşitleri arasında yer alan kazıklardır. Kazıklı radye temel sistemi, inşaat mühendisliği ve zemin mekaniği alanında kullanılan bir temel sistemidir. Özellikle zeminin taşıma kapasitesinin düşük olduğu veya drenaj sorunları yaşandığı koşullarda, bu sistem yapıların güvenli bir şekilde inşa edilmesine olanak tanır. Kazıklar, zeminin derinliklerine çakılarak veya delinerek yerleştirilir. Bu sayede kazıklar, zeminin daha sağlam ve taşıma kapasitesi yüksek bölgelerine ulaşmak için kullanılır. Kazıklı radye temel sistemi, zemin mühendisliği prensiplerine dayanır ve mühendislerin, zeminin özelliklerini ve yapının gereksinimlerini dikkate alarak projeleri optimize etmelerine olanak tanır. Bu yöntem, yapıların güvenli ve dayanıklı bir temel üzerine inşa edilmesini sağlayarak, konut ihtiyacının karşılanmasında önemli bir rol oynamaktadır.

1.1 Tezin Kapsamı ve Amacı

Bu çalışmada, aynı yapı ve zemin altında farklı analiz programları kullanılarak kazıklı radye sisteminin modellenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın ana odak noktaları arasında farklı kazık çapları ve derinlikleri bulunmaktadır. Toplam altı farklı model oluşturularak hem düşey hem de yanal yükler altındaki davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında, farklı çaplardaki kazıkların (70 cm, 90 cm ve 110 cm) ve iki farklı derinlikteki (15 m ve 20 m) kazık modellerinin davranışları incelenmiştir. Ayrıca, her bir model için kazık sayıları, Microsoft Office Excel programı kullanılarak manuel olarak hesaplanmış ve bu kazık grupları analiz programlarında modellenerek temel altına uygun bir şekilde yerleştirilmiştir. Öte yandan, her model

için kazık grup verimliliği de Microsoft Office Excel programı kullanılarak hesaplanmıştır.

Çalışma kapsamında, kazık gruplarının maliyet analizi de 2023 yılı piyasa ortalama fiyatları üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu maliyet analizi, kazık gruplarının ekonomik açıdan etkinliğini değerlendirmek için yapılmıştır.

Çalışmanın son aşamasında, kazıkların sayısı ve özelliklerinin, kazıklı radye sistemi üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Her kazık grubu için yapılan modellemelerin analiz sonuçları, SAP2000, Plaxis 3D Foundation ve GEO5 programlarından elde edilen maksimum düşey oturmalar, yanal yer değiştirmeler, kesme kuvvetleri ve momentleri içermektedir. Analiz sonuçlarının incelenmesi, kazıkların grubu ve radye temelinin arasındaki yük paylaşımından kaynaklanan oturmaların, yanal yer değiştirmelerin, kesme kuvvetlerin ve eğilme momentlerinin kazık mesafesinin artmasıyla birlikte nasıl değiştiğini göstermektedir.

1.2 Konu ile ilgili Yapılmış alışmalar

Bir kazığın ve kazık grubunun düşey ve yanal yük altındaki davranışı, birçok araştırmanın merkezi konularından birini oluşturmuştur. Özellikle son yıllarda, zemin problemlerinin üzümünde düşey ve yanal yüklerin kazık davranışına olan etkisiyle ilgili araştırmaların sayısında artış gözlemlenmiştir. Aşağıda, yapılan çalışmaların literatür araştırması özetlenmiştir.

Mendonca ve De Paiva, (2003); tarafından sunulan bir sonlu eleman metodunun formülasyonunda, esnek kazıklı plakaların analizi için plaka, kazık ve zemin arasındaki tüm etkileşimler dikkate alınmıştır. Çalışmada, iki tür problem analiz edilmiştir. İlk olarak, dairesel ve dikdörtgen plan formlarına sahip plakaların toprak etkileşimleri ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlar, literatürde rapor edilen sayısal ve analitik üzümlere yakın olup, ikinci durumda ise bu sonlu elemanlar yaklaşımıyla analiz edilen durum, rijit kazıklar boyunca eğilme momentlerini göstermiştir. Analizlerde, her iki sonlu eleman modelinde de enine deplasmanlar çok yakın değerlere sahipti. Ancak, özellikle kazığın rijit olduğu varsayıldığında, eğilme momenti dağılımında bu performans gözlemlenmemiştir [1].

Kitiyodom ve Matsumoto, (2003); eksenel ve yanal yüklerle etkilenen homojen olmayan zeminlere gömülü kazıklı radye temel deformasyonunu ve yük dağılımını

analiz etmek için basitleştirilmiş bir analitik yöntem geliştirmişlerdir. Önerilen yöntem, önceki araştırmaların sonuçları ve daha katı sonlu eleman yaklaşımı sonuçları ile karşılaştırmalar aracılığıyla doğrulanmıştır. Bu karşılaştırmalar, genişletilmiş sonlu elemanlar metodun homojen olmayan zeminlerde tek kazıkların, kazık gruplarının ve kazıklı radye temellerin deformasyonunu ve yük dağılımını makul bir şekilde tahmin edebileceğini göstermiştir [2].

Wong ve Poulos, (2005); GEPAN (General Piles Elastic Analysis) adlı bilgisayar programıyla yürütülen bir parametrik çalışmanın sonucunda geliştirilen, iki farklı kazık arasındaki etkileşim faktörünü tahmin etmek için basitleştirilmiş bir yöntem sunulmuştur. Bu yaklaşım, farklı çap, uzunluk ve kazık uç koşullarına sahip kazıkların etkileşim faktörlerini tahmin etmenin kullanışlı bir yolunu sağlayabilir. Pratik bir sorun için hızlı bir tahmin yöntemi sunmak amacıyla, burada sunulan basitleştirilmiş yaklaşım, etkileşim faktörlerini kullanan kazık grubu ve kazıklı radye analizi yöntemlerine kolayca entegre edilebilir [3].

Garcia ve diğ., (2005); bu çalışmada, iki fazlı poroelastik zeminlere gömülü kazıkların ve kazık gruplarının zamana bağlı dinamik rijitlik katsayılarının hesaplanması için üç boyutlu bir kenetli eleman yaklaşımı sunulmuştur. Kazıklar, sürekli elastik veya viskoelastik katılar olarak modellenirken çevresindeki zemin, sıvı dolu poroelastik bir yarı uzay olarak modellenmiştir. Zeminin daha karmaşık geometrilerinin, poroelastik ve viskoelastik zeminlerin, zorluk olmadan incelenebilmesi mümkündür. Tek fazlı bir model aracılığıyla drenajlı veya drenajsız bir dinamik davranışın simülasyonu, zemin özelliklerine ve temelin geometrik konfigürasyonuna bağlı olarak gerçekçi olmayan sonuçlara yol açabilir. Poroelastik zeminlerde kazıkların ve kazık gruplarının dinamik analizi için kullanılacak herhangi bir model, malzemenin tüm parametrelerini içermelidir [4].

Vasquez, ve diğ., (2006); kazıklı radye temellerin davranışını değerlendirmek için üç boyutlu doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizini kullanmışlardır. Kazıklı temellerin analizi için elastik üç boyutlu sonlu elemanlar analizi (Novak 2005) önerilmiştir. Elastik analiz, temelin farklı bileşenleri arasındaki yük aktarım düzeylerinin iyi bir tahminini sağlayabilir; ancak zeminin doğrusal olmayan davranışı nedeniyle temel kapasitesinin tahmini o kadar doğru olmayabilir. Bu nedenle, temel kapasitesinin küçük düzeydeki deformasyonlarda bile daha iyi tahmin edilebilmesi için doğrusal olmayan bir analiz önerilmiştir [5].

Comodromos ve diğ, (2009); deneysel veriler kullanılarak bir kazıklı temel tasarımı için 3 boyutlu sayısal bir analiz gerçekleştirilmiştir. Kazık başlığının kalınlığı, kazıkların çapından daha az olduğunda, uygulanan yük genellikle yüklenmiş bölgenin yakınındaki kazıklara dağılmaktadır. Beş kazık çapı veya daha az olan geleneksel kazık aralıkları için, başlığın kalınlığı üç katından fazla olduğunda, rijitlik başlığı pratikte rijit bir cisim haline getirir ve bu nedenle uygulanan yükün konumu ve formu, bir grup kazığa dağılımı etkilemez. Bu durumda, kazık-zemin-kazık etkileşimi, kazık grubu konfigürasyonuna ve yerleşim düzeyine bağlı olarak yük dağılımını etkileyen ana faktör olarak kalmaktadır [6].

Nesrin, (2010); eprem yükleri altındaki koşullarda kazık-zemin ve kazık-kazık etkileşimini detaylı bir şekilde incelemek amacıyla SAP2000 sonlu elemanlar programını kullanarak zemin-kazık sistemi üzerine kapsamlı bir analiz gerçekleştirmiştir. Bu çalışma, yapıların deprem performansını ve güvenliğini artırmak için kazık temelli temellerin tasarımında önemli bir rol oynayan zemin-kazık etkileşimini daha iyi anlamayı amaçlamıştır [7].

Srilakshmi ve Moudgalya, (2013); çalışmada kazıklı radye temellerin analizi gerçekleştirilmiştir. ANSYS sonlu elemanlar yazılımı programı kullanılarak Kazıklı radye temellerin davranışını anlamak için orta kumda farklı kombinasyonlarda kazık çapları ve kazık uzunlukları değiştirilerek parametrik çalışmalar yapılmıştır. Kazık çapı arttıkça nihai yük önemli ölçüde artmaktadır. Elde edilen sonuçlardan eşit çaplı kazıklardan farklı çaplarda kazıkların sağlanmasında fayda olacağını gösterilmiştir [8].

Anhtuan ve diğ, (2014); çalışmada, Plaxis 3D programı kullanılarak 3 boyutlu sonlu elemanlar analizi ile kazıklı radye temellerin oturma davranışını vurgulamaktadır. Kazık sayısının, kazık uzunluğunun, kazık düzeninin ve kazık aralığının kazıklı radye temellerin davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sayısal sonuçlar, Kazıklı radye temelin oturmayı azaltmada geleneksel radye temele göre çok daha verimli olduğunu göstermektedir. Kazık sayısının, kazık uzunluğunun, kazık aralığının ve bunun tersinin artması sonucu düşey oturma değeri azalır. Kazık düzeni, kazıklı radye temelin maksimum oturmasının hem değeri hem de yeri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [9].

Watcharasawe ve diğ, (2015); çalışmanın çok yumuşak zemin koşullarında uygulanabilirliğini değerlendirmek amacıyla, üç boyutlu Sonlu Elemanlar Metodu

kullanarak kazıklı radye ve kazık grubu temel sistemlerinin sayısal analizlerini gerçekleştirilmiştir. Kazıklı radye temelin performansının değerlendirilmesi, yani kazıkların yük paylaşım oranı hem radye hem de kazık davranışları, kazık grubunun diğerleriyle karşılaştırılarak tartışılmaktadır. Çalışmada sınırlı sayıda durum ve varsayımlar göz önüne alındığında, sonuçlar, 2 katlı bodrumu olan düşük katlı binalar için kazıklı radye sisteminin potansiyelini göstermektedir. Bu koşullarda, radye, yaklaşık %20 civarındaki bir kazığın taşıma kapasitesini taşıyabilir. Ancak, temel tasarımındaki kazıkların güvenlik faktörü de kazıklı radye temelin etkinliğinde önemli bir rol oynar gibi görünmektedir ve daha fazla incelenmelidir [10].

Roshan ve Shooshpasha (2014); tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kazıklı radye temellerin analizi ve parametrik bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma, sonlu elemanlar tabanlı yazılım Plaxis kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kazıklı radye sisteminin elemanları için çeşitli parametreler belirlenmiştir. Yumuşak kildeki kazıklı radyelerin oturması, radye kalınlığı arttıkça azalmaktadır. Dolayısıyla, radye kalınlığının artırılması öncelikle farklı oturmaların azaltılmasında etkili olmaktadır. Kazıklı radye sisteminin toplam ve diferansiyel oturmasının belirlenmesinde, hem radyenin hem de kazık grubunun rijitliği önemli bir rol oynamaktadır. Radye kalınlığının artırılması, özellikle 2,5 m kalınlığa kadar olan durumlarda, hem toplam hem de diferansiyel oturmalarda önemli bir azalma sağlamıştır [11].

Elwakil ve Azzam, (2016); kazıklı radyelerin kumdaki davranışını incelemek için, temel sisteminin küçük ölçekli modelleri üzerinde kazıklı radye sistem testlerinin deneysel ve sayısal çalışması yapılmıştır. Kazıklı radye sistemde kuma oturan radyenin taşıdığı yükün yüzdesi %39 civarındadır. Kazık uzunluğu ve sayısı azaldıkça radyenin taşıdığı yük yüzdesi artar. Kazığın uzunluğu azaldıkça radyenin taşıdığı yük yüzdesi %38'e kadar çıkmaktadır. Kazık sayısı azaldıkça radyenin taşıdığı yük yüzdesi %55'e kadar çıkmaktadır. 16 kazıklı radye için ulaşılan nihai yük, 4 kazıklı radye için %30 daha fazladır. Oturma oranı S/B %0,7'den küçük veya buna eşit olduğunda kazıklı radyenin taşıdığı yük, her oturma oranı için radyenin taşıdığı yük ile kazıkların taşıdığı yükün toplamından daha yüksektir [12].

Wulandari ve Tjandra, (2015); çalışma, aynı yükleme altında kazıklı radye temel olarak kazıkların eklenmesiyle radye temeldeki oturmaların analiz edilmesini amaçlamaktadır. Sayısal analiz, çeşitli kazık sayıları dikkate alınarak PLAXIS 2D kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile yapılmıştır. Sonuç olarak, kazık eklenmesi

oturmaları azaltabilmektedir ancak belirli bir kazık sayısına ulaşıldıktan sonra kazık sayısının arttırılması oturmanın sabit kalma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Ekonomik bir tasarım için kazıklı radye temel sisteminde izin verilen oturmalara göre optimum kazık sayısının dikkate alınması gerekir. Çalışmadaki sonlu elemanlar analizine göre az sayıda kazık eklenmesi bile kazıklı radye temelin oturmasını azaltmaktadır. Kazık eklenmesi oturmayı azaltabilir ancak belirli bir kazık sayısına ulaşıldıktan sonra kazık sayısının arttırılması oturmanın sabit kalma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Ekonomik bir tasarım için Kazıklı radye temel sisteminde izin verilen oturmalara göre optimum kazık sayısının dikkate alınması gerekir [13].

Sinha ve Hanna, (2016); kazıklı radye temel performansını incelemek amacıyla 3 boyutlu sonlu eleman modeli geliştirilmiştir. Radye yer değiştirme, kazık aralığının artmasıyla artmakta ve kazık boyutu ile uzunluğunun artmasıyla azalmaktadır. Kazık aralığı, kazık boyutu ve uzunluğunu azaltma avantajlarını dengeleyerek, sistem kazıklı radye temel olarak işlev göstermeye başlar ve kazık boyutu ve uzunluğunun yer değiştirmeyi azaltma avantajları azalır. Bu nedenle, ekonomik tasarım elde etmek için kazık aralığı, boyutu ve uzunluğu arasında bir denge bulunmalıdır. Daha ince bir radye, kazıklar tarafından paylaşılan yükte düzensizlikle sonuçlanabilir, bu da kazık temel tasarım prensibinden sapmaktır; bu durumda, radye içinde önemli diferansiyel yer değiştirme meydana gelebilir ve aşırı yüklü kazıkların başarısız olmasına neden olabilir [14].

Samanta ve Bhowmik, (2017); taş kolonlar ile güçlendirilmiş zeminde kazıklı radye temel davranışı, üç boyutlu sonlu eleman analizi kullanılarak araştırılmıştır. Taş kolonlarının çapının artması (alan yer değiştirme oranı), taş kolonları tarafından paylaşılan yük oranını artırırken, aynı zamanda kazıklar tarafından paylaşılan yük oranını azalttı. Ancak, düşük sıkıştırma modülü nedeniyle temel sistemin yer değiştirmesini azaltma üzerinde önemsiz bir etkisi vardı. Taş kolonlarının uzunluğunun artması (taş kolonlarının kalınlık oranı), temel sistemin yer değiştirmesini azaltmada etkili bulunmuş, ancak taş kolonları veya kazıklar tarafından paylaşılan yükü etkilememiştir. Radye kalınlığının artması, sadece taş kolonları tarafından paylaşılan yük oranını artırmakla kalmamış, aynı zamanda temeldeki toplam ve diferansiyel yer değiştirmeleri büyük ölçüde azaltmıştır [15].

Mali ve Singh, (2018); çalışmanın amacı, büyük kazıklı-radye temelinin yer değiştirme, yük paylaşımı, eğilme momentleri ve kayma kuvveti davranışı üzerinde

kazık aralığı, kazık uzunluğu, kazık çapı ve radye-zemin rijitlik oranının etkisini incelemektir. Sonuçlar, kazık aralığının kazık çapının 5 ila 6 katına kadar artmasıyla ortalama yer değiştirme oranının ve diferansiyel yer değiştirme oranının etkili bir şekilde azaldığını ve bundan sonra yavaşça arttığını göstermiştir. Daha küçük radye-zemin rijitlik oranına sahip olan ve daha büyük kazık grubuna radye genişliği oranına sahip olan radyeler, ortalama yer değiştirme oranını azaltmada etkili olduğu gözlemlenmiştir. Yük paylaşım oranı, kazık aralığının artmasıyla azalırken; kazık uzunluğu arttıkça artmaktadır. Kazık aralığı arttıkça eğilme momenti oranı artmış ve kazık uzunluğu arttıkça eğilme momenti oranı, 0.6'lık kazık grubu genişliği oranına kadar azalmış ve bundan sonra artmıştır [16].

Deb ve Pal, (2019); çalışmada düşey ve yanal yüklerin birleşimine maruz kalan kazıklı radye üzerinde 3 boyutlu sonlu elemanlar modellemesi ile sayısal analizler yapılmıştır. Çalışmada kullanılan zemin profili killi zemindir. Altında bir kum tabakası bulunur ve kil tabakası kalınlığının gömülü kazık uzunluğu üzerindeki etkisi kontrol edilir. Birleşik yükleme durumunda, kesme kuvveti ve eğilme momenti düşey yüklemenin artmasıyla birlikte artma eğilimindedir. Kazık başında negatif bir bükülme momenti üretilirken, kazık uzunluğunun 0,33-0,5 katı derinlikte pozitif bir bükülme momenti oluşturulur. Kazıklı radyedeki kazıklara bakıldığında en yüksek eğilme momenti ve kesme kuvvetini ön sıradaki kazık alırken, en az eğilme momenti ve kesme kuvvetini arka kazık almaktadır [17].

Chaudhuri ve diğ, (2020); çalışmada, çeşitli etkili parametreleri içeren çok yumuşak kilde gömülü yapı sistemlerini destekleyen kazıklı radye temellerinin deprem davranışını incelemektedir. Kazıklı radye sistemi, üç boyutlu (3D) sonlu eleman analizi kullanılarak modellenmiştir. Kazık üzerindeki eğilme momenti, parametrik değişikliklere bakılmaksızın, radyenin altındaki 0.3 m ile 1.0 m derinlik aralığında maksimumdur. Yapının periyodu arttıkça, kazık üzerindeki eğilme momentinin arttığı gözlemlenmiştir; ancak bu artış, şaftın görelî rijitliğinin yüksek olduğu durumlarda (yani, rijit bir radye durumunda) daha da büyük olacaktır. Diğer yandan, kazığın simetrik ve asimetrik uzunluğunun eğilme momenti dağılımı üzerinde marjinal bir etkisini gözlemlenmiştir [18].

Al-Ne'aimi ve S. Hussain, (2021); çalışmada, radye kalınlığını, kazık sayısını, aralığını ve grup içindeki kazıkların çapını değiştirerek kazıksız ve kazıklı radyenin 3D sayısal çeşitli analizlerini sunulmuştur. Radye kalınlığı, maksimum yer

değiştirmeye veya kazıklar tarafından paylaşılan yüke kıyasla diferansiyel yer değiştirmeler ve eğilme momentleri üzerinde belirgin etkilere sahiptir. Kazık çapı ve kazıklar arasındaki aralık, kazık radye temel performansı üzerinde önemli etkilere sahiptir. Bunlar, toplam veya diferansiyel yer değiştirmeyi, kazık başlığı veya radye içindeki eğilme momentlerini büyük ölçüde etkiler ve bu nedenle kazıklar tarafından emilen yükü etkiler. Kazık çapı arttıkça, maksimum yer değiştirme azalır ve sonuç olarak yer değiştirme iyileştirmesinin yüzdesi artar. Bu davranış, kazığın kesit alanının büyütülmesi olarak adlandırılır ve bu açıkça kazık boyunca gelişen deri sürtünmesini ve uçlarda gelişen taşıma kuvvetlerini değiştirir ve sonuçta onların nihai taşıma kapasitelerini artırır [19].

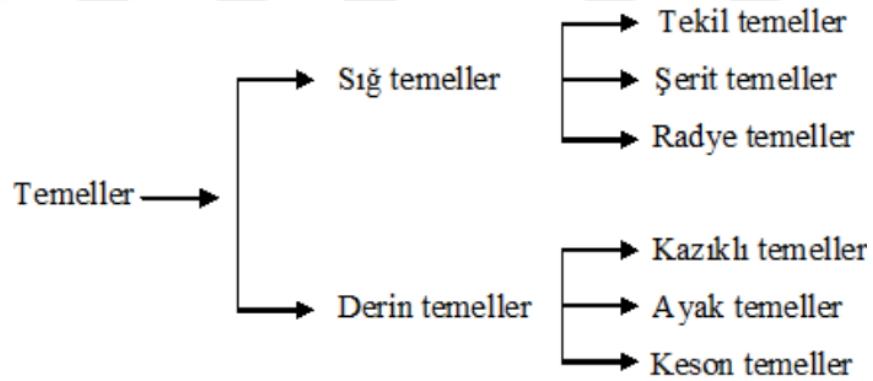
Amornfa ve diğ, (2022); çalışmada, bir kazıklı radye sistemi PLAXIS 3D kullanılarak sayısal analiz yapılmıştır. Sonuçlar, kazık sayısının artması, kazık uzunluğunun artması ve radye derinliğinin artmasıyla toplam ve diferansiyel yer değiştirmenin azaldığını göstermiştir. Optimal tasarım, 60-70 arasında değişen kazık sayılarından oluşmaktadır ki bu, kazık aralıklarının kazık çapının 5.5-6 katı olması (D_p) ile birleştirilmiş ve kazık uzunluğu ile kazık çapı oranının 30 olduğu durumlarla ilişkilidir. Ayrıca, radyenin ikinci katmanında yer alarak raft tarafından yük paylaşımı, bina yükünün %66'sına ulaşabilmektedir. Önerilen kazıklı radye temel modeli, geleneksel tasarıma kıyasla toplam temel maliyetini %49.61 azaltabilir [20].

Chimdesa ve diğ, (2023); çalışma, PLAXIS 2D ve GEO5 gibi sonlu eleman programlarını kullanarak deneysel verileri analiz ederek, temel tipleri arasındaki yük taşıma kapasitesini, şunlar arasında temeller, kazık grupları ve kazıklı radyeleri incelemektedir. Kazık grup analizinde, çalışma, kazık uzunluğunun artmasının temel nihai kapasitesini olumlu bir şekilde etkilediğini bulmuştur. Ayrıca, kazık uzunluğunu ve kalınlığını artırarak %50'ye kadar yer değiştirmeyi azaltmanın, temel nihai kapasitesi üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu keşfetmiştir. Dairesel kazık şekilleri, dikdörtgen şekillere kıyasla daha az yer değiştirmeyi göstermiştir, oysa dikdörtgen kazık başlığı, daire kazık başlığından daha fazla yer değiştirmeyi göstermiştir. Öte yandan, farklı zemin tiplerini düşündüğümüzde, yüksek plastik indekse sahip kil, ince daneli zemin arasında önemli bir yer değiştirmeyi göstermiştir [21].

2. KAZIKLI RADYE TEMELLER

2.1 Temel Tipleri

Temel, inşa edilen yapının üzerindeki hareketli (insanlar, mobilya, vb.) ve statik (döşeme, vb.) yükleri zemine ileten önemli bir yapı elemanıdır. Yapı temeli genellikle zeminin altında yer alsa da, bazı durumlarda zemin yüzeyinin üstünde de olabilir. Farklı zemin koşulları ve yapı tasarımları için çeşitli temel tipleri bulunmaktadır. Doğru temel tipini seçmek için zemin testlerinin, yapı boyutlarının, yüksekliğinin ve yapının taşıyacağı yüklerin bilinmesi gereklidir. Uzuner'e (2011) göre, temeller genellikle yüzeysel ve derin temeller olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi, yüzeysel temeller tekil, şerit ve radye temelleri bulunurken, derin temeller kazıklı, ayak ve keson temelleri bulunmaktadır [22].

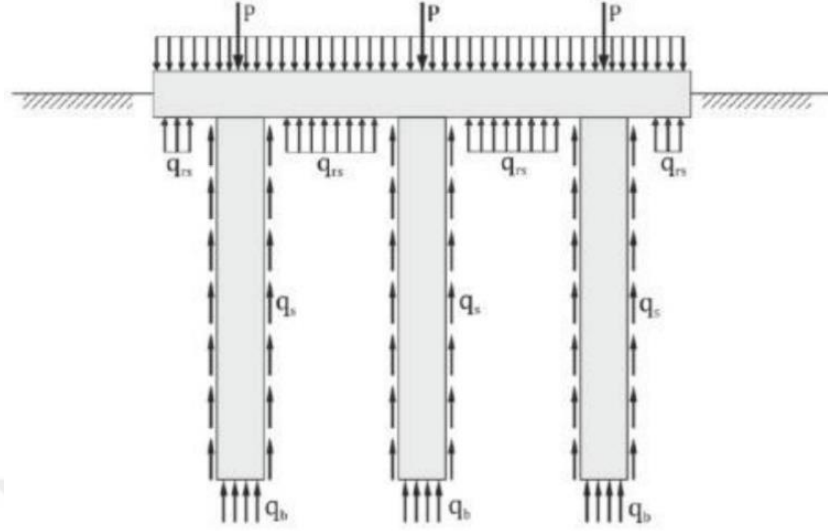


Şekil 2.1 : Temellerin tipleri.

2.2 Kazıklı Radye Temeller

Kazıklı radye temeller, özellikle zeminin taşıma kapasitesinin düşük olduğu durumlarda veya temel oturmalarını minimize etmek amacıyla kullanılan özel bir temel sistemidir. Kazıklı radye temeller, üç ana bölümden oluşan temel sistemleridir, kazıklar, radye ve temel zeminidir. Uygulanan yükler, kazıklar ve radye aracılığıyla zemine iletilir. Sistemdeki yük aktarma mekanizması, Şekil 2.2'de basit bir şekilde tasvir edilmiştir. Bu yük paylaşımı, radye temel ile kazıklar arasındaki ilişkiyi

gösterir ve kazıklı radye temel sistemini diğer kazıklı temel tiplerinden ayıran temel bir özelliktir [23].



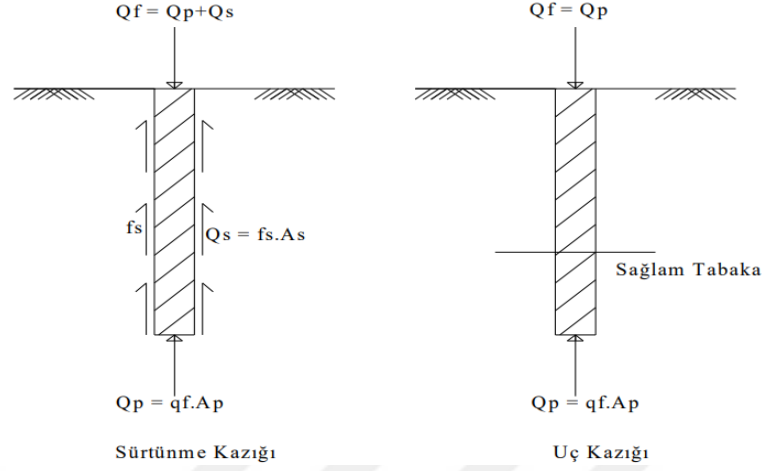
Şekil 2.2 : Kazıklı radye temelin yük paylaşım mekanizması.

2.2.1 Kazıklı radye temellerin kullanım amaçları

Kazıklı temeller, zayıf zeminlerde üstyapı yüklerini taşıyamayacak veya bu yüklerden kaynaklanan gerilmeleri karşılayamayacak durumda olan bölgelerde kullanılır. Eğer sağlam zemin, zemin iyileştirmesi yapılamayacak kadar derinde ise ve üstyapı yüklerini taşıyabilecek bir zemin bulunmuyorsa, kazıklı temeller bu durumu düzeltmek için oluşturulur. Kazıklar, temel elemanı olarak kullanıldığında, üstyapı yüklerini güvenli bir şekilde zemine aktarırlar. Ayrıca, birbirine yakın konumlandırılmış sıralı kazıklar, gerektiğinde ankraj elemanları kullanılarak destek yapıları olarak tasarlanabilir. Bu bağlamda, kazıklar aynı zamanda zeminin sıkıştırılmasında da etkin bir rol oynayabilirler. Kazıklı temellerde, kazıkların temel amaçları şunlardır;

- Zemin koşullarının zorlu olduğu alanlar, kazıklı radye temeller, zeminin taşıma kapasitesi artırmak amacıyla kullanılır.
- Yeraltı su seviyeleri yüksek olan zeminlerde, suyun etkisini azaltarak temelin çökmesini önlenmesi ve suya dayanıklı bir yapı oluşturulması için kullanılır.
- Sıvılaşabilir zeminlerde, kazıklar zemindeki sıvılaşma riskini ve yapının oturmalarını azaltamaktadır.
- Üst yapı tarafından iletilen yükleri daha güvenli bir şekilde karşılamak amacıyla kullanılan kazık türü genellikle "uç kazıklar" olarak adlandırılır.

- Üst yapı tarafından iletilen yükleri gevşek ve yumuşak zeminlere sürtünme yoluyla aktarmak için tercih edilen kazık türüne ise genellikle "sürtünme kazıkları" adlandırılır (Şekil 2.3) [24].



Şekil 2.3 : Yükleri taşıma ve iletme şekilleri.

2.2.2 Kazıklı radye temellerin sayısal analizi

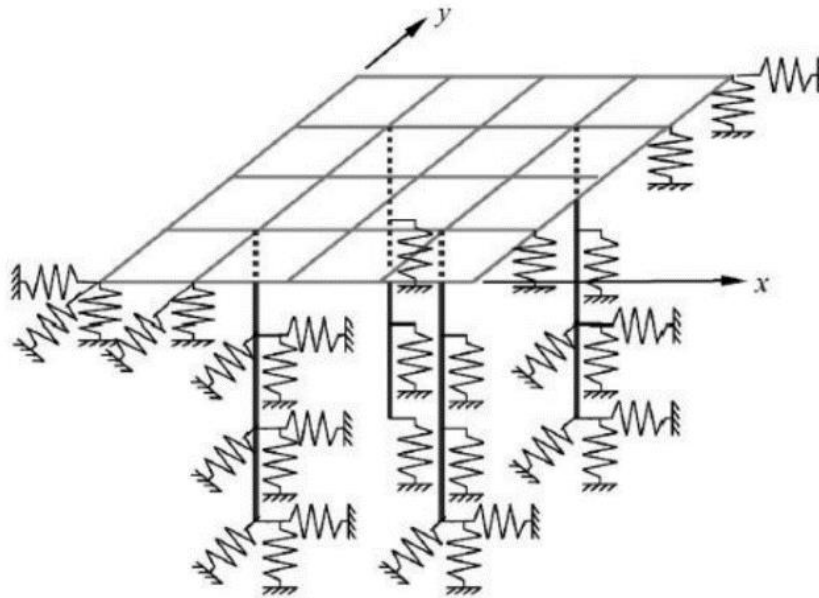
Kazıklı radye temellerin modellenmesinde kullanılan bir alternatif analiz yöntemi, elastik teoriye dayalı olarak şeritler ve yaylar aracılığıyla gerçekleştirilir. Bu yaklaşık sayısal analiz yöntemleri, genellikle temelde iki temel yaklaşıma sahiptir: "yaylar üstünde şerit yaklaşımı" ve "yaylar üstünde plak yaklaşımı". Bu metodolojiler, kazıklı radye temellerin zemin etkileşimini modellenirken kullanılarak, yapı sistemini ve zeminin tepki özelliklerini daha ayrıntılı bir şekilde anlamak için mühendisler tarafından tercih edilir [25]. Poulos (1994) tarafından ortaya konulan, elastik teoriye dayanan bir metodu olan "yaylar üstünde şerit yaklaşımı", kazıklı radye temellerin analizinde kullanılan bir yöntemdir. Bu yaklaşım, temel yapısını ve zemin etkileşimini daha ayrıntılı bir şekilde değerlendirmek için elastik yaylar aracılığıyla şeritlerin modellenmesini içerir. Bu yaklaşımda, radye temel kirişleri temsil ederken, temel zemini ise kirişlere bağlı yaylar ve kirişlerin birleşim noktalarındaki yaylarla modellenir (Bkz. Şekil 2.4-a) [25]. Bu yaklaşımda, yaylar arasındaki etkileşim, yani kazık-kazık etkileşimi ihmal edilir. Aynı zamanda, kazıkların yük ile oturma ilişkisini anlamak amacıyla, kazıklar ve çevresindeki zemin, yaylar aracılığıyla modellenir. Kazıklar, bir dizi lineer elastik yay ile temsil edilirken, kazık ucu ve çevresindeki zemin ise lineer olmayan yaylarla ifade edilir (Şekil 2.4-b). Bu metodun başarıyla uygulanabilmesi için GARP (Geotechnical Analysis of Raft with Piles) yazılımı geliştirilmiştir. Ek olarak, kullanılan analiz

programı, zeminle ilgili birçok parametre üzerine kurulu olduğu için, zeminin gerçekçi bir şekilde modellenmesi; kazıklı radye sistemindeki etkileşimleri doğru bir şekilde belirlemek için kritik bir öneme sahiptir [25].



Şekil 2.4 : Yaylar üzerinde şerit metodu kullanım, (a) kazıklı radye sisteminin kiriş ve yaylar aracılığıyla modellenmesi, (b) ise kazıkların ve çevresindeki zeminin yaylar ifade edilmektedir.

Yaylar üstünde plak yaklaşımı; bu yöntem, radye temeli plak olarak ve kazıkları yaylarla temsil eder. Yaklaşım, radye temeli plak elemanı ve kazıkları yaylarla modellenmiş sistemlerde oturma analizi için kullanılır [25][26].



Şekil 2.5 : Yaylar üstünde plak yaklaşımı.

3. KAZIK ÇEŞİTLERİ

Kazıklar, malzeme türüne bağlı olarak genellikle dört ana grupta sınıflandırılır; ahşap, betonarme, çelik ve kompozite kazıklardır.

3.1 Ahşap Kazıklar

Kazıklı radye temellerinde kullanılan ahşap kazıklar, inşaat projelerinde tercih edilen bir yapı elemanıdır. Ahşap kazıklar, hafif yapıları destekleme, istenilen boyutlara kolayca uyarlanabilme yetenekleri, taşınması kolaylık, ve su altındaki uzun ömür gibi avantajlara sahiptir. Bu kazıklar genellikle sedir, çam, meşe ve köknar gibi uygun ahşap türlerinden yapılır ve su altında uzun süre dayanıklılıklarını sürdürebilme özelliklerine sahiptir, genellikle sağlam bir yapıya sahiptir. Ancak su seviyesindeki değişimler, zamanla ahşap malzemede bozulmalara neden olabilir [27].

3.2 Betonarme Kazıklar

Prekast ve yerinde dökme kazıklar, betonarme kazık tipleri arasında yaygın olarak kullanılan uygulama yöntemleridir. Bu kazıklar, özellikle istenilen uzunluklarda ve belirlenen donatılara uygun bir şekilde üretilebilme özellikleri ile tanınmaktadır. Ayrıca, yer altı sularının olumsuz etkilerine karşı direnç gösterme özellikleri, bu kazıkların sıklıkla tercih edilmesine neden olur [27].

3.2.1 Önceden dökme (precast) betonarme kazıkları

Prekast betonarme kazıklar genellikle önceden hazırlanan kare, daire veya sekizgen kesitlere sahiptir. Bu kazıklar, belirlenen uzunluk, çap ve dayanım özelliklerini karşılayacak şekilde prefabrik olarak üretilir ve daha sonra inşaat sahasına taşınır. İhtiyaç halinde, kazık lara öngerme işlemi uygulanabilir ve kazıkların kaldırılması esnasında ortaya çıkabilecek eğilme momentlerine karşı gerekli direnç sağlanabilir. Kazıkların uç kısımları genellikle çelik çarıklar ve kazık başlarıyla donatılır, bu sayede çakma işlemi sırasında oluşabilecek zararlara karşı korunurlar [27].

3.2.2 Yerinde dökme kazıklar

İki ayrı uygulama yöntemi bulunmaktadır; yerinde dökülen betonarme çakma kazıklar ve yerinde dökülen (fore veya sondaj kazıklar) kazıklar. Özellikle ucu açık kaplama borusuyla zemine sokularak borunun içi temizlenen fore kazıklar, sıkça tercih edilen bir uygulama yöntemidir. Fore kazıkların çapına ve uzunluğuna uygun olarak açılan deliğe donatı yerleştirilir ve beton dökme işlemi, belirlenen standartlara uygun bir şekilde gerçekleştirilerek kazık oluşturulur. Yerinde dökme çakma kazıklar, kaplama borusu olmayan kazıklar, kaplama borusu çıkarılmış kazıklar ve kaplama borusu yerinde bırakılmış kazıklar gibi çeşitli seçeneklerle pratikte kullanılabilir. Bu kazıklar, sadece taşıyıcı elemanlar olarak görev yapmakla kalmaz, aynı zamanda zemini sıkıştırarak zeminin iyileştirilmesine katkıda bulunurlar. Hangi kazık tipinin kullanılacağı, projenin özelliklerine ve zemin profilinin gereksinimlerine bağlı olarak belirlenir. Çakma kazıklar ile fore kazıklar arasında, ekonomik olarak uygunluk ilkesi ve projenin spesifik gereksinimlerine göre seçim yapılabilir. Her iki kazık tipinin de avantajları ve dezavantajları bulunmakta olup, uygulama sürecinde bu faktörler dikkate alınarak karar verilir [27].

TS 3168 standartlarına göre fore kazık uygulamalarında, kazık uzunluğuna bağlı olarak belirlenen minimum kazık çapları Çizelge 3.1'de sunulmuştur [29].

Çizelge 3.1 : TS 3168 standartlarına göre uygulanan yerinde dökme kazıkların minimum çapları.

Uygulanan kazık uzunluğu, L (cm).	Minimum Kazık Çapı, D (cm)
L<100	30
100<L<150	35
100<L<160	40
100<L<170	50

3.3 Çelik Kazıklar

Çelik kazıklar, kazıklı sistemlerin uygulanmasında en yaygın kullanılan tiplerden biridir. Genellikle H ve I profili şeklinde imal edilen çelik kazıklar, sağlam dayanıklılık ve yük taşıma kapasitesi yüksektir. Bu kazıklar, köprüler, binalar, rıhtımlar, tüneller ve diğer büyük inşaat projelerinde geniş bir uygulama alanına sahiptir. Özellikle zeminin taşıma kapasitesi düşükse veya yapı, zayıf zeminler üzerine inşa edilmişse, çelik kazıkların kullanımı büyük önem taşır. Çelik kazıklar genellikle özel ekipmanlar kullanılarak zemine çakılarak yerleştirilir. Bu işlem

sırasında kazık, zemine kadar itilir ve ardından yapıya sağlam bir bağlantı yapılır [28].

3.4 Kompozit Kazıklar

Projeye ve zemin yapısına bağı olarak farklı kazık malzemelerinin kombinasyonlarına rastlanmaktadır. Bu kombinasyonlar arasında elik ve betonun bir arada kullanılması gibi, beton ve ahşabın birlikte kullanılması da mümkündür. Kazığın alt ve üst kısım malzemeleri, yer altı suyu seviyesine ve istenen taşıma kapasitesine göre belirlenebilir. Teknolojinin ilerlemesi ve doğal kaynakların sınırlı olabileceğı endişesiyle, günümüzde yeni kazık malzemeleri üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Plastik gibi malzemeler, günümüzde kazıklar için kullanılabilir hale gelmiştir [28].

4. KAZIKLARIN TAŞIMA GÜCÜNÜN BELİRLENMESİ

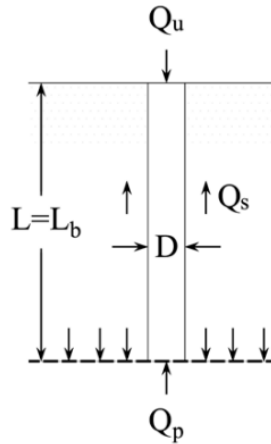
Kazıkların taşıma kapasitesinin belirlenmesi süreci, kazıkların yerleştirileceği zeminin detaylı bir incelemesini içerir. Bu inceleme, zeminin türü (kil, kum, çakıl, silt, kaya vb.), derinlik ve zeminin taşıma kapasitesi gibi faktörleri kapsar. Zeminin taşıma kapasitesi, kazıkların yerleştirilme derinliği ve diğer tasarım parametreleri üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır [30]. Kazıkların taşıma gücünün belirlenmesi için aşağıda belirtilen yöntemler uygulanabilmektedir [30].

- Tek bir kazığın taşıma kapasitesini belirlemek için maksimum taşıma kapasitesi yöntemleri kullanılarak,
- Dinamik kazık çakma metotları kullanılarak,
- Arazi üzerinde yapılan yük deneyleriyle kazık taşıma kapasitesinin belirlenmesi,
- Standart arazi deneyleri (SPT, CPT gibi) kullanılarak,

Genellikle, bir kazığın taşıma gücünün aşağıdaki formül kullanılarak belirlenir:

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (4.1)$$

Denklem 4.2’de görülen Q_u ; kazık maksimum taşıma kapasitesi Q_p ; kazık uç direnci, Q_s ; toplam kazık çevresel sürtünme direnci faktörlerini ifade etmektedir (Şekil 4.1) [30].



Şekil 4.1 : Kazığın toplam taşıma kapasitesi.

Şekil 4.1’de görülen, L ; gömülü derinlik, L_b ; yük taşınan bölgedeki gömülü derinlik ifade etmektedir.

Kazıklı radye sisteminde, kazığın uç direnci, genel olarak aşağıdaki eşitlik ile ifade edilebilir.

$$Q_p = A_p q_p = A_p (c' N_c^* + q' N_q^*) \quad (4.2)$$

Denklem 4.2’de görülen A_p ; bir tek kazığın uç kesit alanını, c' ; kazık ucuyla temas eden zeminin kohezyonu, q_p ; bir kazığın uç taşıma kapasitesi, q' ; kazık uç noktasındaki dikey etkili gerilme değeri ve N_c^* , N_q^* ; taşıma gücü faktörlerini ifade etmektedir.

Kazığın çevresel sürtünme direnci, kazık çevresinde etkileşime giren zeminle olan sürtünme kuvvetini ifade eder ve genel olarak aşağıdaki gibi gösterilebilir;

$$Q_s = \sum Q_p p \Delta L f \quad (4.3)$$

Denklem 4.3’de görülen p ; kazığın çevresel kesit miktarı, ΔL ; kazığın yerleştirildiği zemin tabakasının derinliğini (p ve f değerleri sabit), f ; Z derinliğindeki tekil sürtünme katsayısı ifade etmektedir. Tek bir kazığın taşıma kapasitesi, kazığın toplam taşıma gücü, güvenlik katsayısı ile bölünerek aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{F_s} \quad (4.4)$$

Denklem 4.4’te görülen Q_{all} ; tek kazığın taşıyabileceği yükü, F_s ; güvenlik sayısı ifade etmektedir.

4.1 Kazık Uç Direncinin Belirlenmesi

Kazık uç direnci genellikle Q_p sembolü ile ifade edilir ve bu direnç, kazığın zemin içine yerleştirilen ucunun zemine aktardığı direnci temsil eder. Kazık uç direnci belirlenirken kullanılan çeşitli metodlar arasında Meyerhof metodunun da bulunduğu bilinmektedir.

4.1.1 Meyerhof metodu

Meyerhof metodu, kazık uç direncinin tahmin edilmesi için kullanılan bir yöntemdir. Zeminin kohezyonu, kazık çapı ve zeminin taşıma kapasitesi gibi faktörlere dayanarak direncinin hesaplamayı çalışılmıştır [31].

- Meyerhof metodu ile kumlu zeminlerde kazık uç direncinin tespiti;

Meyerhof metodu, kumlu zeminlerde ve kazık geometrisi temelinde kazık uç direncini tahmin etmek için geliştirilmiştir. Bu yöntem, kumlu zeminin taşıma kapasitesini değerlendirmek ve kazıkların güvenli taşıma kapasitesini belirlemek için yaygın olarak kullanılan bir analitik hesaplama yöntemidir. Kumda kazık uç direnci, Meyerhof metoduna göre 4.5'deki eşitlikle belirtilmiştir [31].

$$Q_p = A_p q' N_q^* \leq A_p q_l \quad (4.5)$$

Denklem 4.5'de görülen q_l ; kazık uç direnci sınır değeridir ve 4.6'daki denklemle verilmiştir.

$$q_l = 0.5 p_a N_q^* \tan \phi' \quad (4.6)$$

p_a ; kumlu zeminlerde atmosferik basınç (100 kN/m²), ϕ' ; zemin tabakasının kazık ucu ile etkileşimde bulunan efektif içsel sürtünme açısı, N_q^* ; taşıma gücü faktörleri, yük taşıma kapasitesini etkileyen parametrelerdir. Kumlu zeminlerde Meyerhof metoduna bağlı enterpolasyon ile elde edilmiş içsel sürtünme açılarına ait değerler Çizelge 4.1'de sunulmaktadır [31].

Çizelge 4.1 : Enterpolasyon ile elde edilmiş Meyerhof metoduna göre içsel sürtünme açılarına ait N_q^* değerler.

Zeminin içsel sürtünme açısı, ϕ (derece)	N_q^*
20	12.41
21	13.81
22	15.55
23	17.94
24	21.46
25	26.02
26	29.6
27	34.05
28	39.3
29	46.6
30	56.71
31	68.23
32	91.02
33	96.01
34	115.03
35	143.09
36	168.08
37	194.07
38	231.04
39	276.06
40	346.01
41	420.03
42	525.04
43	650.05
44	780.1
45	930.1

- Meyerhof metodu ile killi zeminlerde kazık uç direncinin tespiti;

Bu metot, killi zeminin taşıma kapasitesini değerlendirmek ve kazıkların güvenli taşıma kapasitesini belirlemek için yaygın olarak kullanılan bir analitik hesaplama yöntemidir. Kilde kazık uç direnci, Meyerhof metoduna göre 4.7'deki eşitlikle belirtilmiştir [31].

$$Q_p = N_c^* c_u A_p = 9c_u A_p \quad (4.7)$$

Denklem 4.7'de görülen C_u ; kazık ucunun oturduğu zeminin drenajsız kohezyonu ifade etmektedir.

4.1.2 Vesic metodu

Vesic metodu, zeminin taşıma kapasitesini ve kazık tasarımını belirlemede kullanılan bir yöntemdir. Bu metot, genellikle kazık-zemin etkileşimini analiz etmek amacıyla uygulanır; kazık çapı, derinliği, zemin özellikleri ve yük durumu gibi faktörleri dikkate alarak kazık tasarımını değerlendirir. Bu metodun özellikle granüler zeminlerdeki kazıkların taşıma kapasitesini tahmin etmek için yaygın olarak kullanılmasının sebeplerinden biridir.

- Vesic metodu ile kumlu zeminlerde kazık uç direncinin tespiti;

Vesic, boşlukların genişlemesine yönelik metoda bağlı olarak kazık uç direncinin tespit edilmesi için etkili gerilme parametresini temel alan bir yöntem önermiştir. Vesic'in teorisine göre, kazık uç direnci aşağıdaki gibi ifade edilebilir, bu da zeminin etkili gerilme parametresi ile ilişkilendirilir [32].

$$Q_p = A_p q_p = 9c_u A_p = N_{\sigma}^* A_p \bar{\sigma}'_0 \quad (4.8)$$

$\bar{\sigma}'_0$; kazık uç tepesindeki etkili normal gerilme aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\bar{\sigma}'_0 = \left(\frac{1 + 2k_0}{3} \right) \quad (4.9)$$

K_0 ; durgun durumdaki zeminin basınç katsayısıdır. ve $= 1 - \sin\phi'$ ile gösterilmektedir .

N_{σ}^* ; kazığın taşıma kapasitesi için kullanılan bir faktördür ve 4.10'teki eşitlikle ifade edilmektedir.

$$N_{\sigma}^* = \left(\frac{3N_q^*}{1 + 2k_0} \right) \quad (4.10)$$

Vesic teorisine göre, kazığın taşıma kapasitesi faktörü;

$$N_{\sigma}^* = f(I_{rr}) \quad (4.11)$$

Buradaki sunulan, I_{rr} ; indirgenmiş rijitlik endeksidir ve aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + I_r \Delta} \quad (4.12)$$

$$I_r = \frac{E_s}{2(1 + \mu_s)q'\tan\phi'} = \frac{G_s}{q'\tan\phi'} \quad (4.13)$$

Denklem 4.13'teki görülen I_r ; rijitlik endeksi, E_s ; kullanılan zeminin elastisite modülü, μ_s ; kullanılan zeminin poisson oranı, G_s ; zeminin kayma modülü, Δ ; ise kazık ucu altındaki plastik bölgede ortalama hacimsel gerilme, ifade etmektedir.

I_r 'ye bağlı olarak I_{rr} 'nin yaklaşık olarak hesaplanmasını 4.14'teki eşitlik ile yapılabilir [33].

$$m = \frac{E_s}{P_a} \quad (4.14)$$

P_a = atmosferik basınç ($\approx 100 \text{ kN/m}^2$), burada $m = 100-200$ (gevşek zemin için), $200-500$ (orta sertlik zemin için) ve $500-1000$ (sert zemin için) olarak gösterilmiştir. $25^\circ \leq \phi' \leq 45^\circ$ için 4.15'teki denklem kullanılır.

$$\mu_s = 0.1 + 0.3 \left(\frac{\phi' - 25}{20} \right) \quad (4.15)$$

$$\Delta = 0.0005 \left(1 - \frac{\phi' - 25}{20} \right) \frac{q'}{P_a} \quad (4.16)$$

Çizelge 4.2'de gösterildiği gibi indirgenmiş rijitlik endeksi (I_{rr}) ve içsel sürtünme açısı (ϕ') değerlerine denk gelen taşıma kapasitesi faktörü (N_σ^*) değerleri sunulmuştur [32].

Çizelge 4.2 : Kumlu zeminlerde Vesic metoduna göre N_σ^* taşıma kapasitesi faktörleri.

	I_{rr}									
ϕ'	10	20	40	60	80	100	200	300	400	500
25	12.12	15.95	20.98	24.64	27.61	30.16	39.70	46.61	52.24	57.06
26	13.18	17.47	23.15	27.30	30.69	33.60	44.53	52.51	59.02	64.62
27	14.33	19.12	25.52	30.21	34.06	37.37	49.88	59.05	66.56	73.04
28	15.57	20.91	28.10	33.40	37.75	41.51	55.77	66.29	74.93	82.4
29	16.90	22.85	30.90	36.87	41.79	46.05	62.27	74.30	84.21	92.8
30	18.24	24.95	33.95	40.66	46.21	51.02	69.43	83.14	94.48	104.33
31	19.88	27.22	37.27	44.79	51.03	56.46	77.31	92.90	105.84	117.11
32	21.55	29.68	40.88	49.30	56.30	62.41	85.96	103.66	118.39	131.24
33	23.34	32.34	44.80	54.20	62.05	68.92	95.46	115.51	132.24	146.87
34	25.28	35.21	49.05	59.54	68.33	76.02	105.90	128.55	147.51	164.12
35	27.36	38.32	53.67	65.36	75.17	83.78	117.33	142.89	164.33	183.16
36	29.60	41.68	58.68	71.69	82.62	92.24	129.87	159.65	182.85	204.14
37	32.02	45.31	64.13	78.57	90.75	101.48	143.61	175.95	203.23	227.26
38	34.63	49.24	70.03	86.62	99.60	111.56	158.65	194.94	225.62	252.71

- Vesic metodu ile killi zeminlerde kazık uç direncinin tespiti;

Killi zeminlerde su seviyesi yüksek olduğunda, kazık uç taşıma kapasitesi 4.17 denklemi ile ifade edilir;

$$Q_p = A_p q_p = A_p c_u N_c^* \quad (4.17)$$

Boşlukların genişlemesi teorisine göre [32] :

$$N_c^* = \frac{4}{3} (\ln I_{rr} + 1) + \frac{\pi}{2} + 1 \quad (4.18)$$

Bu bağlamda, 4.13 eşitliği, doymuş killi zemin tabakasında herhangi bir hacim değişiminin olmadığı durumu temsil eder ve Δ değerinin sıfır olduğu varsayımıyla, 4.19'daki denklemle ifade edilebilir.

$$I_{rr} = I_r \quad (4.19)$$

Yaklaşık olarak:

$$I_r = 347 \left(\frac{C_u}{P_a} \right) - 33 \leq 300 \quad (4.20)$$

N_c^* 'nin $\emptyset = 0$ olduğu durumlarda I_{rr} ile farklılığı Vesic metoduna göre, Çizelge 4.3'de sunulduğu şekilde ifade edilmiştir [32].

Çizelge 4.3 : Killi zeminlerde N_c^* 'nin $\emptyset = 0$, halinde I_{rr} ile değişikliği.

I_{rr}	N_c^*
10	6.97
20	7.9
40	8.82
60	9.36
80	9.75
100	10.04
200	10.97
300	11.51
400	11.89
500	12.19

4.2 Kazık Sürtünme Direncinin Belirlenmesi

Kazık sürtünme direnci (Q_s) bir kazığın zeminle etkileşimi sırasında kazığın yanal (yan) yük taşıma kapasitesini temsil eder. Kazık sürtünme direnci, genellikle kazığın gövdesi ve zemin arasındaki sürtünme kuvvetinden kaynaklanır.

4.2.1 Kumlu zeminlerde sürtünme direncinin belirlenmesi

4.21'teki denklem, kazık çevre sürtünme direnci ile ilgili önemli bir bağıntıyı ifade ediyor. Genellikle gözlemlerde, bu direncin kazık çapının 15 ile 20 katına kadar arttığını ve daha sonra bu derinlik aralığından sonra lineer bir şekilde devam ettiğini gözlemlenmiştir. Başka bir ifadeyle, bu derinlik aralığından önce kazık çapına göre sürtünme direnci hızla artar, ancak daha sonra artış oranı daha istikrarlı ve lineer bir seyir izler. İfade edilen derinlik 4.21'teki eşitlikle belirtilmiştir [28].

$$L' = 15D \quad (4.21)$$

$Z=0$, seviyesinden kazık derinliğine (L) kadar sürtünme direnci, 4.22'deki denklemle ifade edilmektedir.

$$f = K\sigma'_0 \tan \delta' \quad (4.22)$$

Denklem 4.22'te görülen K ; efektif zemin basınç katsayısı, σ'_0 ; kumlu zeminde belirlenen derinlik seviyesi için dikey gerilme, δ' ; kazıklı radye-zemin sürtünme açısı olarak ifade etmektedir.

Eğer Z , L' 'den L derinliğine kadar olan bir uzunluğu ise, 4.23'de denklem ile ifade etmektedir.

$$f = f_{Z=L'} \quad (4.23)$$

Aslında K değeri, kazığın derinliğiyle birlikte değişkenlik gösteren bir parametredir. Ancak, genellikle kazığın üst kısmına yakın bölgelerde, rankine pasif zemin basınç katsayısı K_p 'ye yakın bir değere sahiptir. Diğer yandan, daha derinlerde ise zemin durumuna bağlı olarak sükûnetteki zemin basınç katsayısı K_0 'a yakın bir değer sergilemektedir. Bu nedenle, K değeri kazığın derinliği boyunca değişiklik gösterir ve bu değişiklik, kazığın yer aldığı zemin koşullarına ve derinliğine bağlı olarak farklılık gösterebilir. Sunulan K değerleri için Çizelge 4.4 'te verilmiştir [28].

Çizelge 4.4 : Kumlu zeminlerde efektif zemin basınç katsayıları.

Kazık Türü	K
Fore kazığı veya su jeti	$\approx K_0 = 1.4(1 - \sin \phi')$
Düşük deplasmanlı çakma kazıklar	$\approx K_0 = 1.4(1 - \sin \phi')$ ile $1.4K_0 = 1.4(1 - \sin \phi')$ ise
Büyük deplasmanlı çakma kazıklar	$\approx K_0 = 1.4(1 - \sin \phi')$ ile $1.8K_0 = 1.8(1 - \sin \phi')$ aralığında

Kumda kazık sürtünme direnci ile ilgili 4.24'teki eşitliği verilmiştir [34]:

$$Q_s = f_{av} pL = (K \sigma'_0 \tan \delta') pL \quad (4.24)$$

Denklem 4.24'te görülen σ'_0 ; zeminin ortalama efektif jeolojik yük, δ' ; kazık-zemin sürtünme açısı $= 0.8\phi'$, ifade etmektedir. Bu durumda, kazık sürtünme direnci denklemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$Q_s = K \sigma'_0 \tan (0.8\phi') pL \quad (4.25)$$

- SPT korelasyonu metodu ile kumlu zeminlerde sürtünme direncinin tespiti;

Standart penetrasyon direnç değerleri kullanılarak, büyük deplasmanlı çakma kazıklarda ortalama birim sürtünme direnci hesaplanabilir şekilde sunulmuştur [31].

$$f_{av} = 0.02 p_a (\bar{N}_{60}) \quad (4.26)$$

Denklem 4.26'de görülen $(\bar{N}_{60})$; ortalama standart penetrasyon direnç değeri, p_a ; atmosferik basınç ($\approx 100 \text{ kN/m}^2$) ifade etmektedir.

SPT korelasyon metodu, düşük deplasmanlı çakma kazıklar için kumlu zeminlerde aşağıdaki denklemle ifade edilmiştir [35].

$$f_{av} = 0.01 p_a (\bar{N}_{60}) \quad (4.27)$$

SPT korelasyon metodunda kumlu zeminler için önerilen denklem, aşağıda sunulmuştur [35] :

$$f_{av} = 0.224 p_a (\bar{N}_{60}) \quad (4.28)$$

$$Q_s = p_a L f_{av} \quad (4.29)$$

4.2.2 Killi zeminlerde sürtünme direncinin belirlenmesi

- Lambda (λ) Metodu ile killi zeminlerde sürtünme direncinin tespiti;

Killi zeminlerde sürtünme direncinin belirlenmesi için ortaya konulan metoda göre, kazık çakılması sırasında çevredeki zeminde gerçekleşen deplasmanlar, pasif toprak basıncını tetiklemektedir. Bu kabule göre, ortalama birim çevre sürtünmesi 4.30'deki eşitlikle ifade edilir [36].

$$f_{av} = \lambda(\bar{\sigma}_0 + 2c_u) \quad (4.30)$$

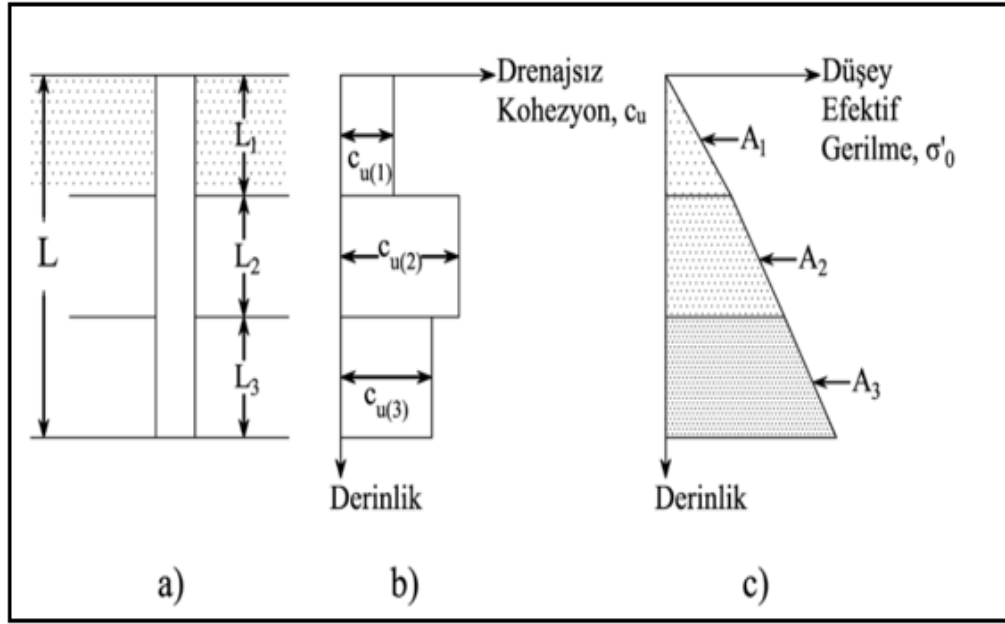
Denklem 4.30'teki görülen, $\bar{\sigma}_0$; kazığın yerleştirildiği derinlikteki efektif düşey gerilmenin ortalaması, c_u ; zeminin drenajsız kayma direnci ($\phi = 0$) ifade etmektedir.

Çizelge 4.5'te, kazığın indiği derinlik ile birlikte λ (lambda) değerinin değişimini gösterilmiştir [36].

Çizelge 4.5 : Kazığın gömülü olduğu derinlikle birlikte λ değerinin değişimi.

Kazık Gömülü Derinliği L(cm)	λ
0	0.50
50	0.337
100	0.246
150	0.20
200	0.174
250	0.150
300	0.140
350	0.140
400	0.130
500	0.120
600	0.115
700	0.112

Tabakalı zeminlerde $\bar{\sigma}_0'$ ve c_u değerlerini elde ederken dikkat etmek gerekmektedir. Şekil 4.2a'da Şekil 4.2a, üç kil tabakasından oluşan bir zemindeki bir kazığı göstermektedir. Şekil 4.2b c_u 'yu $(c_{u(1)}L_1 + c_{u(2)}L_2 + \dots)/L$ olarak gösterirken, Şekil 4.2c, efektif gerilmenin derinlikle değişimini alanlar cinsinden gösterilmiştir [28].



Şekil 4.2 : Lambda (λ) Metodunun tabakalı zeminde uygulanması.

Bu durumda, L_1 , L_2 ve L_3 , sırasıyla kil tabaka kalınlıklarını temsil ederken, L , kazığın toplam boyunu temsil etmektedir. Ortalama efektif gerilme ise aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmalıdır [28].

$$\bar{\sigma}_0 = \frac{A_1 + A_2 + A_3 \dots}{L} \quad (4.31)$$

A_1 , A_2 ve A_3 , her tabakanın düşey efektif gerilme diyagramındaki alanı temsil etmektedir. Bu yöntemde, toplam çevre sürtünmesi, 4.29'daki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır [28].

- α metodu kmulu zeminlerde sürtünme direncinin tespiti

α metodu kohezyonlu zeminlerde, kazık yüzeyi ile zemin arasındaki sürtünme, zeminin kayma mukavemeti parametrelerine bağlı olarak meydana gelir. Ortaya çıkan çevre sürtünmesi denklemi aşağıdaki formülle ifade edilmiştir:

$$f = \alpha c_u \quad (4.32)$$

α = Ampirik adezyon faktörü olan α 'nın yaklaşık değışımi, ilgili değerler Çizelge 4.6'te sunulmuştur [36].

Çizelge 4.6 : Ampirik adezyon faktörü α değerinin değişimi.

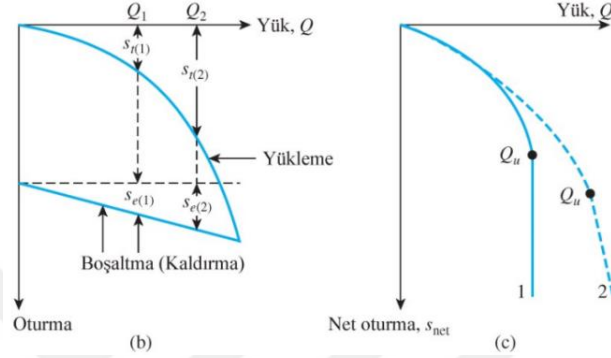
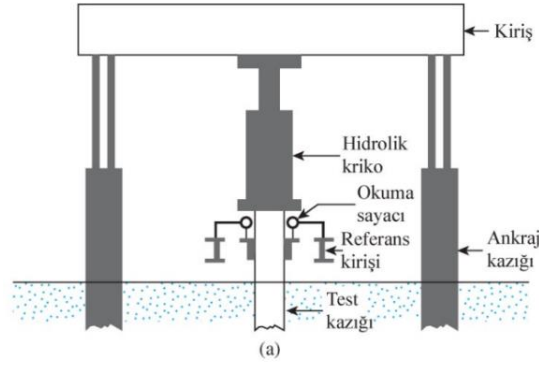
c_u/p_a	α
≤ 0.1	1
0.2	0.92
0.3	0.82
0.4	0.74
0.6	0.62
0.8	0.54
1	0.48
1.2	0.42
1.4	0.4
1.6	0.38
1.8	0.36
2	0.35
2.4	0.34
2.8	0.34

Kazık çevresindeki sürtünme direnci aşağıdaki denklemle ifade edilmektedir:

$$Q_s = \sum f p \Delta L = \sum \alpha c_u \Delta L \quad (4.33)$$

4.3 Kazık Yükleme Deneyleri

Kazık yükleme deneyleri, farklı amaçlar doğrultusunda çeşitli yöntemleri içermektedir. Standart penetrasyon testi genellikle fore kazıkların zemininin güvenli taşıma kapasitesini ve yüzey sürtünmesini radye kalınlığı boyunca belirlemek için kullanılırken, statik plaka yükü testi yayılmış temel üzerinde gerçekleştirilir. Yapılan teste bağlı olarak, yükleme deneyleri gerçekleştirme prosedürleri de değişiklik göstermektedir. Sahada, kazıkların hem yatay hem de düşey taşıma kapasiteleri test edilebilmektedir. Şekil 4.3a'da, kazığın aksel yüklemeyi gösterilmektedir. Aksel yüklemeyi testinde, zaman içinde kazığa uygulanan yük, kazığın ucundaki oturmaya neden olur. Şekil 4.3b'de ise oturma-yük eğrisinde görüldüğü gibi, yük arttıkça oturma da artmaktadır. Bu eğri, kazığın taşıma kapasitesi ve oturmasını bulmak için kullanılmaktadır [37].



Şekil 4.3 : Kazık yükleme deneyleri, a) eksenel yük deneyinin şeması, b) yük ve oturma ilişkisinin grafiksel gösterimi, c) yük ve net oturma ilişkisinin grafiksel gösterimi.

Kazık yükleme deneyleri için önerilen kazık yükleme deneyinde, yüklemeye karşı kazığın oturma miktarını gösteren bir grafik kullanılarak nihai taşıma gücü elde edilebilir [37]. Şekil 4.3c’de gösterildiği gibi, nihai yük s_u oturma oluşmakta, buna göre:

$$S_u = 0.012D_r + 0.1 \left(\frac{D}{D_r} \right) + \left(\frac{Q_u L}{A_p E_p} \right) \quad (4.34)$$

Denklem 4.34’te görülen, Q_u ; kazığın taşıyabileceği maksimum yük (kN), D ; seçilen kazık çapı (mm), D_r ; referans kazık çapı ($D_r=300$ mm), L ; kazık boyu (mm), A_p ; kazık çevresel kesit alanı (mm^2), E_p ; Seçilen kazık malzemesinin elastik modülü (kN/mm^2) ifade etmektedir.

4.4 Kazık Grupları

4.4.1 Grup verimliliği

Kazıklar, yapısal yükleri zemine aktarmak için sıkça kullanılmakta, genellikle bir dizi kazık grubu şeklinde düzenlenirler. Kazık grupları üzerine kazık başlıkları inşa

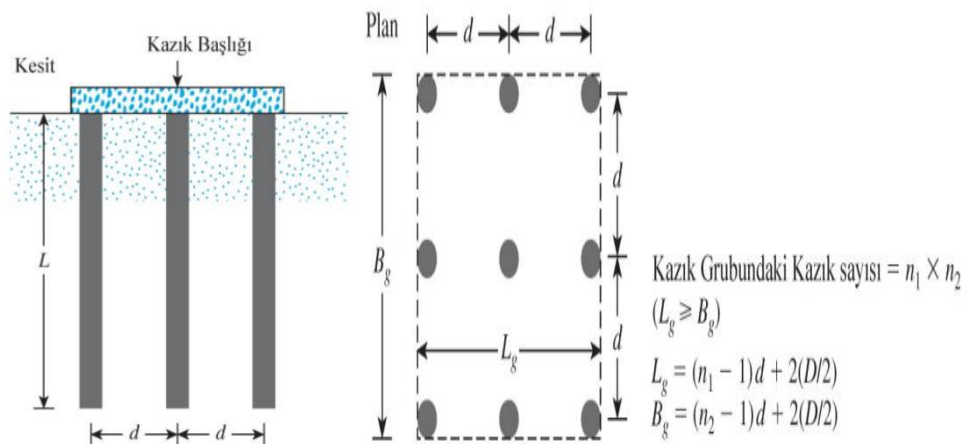
edilmektedir. Bu kazık başlıkları, zeminle etkileşimde olduğu durumda olan radye temeller gibi temel sistemlerinde kullanılırken, deniz üstü yapıları gibi yapılar için başlıkların zemine temas etmediği durumlar da olabilir.

6D'den (D kazık çapı) daha büyük olan kazıklar arası mesafelerde, grup etkisinin önemli olmadığını gösterilmiştir [38]. Öte yandan, Arsoy ve Prakash (2001) çalışması, 0.02'den daha küçük bir birim yer değiştirmeye sahip olan kazıklarda, grup etkisi nasıl azaldığını araştırmıştır [39]. Uygulamada, kazıklar arasındaki merkezden merkeze mesafe en az 2.5kat kazık çapı (2.5D) olmalıdır. Tipik koşullarda ise bu mesafe 3D ile 3.5D arasında olacak şekilde yerleştirilmelidir [28].

$$\eta = \frac{Q_{g(u)}}{\sum Q_u} \quad (4.35)$$

Denklem 4.35'te görülen η ; grup verimliliği, $Q_{g(u)}$; kazıklı radye sisteminde, kazık grubunun nihai taşıma kapasitesi, Q_u ; kazığın grup etkisinden bağımsız olarak sahip olduğu nihai taşıma kapasitesi.

Kumlu zeminlerde sürtünme kazıklarının grup etkinliğini değerlendirmek için, bazı basitleştirilmiş sayısal analiz yöntemleri kullanılmıştır. Şekil 4.4'te gösterildiği gibi, bu analiz yöntemleri detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Kazıklar arasındaki mesafelere bağlı olarak, iki farklı davranış tipine odaklanabiliriz. Başka bir ifade ile, mesafe değişkeni üzerinden, iki farklı davranış tipine odaklanmak mümkündür. Birisi blok olarak (blok davranışı) değerlendirilirken diğeri bağımsız olarak değerlendirilmektedir [28].



Şekil 4.4 : Kazıklarda grup etkisi.

Eğer kazıklar blok olarak davranış gösterilerse, bloğun sürtünme kapasitesi 4.36'te eşitlikte gösterildiği gibi hesaplanır.

$$Q_s = f_{av} p_g L = Q_{g(u)} \quad (4.36)$$

Denklem 4.36'te görülen p_g ; kazık grup çevresel kesiti $= 2(n_1 + n_2 - 2)d + 4D$, f_{av} ; zeminde ortalama sürtünme direnci ifade etmektedir. 4.36'ya benzeyerek, eğer kazıklar bağımsız bir şekilde davranış sergiliyorsa, 4.37 ile denklemlerle hesaplanabilir;

$$Q_u \approx p L f_{av} \quad (4.37)$$

Denklem 4.37'te görülen, p ; kazığın çevresel kesiti ifade etmektedir; ve 4.38'teki denklem ile hesaplanabilir.

$$\eta = \frac{Q_{g(u)} f_{av} [2(n_1 + n_2 - 2)d + 4D] L}{\sum Q_u n_1 n_2 f_{av} p L} = \frac{2(n_1 + n_2 - 2)d + 4D}{p n_1 n_2} \quad (4.38)$$

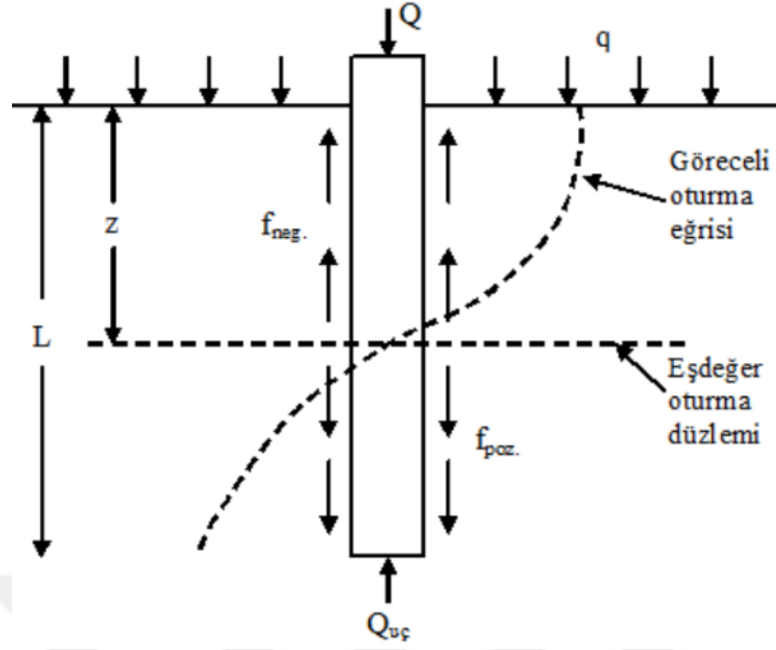
Buradan:

$$Q_{g(u)} = \left[\frac{2(n_1 + n_2 - 2)d + 4D}{p n_1 n_2} \right] \sum Q_u \quad (4.39)$$

Eğer kazık grup verimliliği $\eta > 1$ (Kazıklar arasındaki mesafe büyük seçildiğinde) ise, kazıklar birbirinden bağımsız bir şekilde davranış sergiler. Eğer, $\eta < 1$ olduğunda, $Q_{g(u)} = \eta \sum Q_u$ ve $\eta \geq 1$ olduğunda ise $Q_{g(u)} = \sum Q_u$ [28].

4.4.2 Kazıklarda negatif çevre sürtünmesi

Kazıklarda negatif çevre sürtünmesi oluşumu, sürünen veya sıkışan zeminin zaman içinde çökmesi sonucu kazığa aşağı yönlü bir yük uygulamakla meydana gelir. Zeminin bu aşağı yönlü hareketi, kazığa uygulanan yükün ters yönde etki eden sürtünme direncine neden olabilir. Bu durum, kazığın üzerinde ek stres oluşturarak yapısal dayanıklılığını etkileyebilir. Negatif çevre sürtünmesi değeri sadece zeminin türüne ve ortaya çıkan göreceli harekete bağlı olmakla kalmaz, aynı zamanda kazık yüzeyinin pürüzlülüğüne de bağlıdır [41].



Şekil 4.5 : Kazıkta oluşan negatif çevre sürtünmesi.

Şekil 4.5'te görülen, Q ; kazığa etki eden kuvvet, A_{yan} ; kazığın kesimindeki yanal alanı, f_{neg} ; kazıkta oluşan negatif çevre sürtünmesi, f_{poz} ; kazıkta oluşan pozitif çevre sürtünmesi, $Q_{uç}$; kazıkta oluşan uç direnci ve L ; kazık uzunluğu ifade etmektedir.

4.4.3 Kazıklı radye grubunun oturması

Kazık grubunun oturması, bir kazık grubunun toplam oturma miktarını ifade eder. Bu, genellikle zemindeki yüklerin neden olduğu yer değiştirmeyi ve oturmayı tanımlar. Oturma, zeminin sıkışması veya yer değiştirmesi sonucu oluşan bir deformasyon olarak düşünülebilir.

- Elastik oturma;

Kazıklı radye sisteminde, kazık grubunun her bir kazık başına düşen yükü, oluşan oturmalar kazık grubu genişliği (B_g) ve kazık merkezinden merkezine olan mesafe d 'nin artmasıyla artar. Ancak, kazık gruplarının oturması üzerine yapılan çalışmalardan birçoğu aynı sonuçları vermemiştir. Başka bir ifadeyle, kazık gruplarının oturmasıyla ilgili yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar kesin bir yaklaşım gösterilmemiştir. kazık gruplarının oturma ile ilgili önerilen eşitlik aşağıda verilmiştir [43].

$$S_{e(g)} = \sqrt{\frac{B_g}{D}} S_e \quad (4.40)$$

Denklem 4.40'te görülen $S_{e(g)}$; kazıklı radye grubunun elastik deformasyonu, B_g ; kazıklı radye grubunun genişliği, D ; kazıklı radye grubundaki bir kazığın çapı, S_e ; bir tek kazığın elastik davranışı, servis yükü etkisi altında deformasyonu ifade etmektedir.

Meyerhof (1976) tarafından, kumlu ve çakılı zeminlerde kazık grup otuması ile ilgili önerilen ampirik ilişki 4.41'te verilmiştir [31].

$$S_{g(e)} = \frac{0.96q\sqrt{B_g} I}{N_{60}} \quad (4.41)$$

$$q = \frac{Q_g}{(L_g B_g)} \text{ (birimi } \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}) \quad (4.42)$$

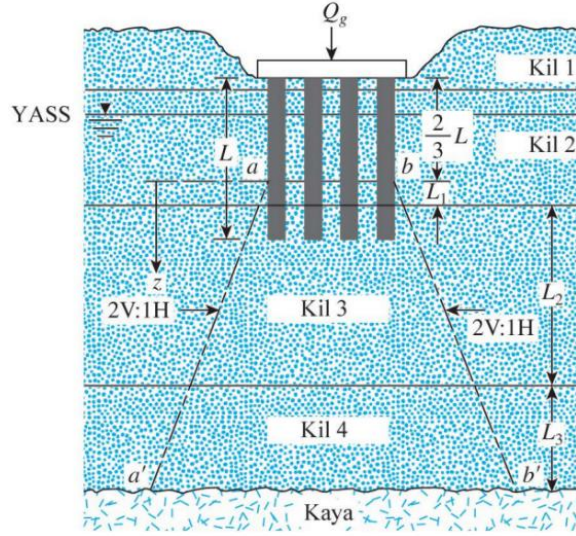
Denklem 4.42'te görülen, L_g ve B_g ; kazıklı radye grubunun boyu ve eni (m), N_{60} ; Kazık uç oturma noktasına yakın ortalama Standart Penetrasyon Testi (SPT) sayısı ifade etmektedir.

$$I = 1 - \frac{L}{8B_g} \geq 0.5 \quad (4.43)$$

Denklem 4.43'te görülen, I ; etki faktörü, L ; kazıkların gömülü derinliği (m) ifade etmektedir.

- Konsolidasyon oturma;

Konsolidasyon oturması, kazık grubu üzerine yük uygulandığında, zeminin bu yükü taşıyabilmesi için konsolide olması gereken bir oturma veya çökme sürecidir. Bu oturma, kazıkların veya yapı temelinin oturmasına neden olabilir. Konsolidasyon oturmaları, killi zeminlerdeki kazık grupları için 2:1 Gerilme Dağıtma Yöntemi kullanılarak belirlenir. Şekil 4.6'da görüldüğü gibi, oturma hesaplamaları açıklanmıştır [28].



Şekil 4.6 : Kazıklı radye grubunun konsolidasyon oturma.

Zemin tabakalarındaki her katmanda, artan düşey efektif gerilmenin Q_g için 4.44'teki denklemle hesaplanabilmektedir [28].

$$\Delta\sigma_{1'} = \frac{Q_g}{(B_g + Z_i)(L_g + Z_i)} \quad (4.44)$$

Denklem 4.44'te görülen, $\Delta\sigma_{1'}$; kil tabakasının merkezi bölgelerindeki etkili gerilme artışı, L_g , B_g ; kazık grubunun sırasıyla uzunluğu ve genişliği, $z_i = z = 0$ i kil tabakasının merkezine olan mesafeyi ifade etmektedir [28].

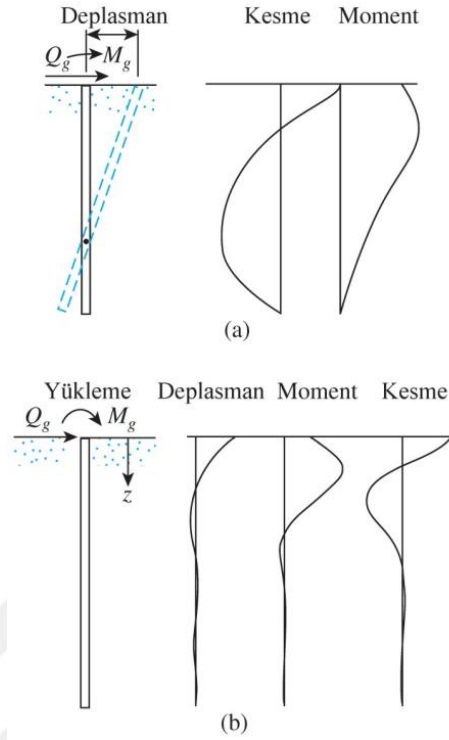
4.5 Yanal Yük Altında Kazıkların Davranışı

Kazıklar, genellikle düşey yükleri taşımak için tasarlanmış olsalar da, yanal yükler altında da etkileşim gösterirler. Yanal yükler, rüzgar, deprem veya toprak basıncı gibi etkenlerden kaynaklanabilir. kazıkların yanal yükler altında nasıl eğildiğini, çevresel sürtünme, toprak basıncı ve diğer faktörlerin etkilerini anlamaya yöneliktir. Bu tür analizler, yapıların güvenliği ve dayanıklılığı açısından önemlidir, özellikle deprem etkileri gibi yanal yüklerin baskın olduğu durumlarda.

4.5.1 Yanal yük altında kazıkların elastik çözümü

Granüler bir zemin içinde zemin seviyesinde ($z=0$) bulunan ve Q_g yanal yükü ve M_g momentine maruz kalmış bir düşey kazığın moment ve deplasmanlarını hesaplamak için, Matlock ve Reese (1960) tarafından genel bir yöntem önerilmiştir. Kazığın L

uzunluğundaki deformasyonu ve zeminde oluşan direnç, Şekil 4.7'de gösterilmektedir [44].



Şekil 4.7 : Kazıkta oluşan kesme kuvveti ve eğilme momenti, (a) rijit kazık (b) elastik kazık.

Winkler modeli, zemini yay olarak modellenen ve bu yaylar arasındaki rijit bağlantıları temsil eden bir modeldir. Temel eşitlik, genellikle şu şekildedir:

$$k = \frac{p'}{x} \quad (4.45)$$

Denklem 4.45'te görülen, k ; zemin yatak katsayısı, p' (kN/m); zeminin içinde oluşan basınç ve x (m); oluşan deplasman ifade etmektedir.

Zeminin z derinliğindeki yatak katsayıları granüler zeminler için aşağıdaki gibi belirlenir [44]:

$$k_z = n_h z \quad (4.46)$$

Denklem 4.46'te görülen, n_h ; zeminin yatay yatak katsayısı sabiti ifade etmektedir.

Kiriş teorisi kullanılarak, elastik zeminler üzerinde aşağıdaki denklem ifade edilebilir:

$$E_p I_p \frac{d^2 x}{dz^2} = p' \quad (4.47)$$

Denklem 4.47’te görülen, E_p ; seçilen kazığın elastisite modülü I_p ; kazık kesitinin atalet momenti ifade etmektedir. 4.48 eşitlikle gösterilebilir;

$$p' = -kx \quad (4.48)$$

4.47 ve 4.48 numaralı denklemler birleştirildiğinde:

$$E_p I_p \frac{d^2 x}{dz^2} + kx = 0 \quad (4.49)$$

4.49 eşitliğinin çözümüyle aşağıdaki denklemler elde edilir:

Kazığın herhangi bir derinlikteki oluşan deplasmanı $[x_z(z)]$:

$$x_{(z)}(z) = A_x \frac{Q_g T^3}{E_p I_p} + B_x \frac{M_g T^2}{E_p I_p} \quad (4.50)$$

Kazığın herhangi bir derinlikteki dönmesi $[\theta_z(z)]$:

$$\theta_{(z)}(z) = A_\theta \frac{Q_g T^3}{E_p I_p} + B_\theta \frac{M_g T^2}{E_p I_p} \quad (4.51)$$

Kazığın herhangi bir derinlikteki momenti $[M_z(z)]$:

$$M_z(z) = A_m Q_g T + B_m M_g \quad (4.52)$$

Herhangi bir derinlikteki kazık kesme kuvveti $[V_z(z)]$:

$$M_z(z) = A_m Q_g T + B_m M_g \quad (4.53)$$

$$V_z(z) = A_v Q_g + B_v \frac{M_g}{T} \quad (4.54)$$

Kazığın belirli bir derinliğindeki zemin reaksiyonu $[p'_z(z)]$:

$$p'_z(z) = A'_p \frac{Q_g}{T} + B'_p \frac{M_g}{T^2} \quad (4.55)$$

Denklem 4.50'den 4.54'e kadar gösterilen A_x , B_x , A_θ , B_θ , A_m , B_m , A_v , B_v , A_p' ve B_p' katsayılar olarak belirtilmiştir. T ; zemin-kazık sistemindeki kazıkların davranışını uzunluğudur ve aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p I_p}{n_h}} \quad (4.56)$$

Kazık sistemlerinde, L (kazık uzunluğu) ve T (karakteristik uzunluk) arasındaki ilişki, $L \geq 5T$ koşulu karşılandığında kazığın uzun kazık olarak değerlendirilmesine neden olurken, $L \leq 2T$ durumunda kazığın rijit kazık olarak kabul edilmesine yönelik bir kriter oluşturulmuştur. Çizelge 4.7'de, eşitlik 4.48 ile 4.52 arasındaki katsayılar sunulmuştur. İlk sütundaki Z değeri, 4.57'deki belirtilen denklemi kullanılarak hesaplanır [44].

$$Z = \frac{z}{T} \quad (4.57)$$

Çizelge 4.7 : Uzun kazıklar için katsayılar, $k_z = n_h z$.

Z	A_x	A_θ	A_m	A_v	A_p'	B_x	B_θ	B_m	B_v	B_p'
0.0	2.435	-1.623	0.000	1.000	0.000	1.623	-1.750	1.000	0.000	0.000
0.1	2.273	-1.618	0.100	0.989	-0.227	1.453	-1.650	1.000	-0.007	-0.145
0.2	2.110	-1.603	0.198	0.956	-0.422	1.293	-1.550	0.999	-0.028	-0.259
0.3	1.952	-1.578	0.291	0.906	-0.586	1.143	-1.450	0.994	-0.058	-0.343
0.4	1.796	-1.545	0.379	0.840	-0.718	1.003	-1.351	0.987	-0.095	-0.401
0.5	1.644	-1.503	0.459	0.764	-0.822	0.873	-1.253	0.976	-0.137	-0.436
0.6	1.496	-1.454	0.532	0.677	-0.897	0.752	-1.156	0.960	-0.181	-0.451
0.7	1.353	-1.397	0.595	0.585	-0.947	0.642	-1.061	0.939	-0.226	-0.449
0.8	1.216	-1.335	0.649	0.489	-0.973	0.540	-0.968	0.914	-0.270	-0.432
0.9	1.086	-1.268	0.693	0.392	-0.977	0.448	-0.878	0.885	-0.312	-0.403
1.0	0.962	-1.197	0.727	0.295	-0.962	0.364	-0.792	0.852	-0.350	-0.364
1.2	0.738	-1.047	0.767	0.109	-0.885	0.223	-0.629	0.775	-0.414	-0.268
1.4	0.544	-0.893	0.772	-0.056	-0.761	0.112	-0.482	0.688	-0.456	-0.157
1.6	0.381	-0.741	0.746	-0.193	-0.609	0.029	-0.354	0.594	-0.477	-0.047
1.8	0.247	-0.596	0.696	-0.298	-0.445	-0.030	-0.245	0.498	-0.476	0.054
2.0	0.142	-0.464	0.628	-0.371	-0.283	-0.070	-0.155	0.404	-0.456	0.140
3.0	-0.075	-0.040	0.225	-0.349	0.226	-0.089	0.057	0.059	-0.213	0.268
4.0	-0.050	0.052	0.000	-0.106	0.201	-0.028	0.049	-0.042	0.017	0.112
5.0	-0.009	0.025	-0.033	0.015	0.000	0.000	-0.011	-0.026	0.029	-0.002

denklem 4.48'dan 4.54'a kadar verilen çözümler Davisson ve Gill Matlock ve Reese tarafından kohezyonlu zeminler için geliştirilmiştir [47]. Aşağıdaki gibi gösterilmiştir.

$$x_z(z) = A'_x \frac{Q_g R^3}{E_p I_p} + B'_x \frac{M_g R^2}{E_p I_p} \quad (4.58)$$

$$M_z(z) = A'_m Q_g R + B'_m M_g \quad (4.59)$$

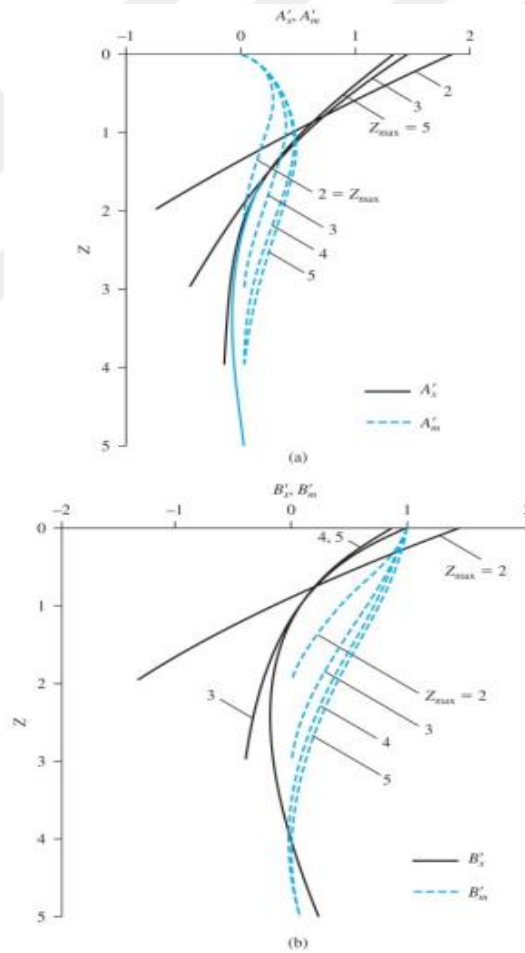
şeklindedir. A'_x , B'_x , A'_m ve B'_m katsayılarıdır ve:

$$R = \sqrt[4]{\frac{E_p I_p}{k}} \quad (4.60)$$

Şekil 4.8'de gösterilen Z ve Z_{max} için, aşağıdaki denklemler ifade edilmiştir [47].

$$Z = \frac{z}{R} \quad (4.61)$$

$$Z_{max} = \frac{L}{R} \quad (4.62)$$



Şekil 4.8 : Uzun kazıklar için katsayılar; A'_x , B'_x , A'_m ve B'_m 'nin Z ile değişimi.

4.55 ve 4.56 denklemlerini kullanabilmek için, karakteristik R uzunluğunun boyutunu bilmek gereklidir. Bu değer, 4.59 denkleminde zeminin yatak katsayısı bilinirse hesaplanabilir. Kumlu zeminlerde, derinlikle doğrusal olarak değişen yatak

katsayısının hesaplanması 4.64 denkleminde açıklanmıştır. Ayrıca, siltli ve killi zeminlerde, yatak katsayısı genellikle kazığın derinliği ile birlikte görece sabit kalmaktadır. Zeminin yatak katsayısı için önerilen denklem 4.62’te gösterilmiştir [47].

$$k = 0.65 \sqrt[12]{\frac{E_s D^2}{E_p I_p} \frac{E_s}{1 - \mu^2}} \quad (4.63)$$

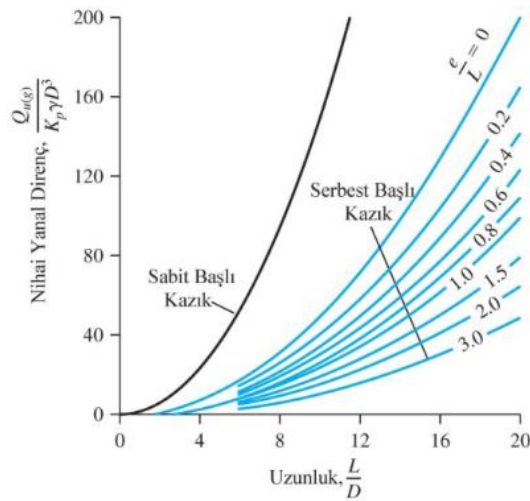
Denklem 4.63’te görülen, E_s ; zeminin elastisite modülü, D ; kazık çapı, μ_s ; zeminin poisson oranı ifade etmektedir.

4.5.2 Broms metodu ile yanal yük altında kazıkların çözümü

Yanal yüklü kazıklar için, kısa kazıklarda kesme kayması, uzun kazıklarda ise kazık çevresel kesitinin plastik akma dayanımı üzerinden kazığın eğilmesini kabul eden basitleştirilmiş bir yöntem sunulmuştur. Broms'un metoduna göre, kısa kazıkların davranışını değerlendiren çalışmada, kum zemindeki nihai yanal yük $Q_{u(g)}$ Şekil 4.9’da grafikte ifade edilmişken, aynı metodoloji kullanılarak kil zemindeki nihai yanal yük $Q_{u(g)}$ Şekil 4.10’de görselleştirilmiştir [48].

Kumlu zeminlerde için Şekil 4.9’da ve 4.64’teki eşitlik sunulduğu gibi, K_p ; Broms teorisine göre rankine pasif toprak basınç katsayısı ifade etmektedir [48].

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) \quad (4.64)$$

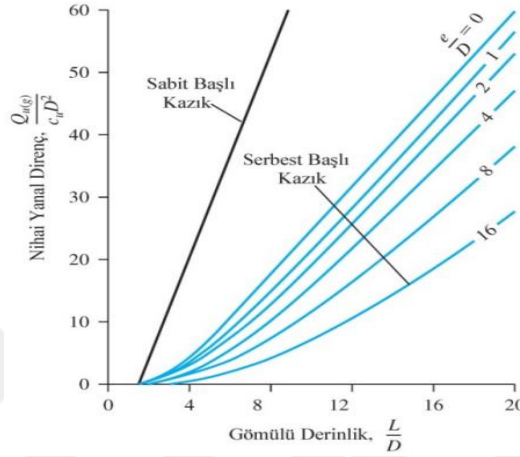


Şekil 4.9 : Kumlu zeminlerde kısa kazıkların maruz kaldığı nihai yanal direnç.

Killi zeminlerde kısa kazıklar için Şekil 4.10'da gösterildiği gibi aşağıdaki eşitlik ifade edilir;

$$c_u \approx \frac{0.75q_u}{FS} = \frac{0.75q_u}{2} = 0.375q_u \quad (4.65)$$

FS ; güvenlik sayısı, q_u ; serbest basınç mukavemeti, c_u ; drenajsız kohezyon ifade etmektedir.

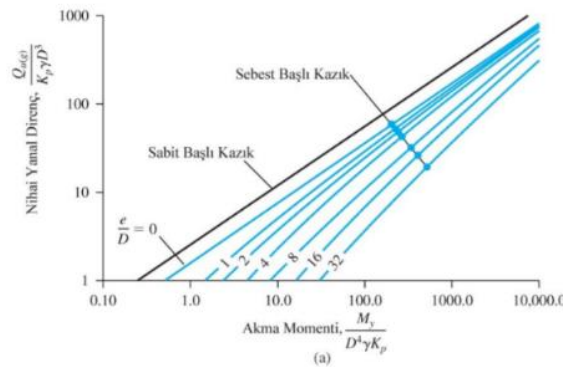


Şekil 4.10 : Killi zeminlerde kısa kazıkların maruz kaldığı nihai yanal direnç.

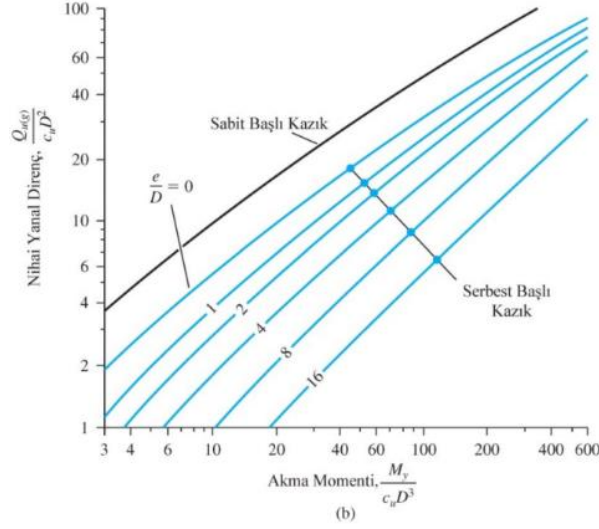
Şekil 4.11'de gösterildiği gibi, uzun kazıkların maksimum yanal yükünün belirlenmesi için Broms metodunu açıklamaktadır; bu bağlamda, sunulan plastik akma momenti 4.66'deki denklemle ifade edilir [48].

$$M_y = SF_y \quad (4.66)$$

S ; kazığın çevresel kesit modülü, F_y ; Kazığın oluşturulduğu materyalin plastik akma dayanımı, ifade etmektedir.



Şekil 4.11 : Kumlu zeminlerde uzun kazıkların maruz kaldığı nihai yanal direnç.



Şekil 4.12 : Killi zeminlerde uzun kazıkların maruz kaldığı nihai yanıl direnç.

Servis yükü altında, kazık başlığının yerdeğiştirmenin $x_z(z = 0)$ belirlenmesi için, Şekil 4.13'deki gösterilen grafiğe incelenebilir. Şekil 4.13a'da granüler zeminler için kullanılan η 4.67'deki denklem ile gösterilmiştir [48].

$$\eta = \sqrt[5]{\frac{\eta_s}{E_p L_p}} \quad (4.67)$$

Granüler zeminler için η_h değerleri Çizelge 4.8'de sunulmuştur.

Çizelge 4.8 : Granüler zeminler η_h değerleri.

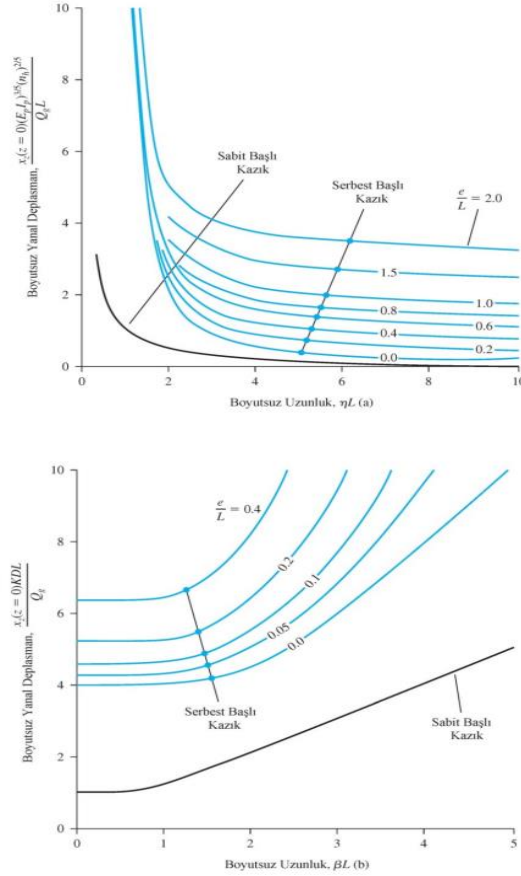
Zemin	$\eta_h(\text{kN/m}^3)$
Kuru veya Nemli Kum	
Gevşek	1800-2200
Orta Sert	5500-7000
Sert	15,000-18,000
Su altında Kum	
Gevşek	1000-1400
Orta Sert	3500-4500
Sert	9000-12,000

Şekil 4.13b'de sunulan K terimi, killi zeminler için yatay zemin modülünü ifade etmekte olup, aşağıdaki denklemle ifade edilir.

$$K = \frac{\text{Basınç}}{\text{Deplasman}} \quad (4.68)$$

Şekil 4.13b’de sunulan β terimi, killi zeminler için yatay zemin modülünü ifade etmekte olup, aşağıdaki denklemle ifade edilir.

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{KD}{4E_p I_p}} \quad (4.69)$$



Şekil 4.13 : Kazık başlığı yerdeğiştirme, (a) kumlu zeminlerde ve (b) killi zeminlerde.

Çizelge 4.9'da kil zeminlerine ait K katsayıları sunulmuştur.

Çizelge 4.9 : Killi zeminler için K değerleri.

Serbest Basınç	K
Mukavemeti kN/m^2	$\text{kN/m}^3 (10^3)$
200	10-20
200-800	20-40
>800	>40

5. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tezin kapsamındaki çalışmalar, farklı analiz programları kullanarak kazık gruplarının, farklı derinliklerde, çaplarda ve grup sayılarında eksenel ve yanal yükleri altında maruz kaldığı maksimum oturmalar, yanal yer değiştirmeler, kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri üzerinde karşılaştırmalar yapılmaktadır.

Çalışmanın ilk aşamasında, kazık taşıma gücü hesaplama yöntemleri ve kazık grup verimliliği üzerine araştırmalar yapılmıştır. Kazık gruplarında en kritik faktörlerden biri, kazık taşıma gücüdür. Daha önceki çalışmalarda, kazık grubunun taşıma gücünün kazık sayısına veya çapına bağlı olarak oturmalar, yanal yer değiştirmeler, kesme kuvvetleri ve momentleri nasıl değiştiği tam olarak belirtilmemiştir. Bu bağlamda, kumlu zeminlerdeki kazık gruplarının oturmaları, kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Farklı özelliklere sahip kazık gruplarının taşıma kapasiteleri, uç dirençleri ve sürtünme dirençleri, farklı hesaplama yöntemleri kullanılarak ayrı ayrı detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında, kazıklı radye sistemi analiz programları kullanılarak sistemin davranışı incelenmiştir. Kazıkların sayısı ve özelliklerinin, kazıklı radye sistemi üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Her bir kazık grubu için yapılan analiz modellemelerin sonuçları, SAP2000, Plaxis 3D Foundation ve GEO5 programlarından elde edilen maksimum düşey oturmalar, yanal yer değiştirmeler, kesme kuvvetleri ve momentleri içermektedir. Analiz sonuçlarına göre, kazıklar arasındaki yük paylaşımından kaynaklanan maksimum düşey oturmaların, yanal yer değiştirmelerin, kesme kuvvetlerin ve eğilme momentlerinin kazık çapının büyük seçilmesiyle arttığı gözlemlenmektedir.

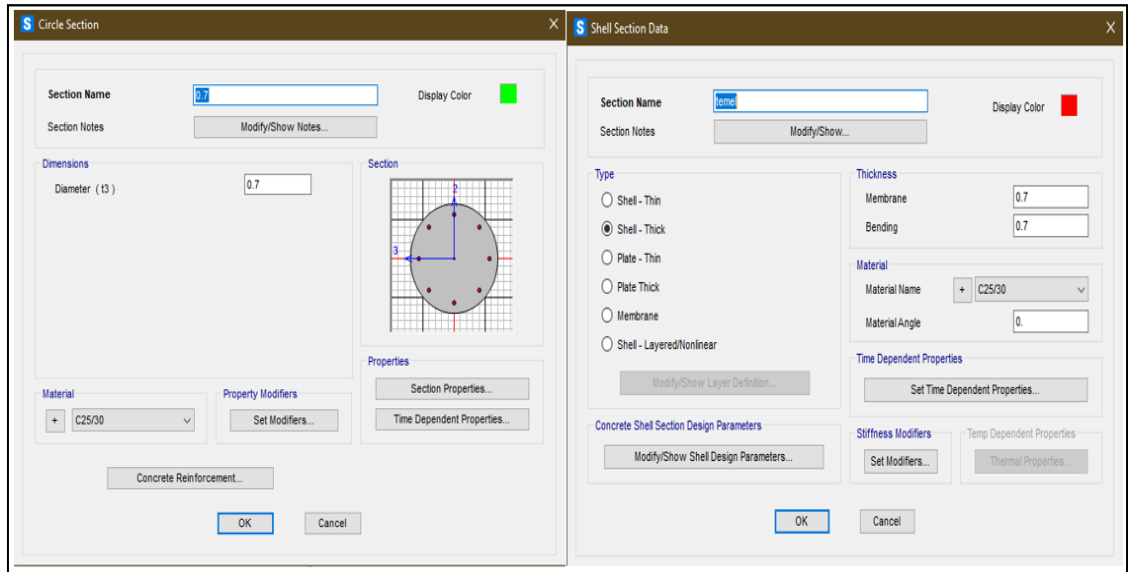
5.1 Analizlerde Kullanılan Programlar

Çalışmada, düşey ve yanal yüklerin etkisi altındaki kazık grupları ve radye temelinin tasarımı, sonlu elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Bu analizlerde kazık-zemin tasarımı için SAP2000, Plaxis 3D Foundation ve GEO5 gibi sonlu elemanlar

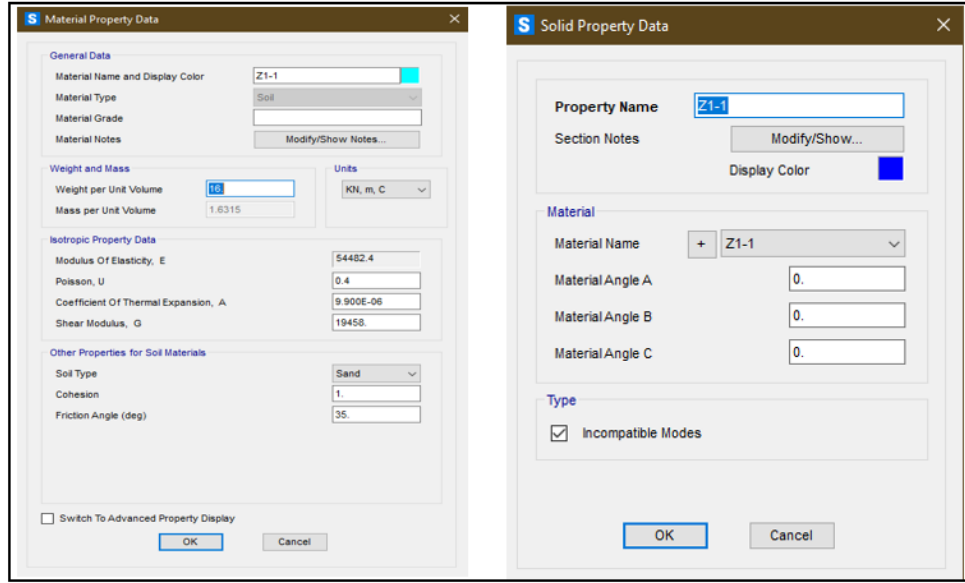
programları kullanılmıştır. Analizde farklı kazık grubu modelleri kullanılarak, aynı zemin şartları için belirlenen parametrelerle kazık-zemin modelleri oluşturulmuş ve çeşitli analizler gerçekleştirilmiştir.

5.1.1 SAP2000 sonlu elemanlar programı

SAP2000, genel amaçlı bir inşaat mühendisliği yazılımıdır ve her türlü yapı sistemini analiz etmek ve tasarlamak için uygundur. Temel ve karmaşık sistemler, basit geometrilerden karmaşık olanlara kadar olan her türlü yapı, 2D'den 3D'ye kadar modellenebilir, analiz edilebilir, tasarlanabilir ve optimize edilebilir. Şekil 5.1 ve 5.2'de gösterildiği gibi, SAP2000 programı ile oluşturulan kazıklı radye temel modelleri için, kazıklar frame (çubuk) ve radye temel area-shell (kabuk) olarak modellenebilir. Bu, hem kazıkların hem de radye temelinin detaylı bir şekilde temsil edilmesine olanak tanır. Ayrıca, kazıklar ve radye için kullanılan malzeme özellikleri, örneğin beton sınıfı C25/30 gibi, program aracılığıyla seçilebilir. Zemin özellikleri tanımlanması için programın malzeme tanımlama menüsü kullanılarak belirlenir ve ardından zemin fiziksel olarak solid (katı) olarak modellenir.

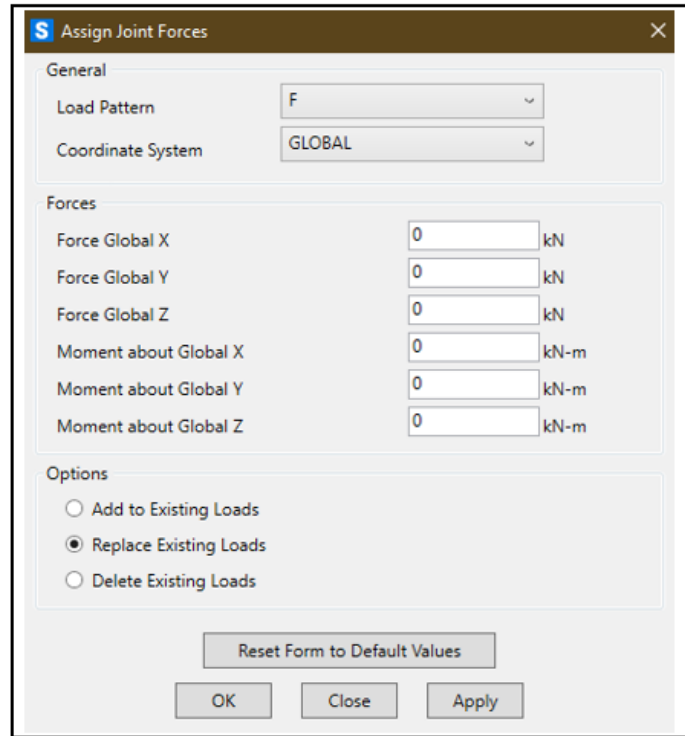


Şekil 5.1 : SAP2000 programı ile kazık ve temel özellikleri tanımlanması.



Şekil 5.2 : SAP2000 programı ile zemin özellikleri tanımlanması.

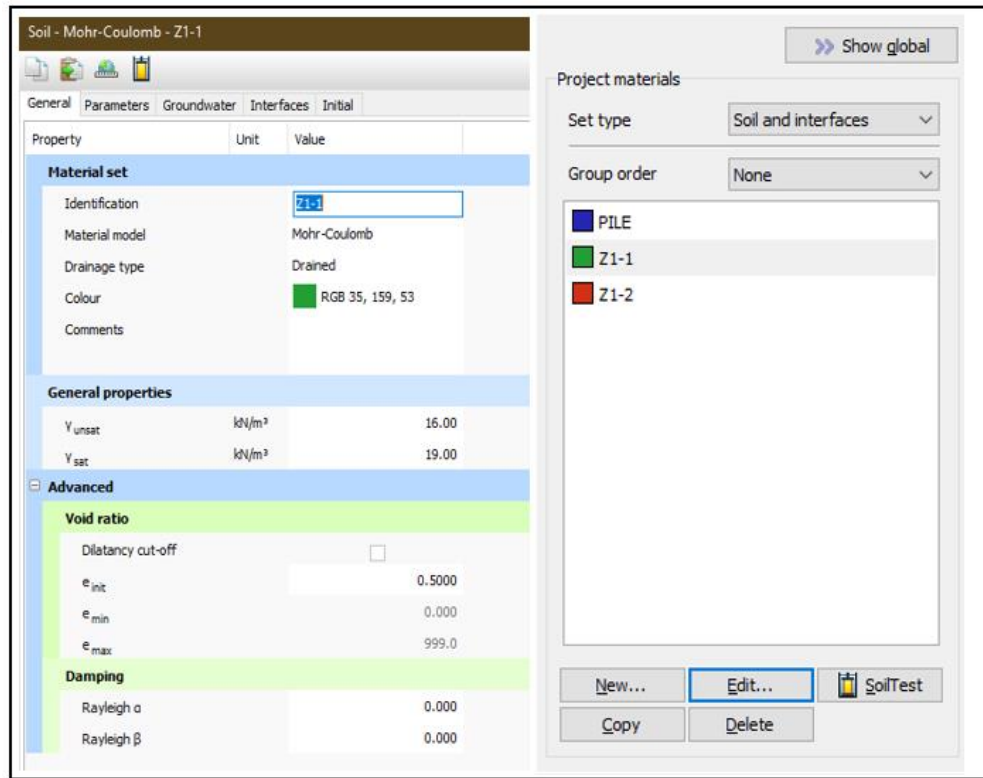
SAP2000 programı ile oluşturulan modelde, üst yapıdan gelen toplam yükler, Şekil 5.3'te gösterildiği gibi her kazığın başına Z yönünde eşit şekilde uygulanmaktadır. Analiz kısmı tamamlandıktan sonra, kazıkların en üst noktalarında meydana gelen oturmalar, yanal yer değiştirmeler, kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri, analiz tablosundan alınarak kaydedilmektedir.



Şekil 5.3 : Kazık grubuna yük tanımlanması.

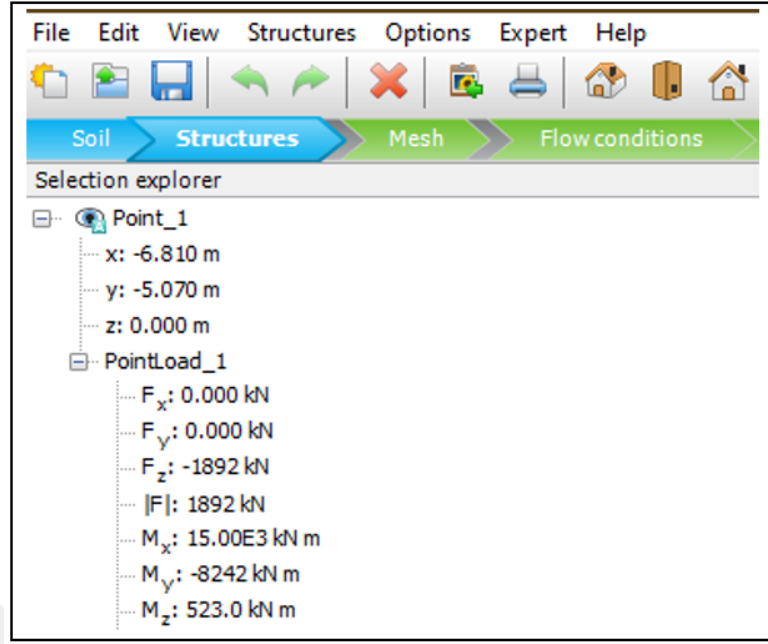
5.1.2 Plaxis 3D sonlu elemanlar programı

Geoteknik mühendislik için özel olarak tasarlanmış olan Plaxis 3D Foundation, temel-zemin analizi için kullanılan bir sonlu eleman programıdır. Analiz gerektiren herhangi bir projede ilk adım, bir geometrik model oluşturmaktır. Bu geometrik model, noktalardan, hücrelerden ve çizgilerden oluşmaktadır. Oluşturulan geometrik model, çeşitli zemin katmanlarını, Program, temelin yapısal elemanları ve yüklerini içeren bir model oluşturmak için basit çizim araçları ve karmaşık sonlu eleman modellerini kolayca oluşturma imkanı sağlamaktadır. Analiz sonuçlarını etkilememek amacıyla tercih edilen model sınırları x ve y yönlerinde her biri 10 metre, kazıklar ise düşey yönünde 10 metre daha derin olacak şekilde modellenmelidir. Model çizimi tamamlandıktan sonra, malzemelerin özelliklerini tanımlamak için Şekil 5.4'deki menüde bulunan malzeme tanımlama bölümü ve genel malzeme özellikleri menüsü kullanılmaktadır.



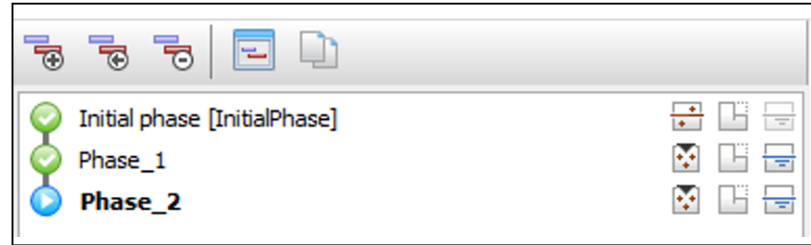
Şekil 5.4 : Zemin ve kazık özellikleri tanımlanması.

Geometri noktalarına nokta kuvvetleri, çizgiler üzerine ise yayılı kuvvetler uygulanabilir. Şekil 5.5'te sunulduğu gibi, nokta yükler hem düşey hem de yatay bileşenleri içerebilir. Yayılı yükler için her bir birim alan başına (kN/m²), nokta yükler için ise her bir birim uzunluk başına (kN/m) değerleri girilmektedir.



Şekil 5.5 : Plaxis 3D foundation kazık grubuna yük bileşenler tanımlanması.

Çizim alanı ölçüleri belirlendikten sonra, temel analiz parametreleri için zemin ve kazık malzemeleri oluşturulup tanımlama işlemi gerçekleştirilir. Daha sonra sistem üzerinde etki edecek yükler seçilir ve ardından sistem mesh yapılır. Şekil 5.6'da gösterildiği gibi, faz kısmı tamamlandıktan sonra analiz sonuçları elde edilmektedir.



Şekil 5.6 : Plaxis 3D Foundation faz işleminin tanımlanması.

5.1.3 GEO5 sonlu elemanlar programı

GEO5 yazılım programı, farklı geoteknik mühendislik problemlerinin çözümü için kendi içinde çeşitli program başlıkları sunmaktadır. Her program başlığı, farklı geoteknik problemlerin analizi için kullanılmaktadır. Kullanılan programlar, tipik olarak analitik yöntemlere ve Sonlu Elemanlar Yöntemi'ne dayalı olarak çözümler üretmektedir. GEO5, temel analizlerden, şev stabilitesine, istinat duvarlarından, kazıklara ve kazık gruplarına kadar yaygın geoteknik mühendislik çözümlerinin yanı sıra tünel yapılarından kaynaklanan yapısal hasarlar, kaya şev stabilitesi analizi gibi karmaşık problemlerin çözümünü içermektedir. GEO5 kazık grup programında,

istenilen taşıma gücü teorilerini belirlemek için yönetici ayarları bölümünden değişiklik yapabilirsiniz. Programın kullanımında, güvenlik faktörleri seçilen analiz türüne göre özelleştirilebilir (Şekil 5.7).

Materials and standards | Settlement | **Pile Group**

Verification methodology : Safety factors (ASD) ▼

Analysis for drained conditions : NAVFAC DM 7.2 ▼

Analysis for undrained conditions : UFC 3-220-01A ▼

Efficiency of pile group : La Barré (CSN 73 1002) ▼

Permanent design situation | Transient design situation | Accidental design situation | Seismic design situation

— Safety factors —

Safety factor : $SF_{op} =$ 2.00 [-]

Şekil 5.7 : GEO5, kazık grubu yönetici ayarları ve güvenlik faktörleri.

GEO5 programında, kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde taşıma kapasitesi, oturma, yanal yer değiştirmeler ve eğilme momentlerini bulmak için gerekli zemin ve kazık parametrelerini girebileceğiniz bir seçenek sunulmaktadır. Kohezyonsuz zeminler için, NAVFAC DM 7.2 ve efektif gerilme ile CSN 73 1002 standartlarına dayalı taşıma kapasitesi analizi yapılırken, kohezyonlu zeminler için sadece kazık blok taşıma kapasitesine göre analiz yapılmaktadır. Kazık grubunun geometrik özellikleri belirlendikten sonra, zeminin özelliklerini tanımlamak için Şekil 5.8'deki menüde bulunan malzeme tanımlama bölümü ve zeminin özellikleri menüsü kullanılmalıdır.

Add new soils

— Identification —

Name :

— Basic data — ?

Unit weight : $\gamma =$ [] [kN/m³]

Angle of internal friction : $\phi_{ef} =$ [] [°]

Cohesion of soil : $c_{ef} =$ [] [kPa]

— Settlement - oedometric modulus — ?

Poisson's ratio : $\nu =$ [] [-]

Settlement analysis : input Eoed ▼

Oedometric modulus : $E_{oed} =$ [] [MPa]

— Uplift pressure — ?

Calc. mode of uplift : standard ▼

Saturated unit weight : $\gamma_{sat} =$ [] [kN/m³]

— Determining modulus of subsoil reaction —

Elastic modulus : $E =$ [] [MPa]

— Draw —

Pattern category : GEO ▼

Search :

Subcategory : Soils (1 - 16) ▼

Pattern : 1 Silt

Color :

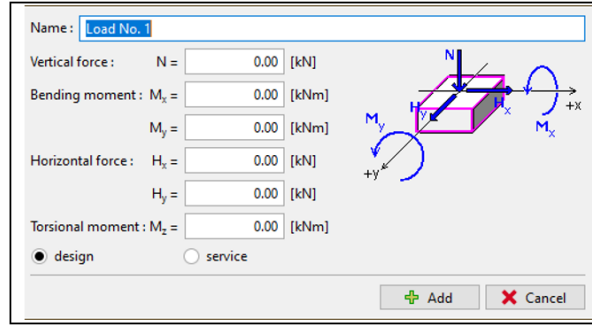
Background : automatic ▼

Saturation <10 - 90> : 50 [%]

Şekil 5.8 : GEO5, zeminin özelliklerini girilmesi.

Kazıklı temel ve analiz parametreleri belirlendikten sonra, çizim alanı ölçüleri üzerinde zemin ve kazık materyali oluşturulur ve tanımlamalar yapılır. Daha sonra,

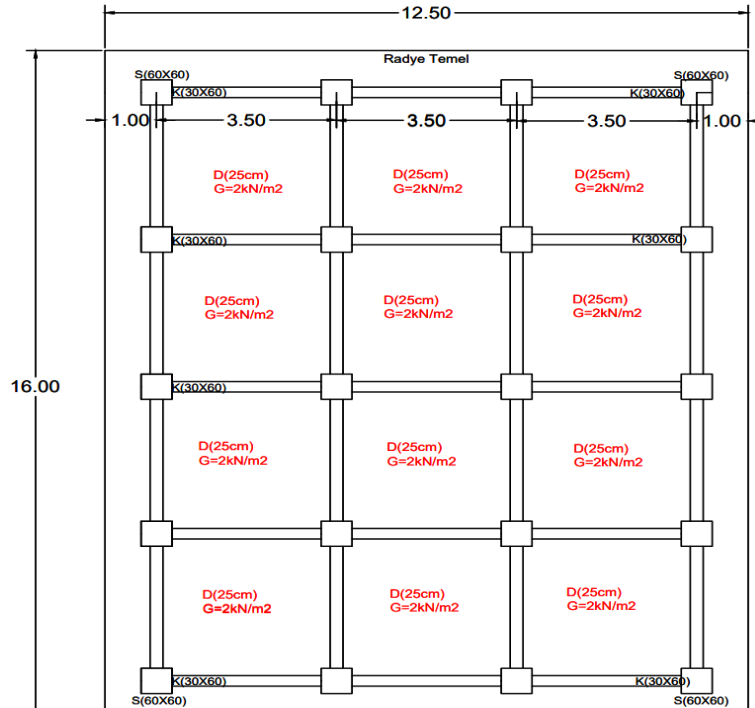
kazıklı radye temelin merkezine etki edecek yük seçilir ve analiz başlatılarak sonuçlar elde edilir (Şekil 5.9).



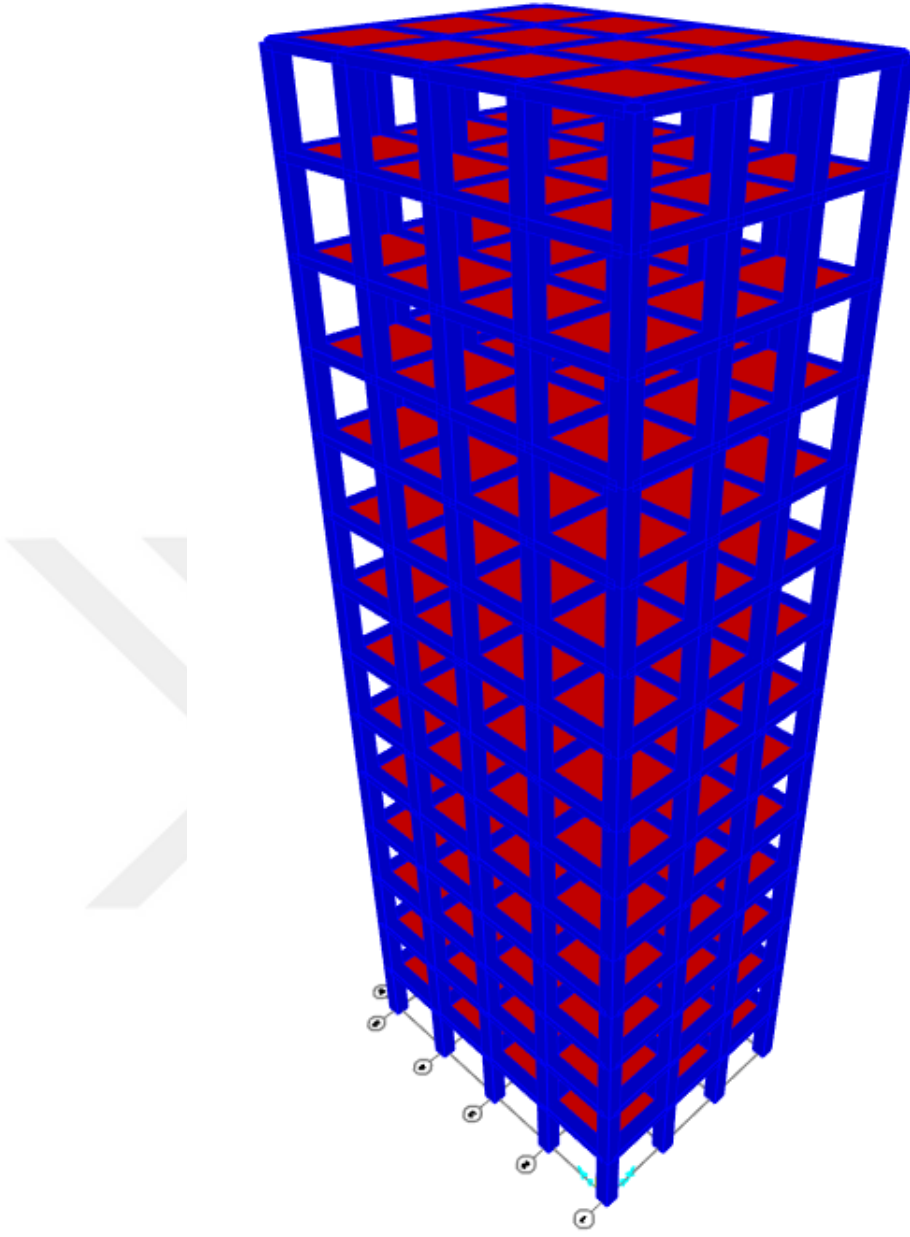
Şekil 5.9 : GEO5 programında yükler tanımlanması.

5.2 Üstyapı Modellemesi ve Temele Aktarılan Yükler Belirlenmesi

Çalışma kapsamında, üst yapı modellemesi SAP2000 sonlu elemanlar programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullandığımız üst yapı modeli, 15 katlı bir yapı olarak modellenmiştir. Zati yük 3kN/m^2 olarak ayarlanmış olup, hareketli yük 2kN/m^2 olarak tanımlanmıştır. Kolon ve kiriş ön boyutlandırılmasında düşey yük kombinasyonu $1.4G + 1.6Q$ kullanılmıştır. Üst yapıda, Şekil 5.10'da gösterildiği gibi, tüm kirişler için $b_w = 30\text{ cm}$, $h = 60\text{ cm}$, kat yüksekliği 3 m ve döşeme kalınlığı 25 cm olarak seçilmiştir. Üst yapının SAP2000 modeli, Şekil 5.11'de sunulmuştur.



Şekil 5.10 : Üstyapının kat planı, (kullanılan ölçüleri birimi metredir).



Şekil 5.11 : Üstyapı Sap2000 modeli.

Analiz bölümünde yapılan çalışmada, hem düşey hem de yanal (deprem yükleri) yükler altındaki davranış incelenmiştir. Üstyapıya etkiyen yanal yükleri belirlenmesi için Şekil 5.12'de görüldüğü gibi, deprem tehlike haritasından alınan parametreler olan yerel zemin sınıfı, kısa periyot harita spektral ivme katsayısı S_s (1.535) ve 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı S_1 (0.417), SAP2000 programında tanımlanmıştır (Şekil 5.13).



Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması



Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	Örnek Rapor		
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi	
Yerel Zemin Sınıfı	ZD	Orta sıkı - sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	
Enlem:	40.767268°		
Boylam	31.107063°		

Çıktılar

$S_s = 1.535$

S_s : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

$S_1 = 0.417$

S₁ : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

$PGA = 0.628$

PGA : En büyük yer ivmesi [g]

$PGV = 46.314$

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

Şekil 5.12 : Türkiye deprem tehlike haritaların çıktıları.

Function Name

SPEKTRUM

Function Damping Ratio

0.05

Parameters

☐ Ss and S1 from USGS - by Lat./Long.

☐ Ss and S1 from USGS - by Zip Code

☒ Ss and S1 User Specified

Site Latitude (degrees) ?

Site Longitude (degrees) ?

Site Zip Code (5-Digits) ?

0.2 Sec Spectral Accel, Ss

1 Sec Spectral Accel, S1

Long-Period Transition Period

Site Class D

Site Coefficient, Fa

Site Coefficient, Fv

Calculated Values for Response Spectrum Curve

SDS = (2/3) * Fa * Ss

SD1 = (2/3) * Fv * S1

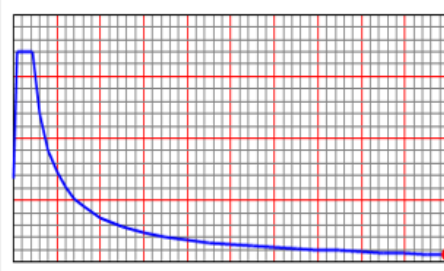
Convert to User Defined

Define Function

Period	Acceleration
0.	0.408
0.0852	1.02
0.4261	1.02
0.6	0.7243
0.8	0.5433
1.	0.4346
1.2	0.3622
1.4	0.3104

Add
Modify
Delete

Function Graph



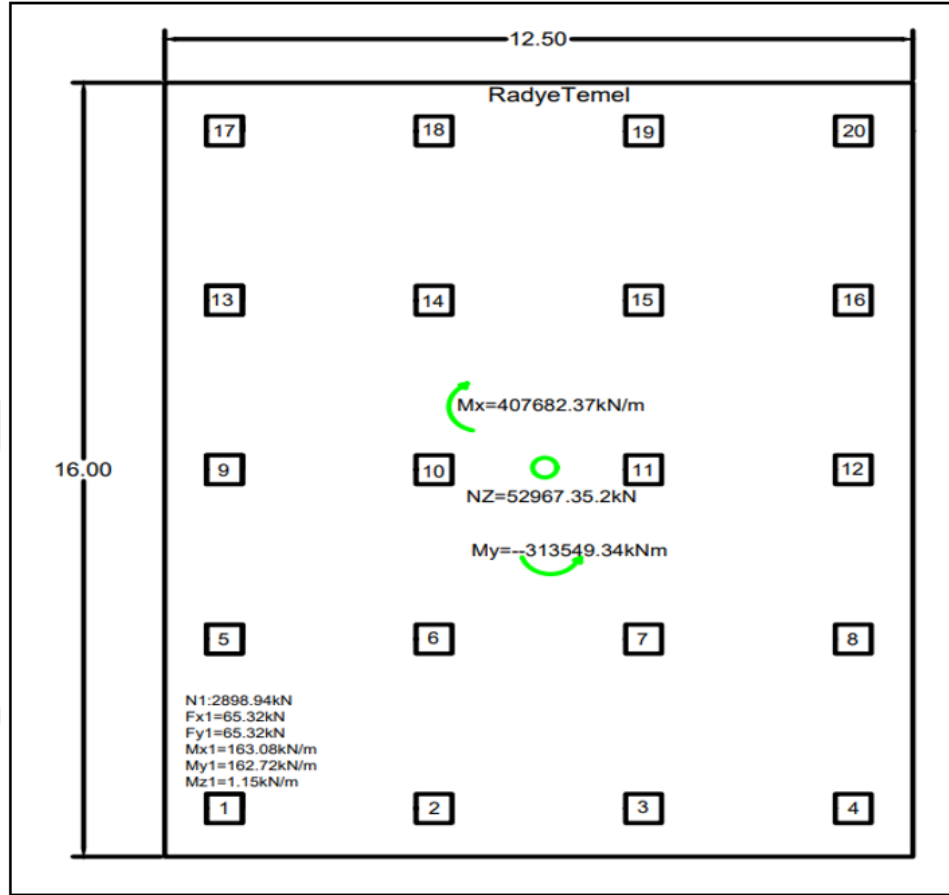
Display Graph (9.973 , 0.035)

OK
Cancel

Şekil 5.13 : Deprem yer hareketi SAP2000 Programında tanımlanması.

5.2.1 Yapıdan temele aktarılan yükler

SAP2000 programındaki verileri içeren Şekil 5.14'te gösterilen üstyapıdan radye temelin merkezine aktarılan toplam eksenel, yanal yükleri ve eğilme momentleri ile ilgili detaylı analiz sonuçları, Çizelge 5.1'de ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur.



Şekil 5.14 : Sap2000 programından alınan Mesnet Reaksiyonları.

Çizelge 5.1 : Yapıdan temelin merkezine itilen yükler.

Üstyapıdan Temele Aktarılan Merkezi Yükler ve Momentler

Toplam Eksenel Yük= 52967.36 kN

Toplam Yanal Kuvvet (X yönü) = 1234.46 kN

Toplam Yanal Kuvvet (Y yönü) = 1292.43 kN

Toplam Eğilme Momenti (X yönü) = 407682.37 kN.m

Toplam Eğilme Momenti (Y yönü) = -313549.34 kN.m

Toplam Burulma Momenti (Z yönü) = 10986.86 kN.m

SAP2000 programı ile elde edilen sonuçlara göre, radye temelde oluşan maksimum gerilme aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$A: 200 \text{ m}^2, W_{xx} = 533.3 \text{ m}^3, W_{yy} = 416.66 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{max} = \frac{N}{A} \pm \frac{M_{x-x}}{W_{xx}} \pm \frac{M_{y-y}}{W_{yy}}$$

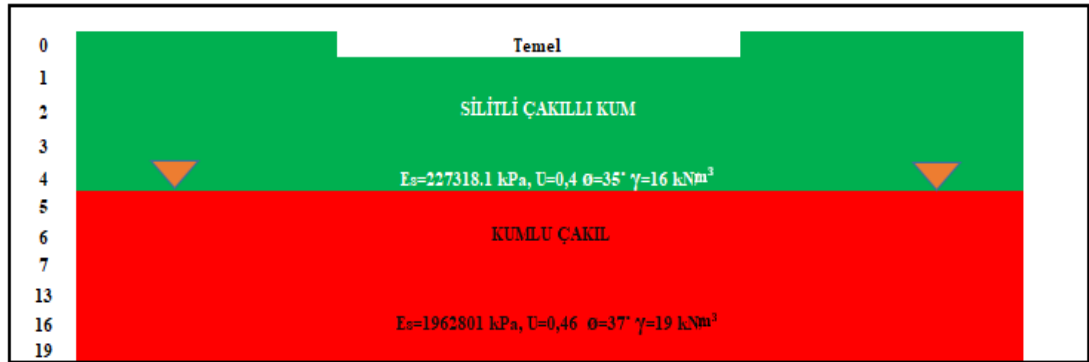
$$\sigma_{max} = \frac{52967,36}{200} + \frac{407682,37}{533,3} - \frac{313549,34}{416,66} = 276,16 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Temelin emniyetli taşıma gücü } q_{em} = 158,86 \text{ kN/m}^2 < 276,16 \text{ kN/m}^2$$

Temelin emniyetli taşıma gücü aşıldığından dolayı kazıklı radye temel tercih edilmiştir.

5.3 Zemin ve Kazık Modellerinin Özellikleri

Yapılan Çalışmada, kazık gruplarının zemin tasarımı için bir zemin etüt raporu örnek olarak kullanılmıştır. İnceleme alanı Düzce ili, Karadeniz Bölgesi'nin kıyı kesimlerindedir. SPT-N değerine göre, zemin iki tabakadan oluşmaktadır ve bu iki tabakanın toplam derinliği 19 m'dir. Ayrıca, yer altı su seviyesinin 4,0 m olduğu kabul edilmiştir. Zemin, SAP2000, Plaxis 3D Foundation ve GEO5 Sonlu Elemanlar programları kullanılarak üç boyutlu olarak modellenmiş ve zemini temsil edebilecek iki farklı tabakanın özellikleri tanımlanmıştır (Şekil 5.15).



Şekil 5.15 : Analizlerde kullanılan zemin profili.

Çalışmadaki modeller için seçilen zeminin tabakaları, kazık ve radye temelin malzeme özellikleri Çizelge 5.2 ve 5.3'de gösterilmiştir. Modellerdeki seçilen yapısal elemanlar (kazık ve radye), Elastik malzemeler, doğrusal sınırları aşmayan ve

akma gerilmelerine yaklaşmayan bir özellik gösterilmiştir. Kazıklı radye temel başlığı, kazığın kendisinden daha yüksek rijitlikte kabul edilmiştir.

Çizelge 5.2 : Modellerde kullanılan zemin özellikleri.

Zemin Türü	Birim Hacim ağırlık (kN/m ³)	Elastisite Modülü (kN/m ²)	Poisson Oranı	Kohezyon (kN/m ²)	İçsel sürtünme açısı (°)
Siltli Çakıllı Kum	16	227318.1	0.4	–	35
Kumlu Çakıl	19	1962801	0.4	–	37

Çizelge 5.3 : Analizlerde kullanılan yapısal malzeme özellikleri.

Malzeme Türü	Birim Hacim ağırlık (kN/m ³)	Elastisite Modülü (kN/m ²)	Poisson Oranı
Kazık	24	30000000	0.2
Başlık	24	300000000	0.2

5.4 Kazık Modellerin Özellikleri

Çalışma kapsamında, Çizelge 5.4'te gösterildiği gibi 70 cm, 90 cm ve 110 cm çaplarındaki; 10 m ve 15 m derinliklerdeki kazıklardan oluşan toplam altı farklı kazık grubu oluşturulmuştur. Manuel hesaplamalar sonucunda her bir kazık grubu için gerekli kazık sayıları belirlenmiş ve bu sayılar, SAP2000, Plaxis 3D Foundation ve GEO5 programlarında modellenerek radye temel altına yerleştirilmiştir. Her model için kazık yerleşim planları oluşturulmuş ve her durum için kazık grubunun verimliliği hesaplanmıştır.

Çizelge 5.4 : Analiz programlarında kullanılan kazık modellerin özellikleri.

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
Kazık Çapı (cm)	70	70	90	90	110	110
Kazık Boyu (m)	15	20	15	20	15	20

5.5 Kazık Modellerin Hesabı

Çalışmada kazık hesabı, Microsoft Excel programı kullanılarak yapılmıştır. İki farklı kazık uzunluğu için toplam altı çalışma içeren üç ayrı Excel çalışma sayfası kullanılmıştır. Çalışmada örnek olarak 20 metre uzunluğundaki ve 70 cm çapındaki kazık grubunun hesabı yapılmıştır, diğer uzunluklar veya çaplar hesaplamaya dahil edilmemiştir. Elle yapılan hesaplamalar ayrıntılı bir şekilde sunulmuş ve Excel çalışma sayfalarının ekran görüntüleri eklenmiştir (Şekil 16).

Model2'deki kazık gruplarında kazık ucu ve sürtünme direncinin hesaplanması;

$$L = 20 \text{ m} \quad D = 0,70 \text{ m} \quad A_p = \frac{\pi D^2}{4} = 0,384 \text{ m}^2 \quad p = \pi D = 2,19 \text{ m}$$

Kazık uç direncinin hesaplanması;

Meyerhof metodu ile kazık uç direncinin (Q_p) hesabı aşağıdaki gibidir;

$$Q_p = A_p (0.5 p_a N_q * \tan \phi')$$

$$q' = 16.3 + (19 - 9,81).15 = 185,85 \text{ kN/m}^3 \text{ (efektif gerilme)}$$

$$N_q^* \approx 194 \text{ (Taşıma gücü faktörü)} \quad \phi' = 37^\circ$$

$$Q_p = 0,384.0,5.100.194. \tan 37 = 2806,83 \text{ kN}$$

Vesic metodu ile kazık uç direncinin (Q_p) hesabı aşağıdaki gibidir;

$$Q_p = A_p q_p = A_p \bar{\sigma}'_0 N_{\sigma}^*$$

$$q' = 185,85 \text{ kN/m}^3 \quad \phi' = 37^\circ \quad m = 276$$

Kazık uç noktasındaki efektif normal gerilme;

$$\bar{\sigma}'_0 = \left(\frac{1+2(1-\sin 37)}{3} \right) 185,85 = 148,56 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0.1 + 0.3 \left(\frac{\phi' - 25}{20} \right) = 0.1 + 0.3 \left(\frac{37 - 25}{20} \right) = 0.28$$

$$\Delta = 0,005 \left(1 - \frac{\phi' - 25}{20} \right) \frac{q'}{p_a} = 0,005 \left(1 - \frac{37 - 25}{20} \right) \frac{185,85}{100} = 0,003$$

$$I_r = \frac{E_s}{2(1+\mu_s)q' \tan \phi'} = \frac{227318.1}{2(1+0,003)185,85. \tan 37} = 81,36$$

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1+I_r \Delta} = \frac{81,36}{1+81,36.0,005} = 57,83 \quad N_{\sigma}^* = 75$$

$$Q_p = 0,384.148,56.75 = 4278,528 \text{ kN}$$

Q _p 'nin Sonuçları	
Meyerhof	Vesic
2806,82 kN	4272,77 kN

Ortalaması alındığında, $Q_p = 3,539.82 \text{ kN}$ olarak elde edilmektedir.

Kazık sürtünme direncinin hesaplanması;

SPT Korelasyonu (Kum), metodu ile kazık sürtünme direncinin (Q_s) hesabı aşağıdaki gibidir;

$$Q_s = pL f_{av}$$

$$\text{Meyerhof eşitliği ile } f_{av} = 0.02 p_a (N_{60}) = 0,02.100.24,5 = 49 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Briaud eşitliği ile } f_{av} = 0.224 p_a (N_{60})^{0.29} = 0,224.100. (24,5)^{0,29} = 56,63 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{s(MEY)} = 2,51.20.49 = 2763,60 \text{ kN}$$

$$Q_{s(BRI)} = 2,51.20.56,63 = 3193,93 \text{ kN}$$

iki sonucun ortalaması ile:

$$Q_{s(KUMSPT)} = 2978,77 \text{ kN}$$

Tek kazığın taşıma gücü;

$$Q_{all} = \frac{Q_p + Q_s}{FS} = \frac{3539,82 + 2978,77}{3} = 2,172.85 \text{ kN olarak bulunmuştur.}$$

Şekil 5.16'de gösterildiği gibi Meyerhof metodu ile kazık uç direnci Microsoft Excel programı kullanılarak yapılmıştır. 1. Tabaka kalınlığı 3m ve birim hacim ağırlığı 16 kN/m³, 2. tabaka kalınlığı 15m olup birim hacim ağırlığı 19 kN/m³ olarak alınmıştır. Buna göre uç direnci Meyerhof metodu ile 2806,82kN olarak hesaplanmıştır.

SK2 D=0.7 m L=20 m Kazık Hesabı						
Kazık Derinlig L=	20.00	m	Kazık Uç Alanı A _p =	0.384	m ²	
Kazık Çapı D=	0.70	m	Kazık Çevresi p =	2.19	m	
Qp'nin belirlenmesi						
Meyerhof Metodu (Kil için)						
C _u =0	Q _p =0					
Meyerhof Metodu (Kum için)						
Tabaka	1	2	3	4	5	6
γ (kN/m ³)	16	19				
D _f (m)	3	15				
γ _w (kN/m ³)		9.81				
q' = 185.85 kN/m ³ N _q ⁺ = 194 Ø=37°						
Q _p =		2,806.82	kN			

Şekil 5.16 : Meyerhof metodu ile kazık uç direnci hesabı.

Şekil 5.17'de Vesic metodu ile kazık uç direnci hesabı görülmektedir. Meyerhof metodunda olduğu gibi 1. Tabaka kalınlığı 3m ve birim hacim ağırlığı 16 kN/m³, 2. tabaka kalınlığı 15m olup birim hacim ağırlığı 19 kN/m³ olarak alınmıştır. Buna göre uç direnci ortalaması 3539,82 kN olarak hesaplanmıştır.

Vesic Metodu (Kil için)						
C _u =0			Q _p =0			
Vesic Metodu (Kum için)						
Tabaka	1	2	3	4	5	6
γ (kN/m ³)	16	19				
Df(m)	3	15				
γ _w (kN/m ³)		9.81				
q' = 185.85 kN/m² m = 276 Ø = 37° σ₀ = 148.36 kN/m² μ_s = 0.28 Δ = 0.003 I_r = 81.36 I_{rr} = 57.83 N*σ = 75 Q_p= 4,272.77 kN						

Şekil 5.17 : Vesic metodu ile kazık uç direnci hesabı.

Şekil 5.18’de gösterildiği gibi SPT Korelasyonu metodu ile kazık sürtünme direnci Microsoft Excel programı kullanılarak yapılmıştır. 1. Tabaka N_{60} değeri 11, 2. tabaka N_{60} değeri 38 olup N_{60} ortalaması 24.5 olarak bulunmuştur. Buna göre uç direnci Meyerhof ve Briand metodu ortalaması alınarak 2978,77kN olarak bulunmuştur.

Q_s 'nin belirlenmesi						
SPT Korelasyonu Metodu (Kum için)						
Tabaka	1	2	3	4	5	6
N_{60}	11	38				
N_{60}	24.5					
Meyerhof eşitliği ile $f_{av} = 0.02P_a(N_{60}) = 0,02.100.24.5 = 49 \text{ kN/m}^2$						
Briaud eşitliği ile $f_{av} = 0.224P_a(N_{60})^{0.29} = 0,224.100. (24.5)^{0.29} = 56,63 \text{ kN/m}^2$						
Q_{sMey}	=	2,763.60				kN
Q_{sBri}	=	3,193.93				kN
Q_{spt} ortalama	=	2,978.77				kN

Şekil 5.18 : SPT korelasyon metodu ile kazık sürtünme direnci hesabı.

Şekil 5.19’da gösterildiği gibi, tek kazığın taşıma gücü, kazık uç direnci ve kazık sürtünme direnci değerleri güvenlik katsayısı ile bölünerek hesaplanmıştır.

Tek Kazığın Taşıma Gücü:			
Q_p	=	3,539.80 kN	FS = 3
Q_s	=	2,978.77 kN	
$Q_{ALL} = 2,172.85 \text{ kN}$			

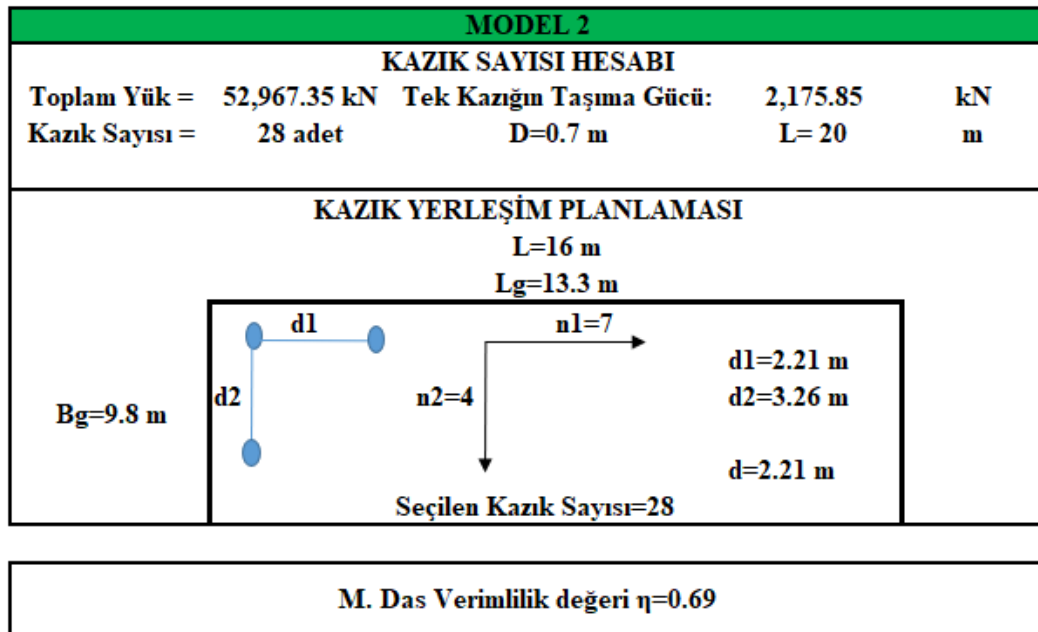
Şekil 5.19 : Tek kazığın taşıma kapasitesinin hesabı.

Üstyapıdan gelen yüklerin tek bir kazığın taşıma kapasitesine bölünmesiyle, kazık sayıları hesaplanmıştır. Manuel kazık hesaplamalarında, grup verimliliği hesaplamaları için Microsoft Excel programı kullanılmıştır. Seçilen örnek hesaplama için 70 cm çapındaki ve 20 m derinliğindeki bir kazık kullanılmış ve bu hesaplamalar Şekil 5.20'de gösterilmiştir. Orantılı yerleşim için belirlenen kazık sayısı; 28 kazık olup, kazıklar iki doğrultuda $n_1 = 7$ (Uzun kenar yönü) ve $n_2 = 4$ (Kısa kenar yönü) olarak yerleştirilmiştir (Şekil 5.21).

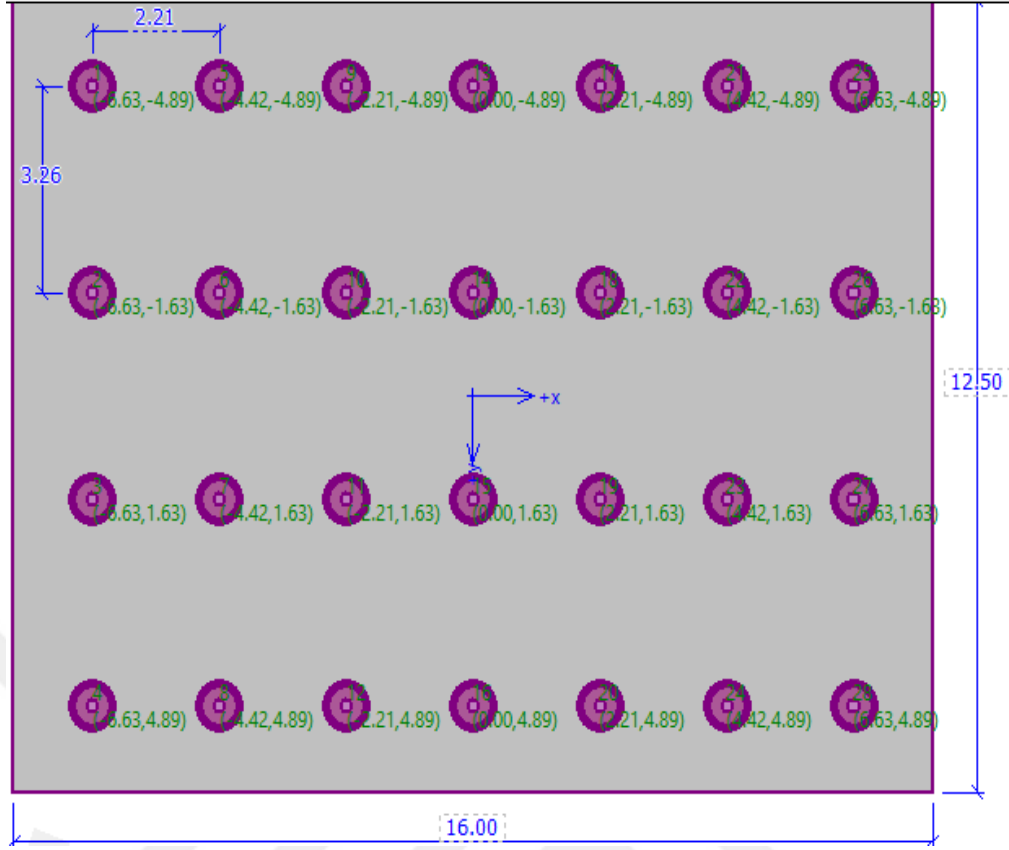
Kazık grubunun verimliliği hesaplanması;

Das verimlilik denklemini kullanarak, kazık grubunun verimlilik değeri aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

$$\eta = \frac{2(n_1 + n_2 - 2)d + 4D}{pn_1n_2} = \frac{2(7 + 4 - 2)2,21 + 4 \cdot 0.7}{28 \cdot 2,172.85} = 0.69$$



Şekil 5.20 : Kazık sayısının belirlenmesi, kazık yerleşim planlaması ve kazık verimliliği hesabı.



Şekil 5.21 : Model 2 için kazık grubu yerleşim planı.

Kazık grup modelleri, SAP2000, Plaxis 3D Foundation ve GEO5 kullanılarak modellenmiştir. Düşey ve yanal yükler altında meydana gelen kazık deformasyonları, yanal yer değiştirmeler, kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri arasında bir karşılaştırma yapılmıştır.

Ayrıca, Das verimlilik denklemini kullanarak kazık grubunun verimlilik hesaplamasında, kazıklar arasındaki etkileşimi artırmak için 2.5 ile 3.5 kat kazık çapı mesafesi bırakılmasının önemine Çizelge 5.5'te vurgu yapılmıştır.

Çizelge 5.5 : Seçilen kazık mesafesi ve hesaplanan verimlilik değeri tablosu.

Modeller	Kazık çapı (D/m)	Seçilen kazık mesafesi(d/m)	Verimlilik değeri (η)
Model1	0.7	1.7	0.58
Model2	0.7	2.21	0.69
Model3	0.9	2.62	0.71
Model4	0.9	3.03	0.81
Model5	1.1	2.58	0.65
Model6	1.1	3.13	0.76

5.6 Kazık Donatı ve Beton Metrajı

Kazık maliyetinin hesaplanması için gereken donatı ve beton metrajı, yine Excel programı kullanılarak detaylı bir şekilde hesaplanmıştır. Beton ve donatı metrajı hesaplamaları için kullanılan Excel çalışma sayfasının ekran görüntüsü Şekil 5.22’de sunulmuştur.

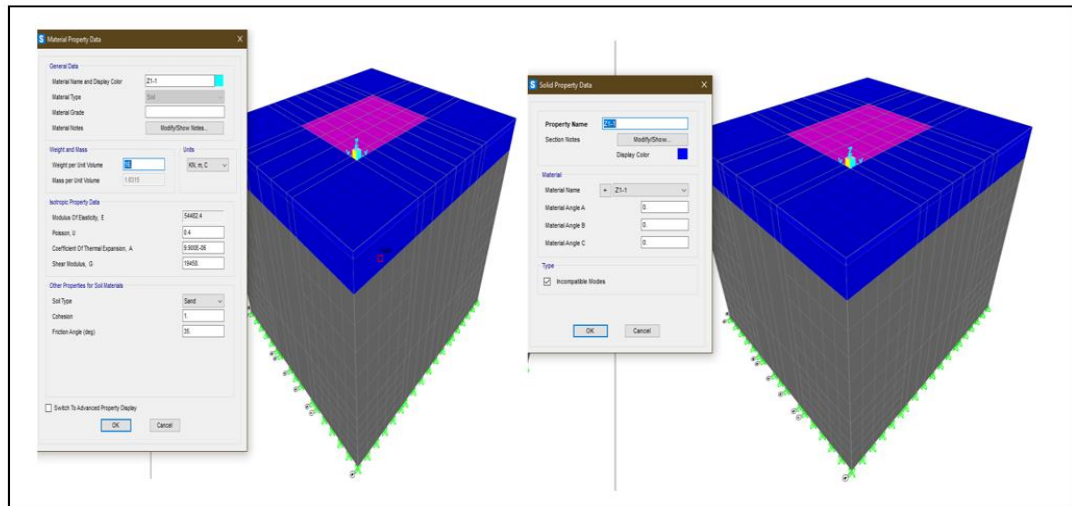
D=0,7 m L=20 m Betonarme Hesabı									
$N_g =$	2,349.87	kN		$N_{em} =$	3289.82	kN	$A_p =$	3480	cm ²
Beton Sınıfı C25 $f_{cd} =$	16.7	MPa		$f_{ck} =$	25	MPa	$A_p =$	384000	mm ²
Donatı Sınıfı S420 $f_{yd} =$	365.7	MPa		$f_{yk} =$	420	MPa	$A_p =$	0.38465	m ²
Taşıma Gücü									
$N_c =$	5230.44	kN	>	3,289.82	kN	Min donatı Yeterlidir.			
$N =$	5230.44	kN							
Düşey Donatı									
$A_s =$	627.14083	mm ²	< 0	Min Donatı Kullanılır				$\rho_{min} =$	0.01
$A_s =$	34.80	cm ²							
Kullanılacak Boyuna Donatı= 0.70 Ton									
Fret Hesabı									
$\min \rho_s =$	0.0016332		S=	3.44	Donatı Çapı=	10 mm	$A_0 =$	0.785	
			S=	3.44	cm				
					Kullanılacak Fret=	0.46	Ton		
Toplam Donatı									
Toplam Donatı =	1.15	Ton							
Toplam Beton									
Toplam Beton =	7.693	m ³							

Şekil 5.22 : Model 2 için kazık donatı ve beton Metrajı.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

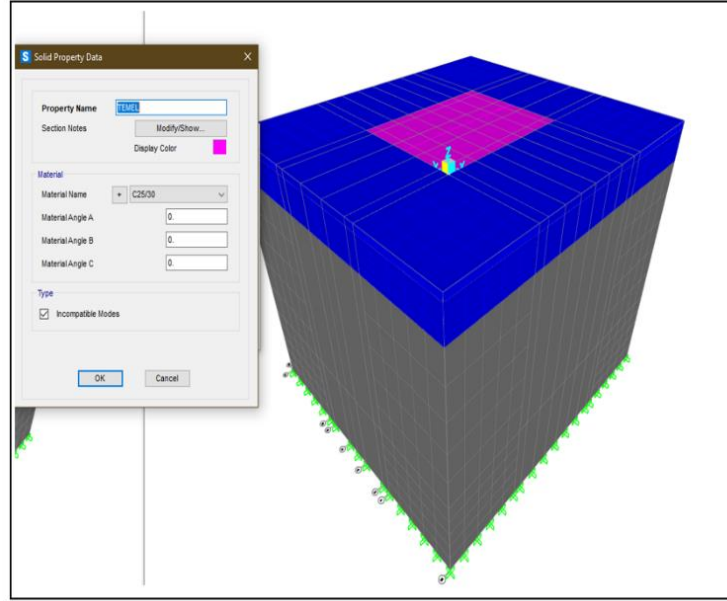
6.1 SAP2000 Programı ile Modelleme ve Analiz

Sap2000 programı kullanılarak gerçekleştirilen sonlu elemanlar modelinde, zemin fiziksel olarak katı (Solid) bir modelleme yaklaşımı benimsenmiştir. Zeminin modellenmesinde, Çizelge 5.2'de belirtilen zemin özellikleri kullanılmıştır. Bu özellikler, zeminin mekanik davranışını ve malzeme özelliklerini tanımlamak amacıyla kullanılmış olup, analizler bu temelde gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.1).

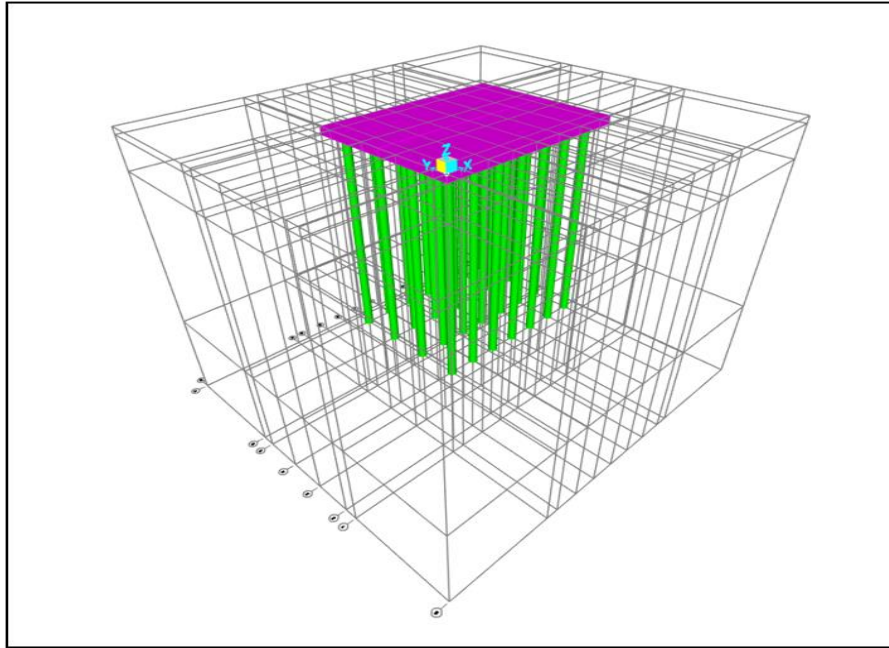


Şekil 6.1 : SAP2000 programında Model 2 için zemin özelliklerinin tanımlanması.

Zemin radye temeli, x, y ve z yönlerinde bölüm 5.1.2'de belirtildiği şekilde tasarlanmıştır. Kazıklı radye zemin modeli için , bölüm 5.1.1'de gösterildiği gibi tabanına sabitlenmiş mesnetlerin eklenmesiyle, zeminin ana kaya ile etkileşimini temsil edecek şekilde modellenmiştir. SAP2000 programı ile oluşturulan kazıklı radye temelin modeli, Şekil 6.2'de görüldüğü gibi, kazıklar frame (çubuk) ve radye temel area-shell (kabuk) olarak modellenmiştir. Kazıklar ve radye temeli için kullanılan malzeme beton sınıfı C25/30 olarak tanımlanmıştır. Model 2 için SAP2000 kazık grubu modeli Şekil 6.3'te sunulmuştur.

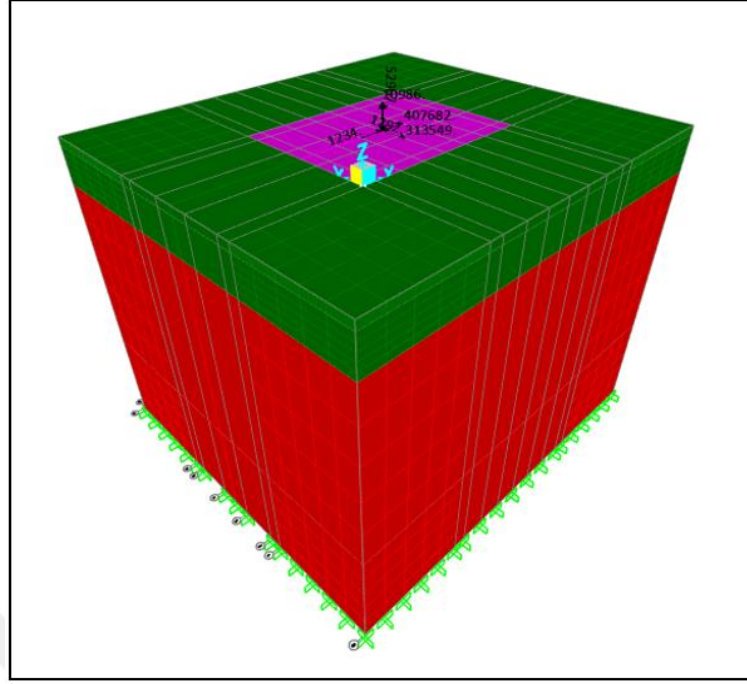


Şekil 6.2 : SAP2000 programında temel özellikleri tanımlanması.



Şekil 6.3 : SAP2000 programında Model-2 için kazık ve temel modellenmesi.

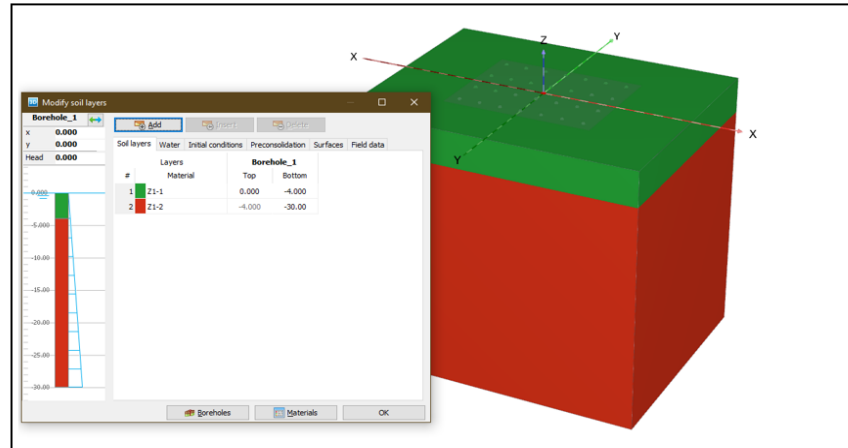
Analizlerde şekil 6.4'te görüldüğü gibi üstyapıdan gelen yükler ve momentler, kazıklı radye temelin merkezine uygulanmıştır. Ardından program analizi yürütülüp, kazıklarda meydana gelen maksimum oturmalar, yanal yerdeğiştirmeler, kesme kuvvetler ve eğilme momentler tablodan alınarak kaydedilmiştir.



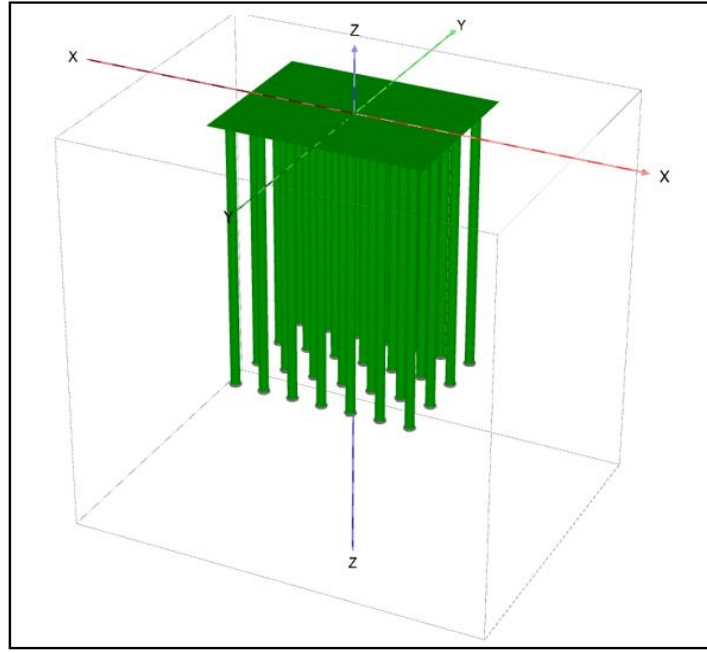
Şekil 6.4 : SAP2000 programı model yükleme durumu.

6.2 PLAXIS 3D Foundation ile Modelleme ve Analiz

Plaxis 3D Foundation modellemesinde Borehole menüsü kullanarak zemin tabakaları oluşturulmuştur. Zemin modeli, SAP 2000 programında kullanılan zemin modeline benzer bir şekilde tasarlandığını ve radye temelin her iki yönden de 10 m daha geniş olarak modellendiğini belirtilmiştir. Daha sonra, düşeyde SAP 2000 programındaki modelleme gibi bir zemin şeklinin 30 metrelik bir derinlikle modellenmiştir. Model 2 için kullanılan zemin için Plaxis 3D Foundation kazık grubu ve zemin modelini Şekil 6.6’da gösterilmiştir.

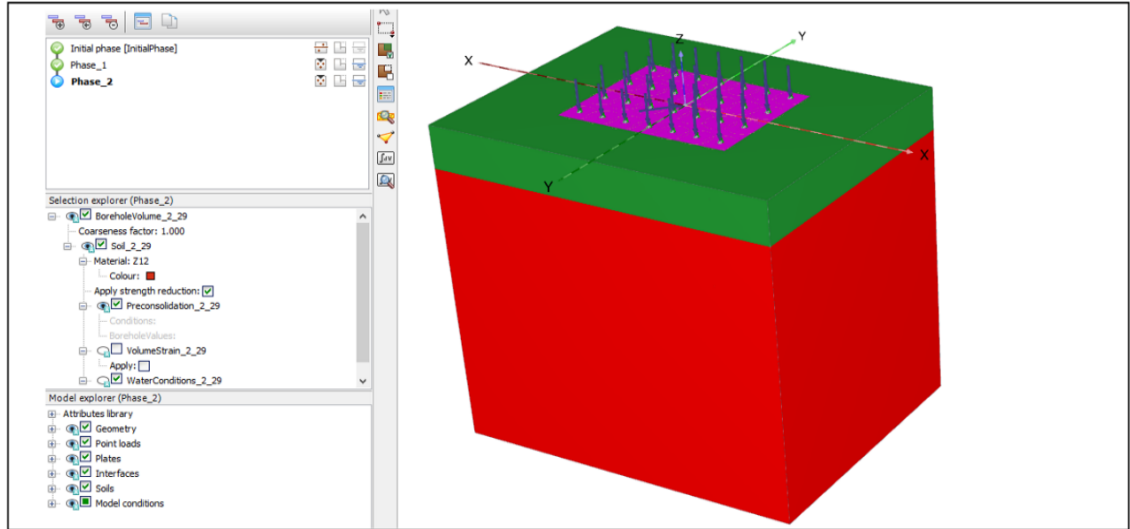


Şekil 6.5 : Plaxis 3D Foundation 3D görünümü, zemin özellikleri tanımlanması.



Şekil 6.6 : Model 2 için Plaxis 3D Foundation kazık grubu modellenmesi.

Programda, zemin özellikleri temel ve kazık bölgelerinde belirlenen sondaj kuyusu (Borehole) kullanılarak ilişkilendirilmiştir. Zemin özellikleri, Çizelge 5.2'de her tabakadaki özelliklerin SAP2000'deki benzer renklerle temsil edilerek belirlenmiştir. Ayrıca, yeraltı su seviyesi hesaplamalara dahil edilmiş ve nokta yükler girildikten sonra programın hesap faz aşamaları tanımlanmıştır (Şekil 6.7).



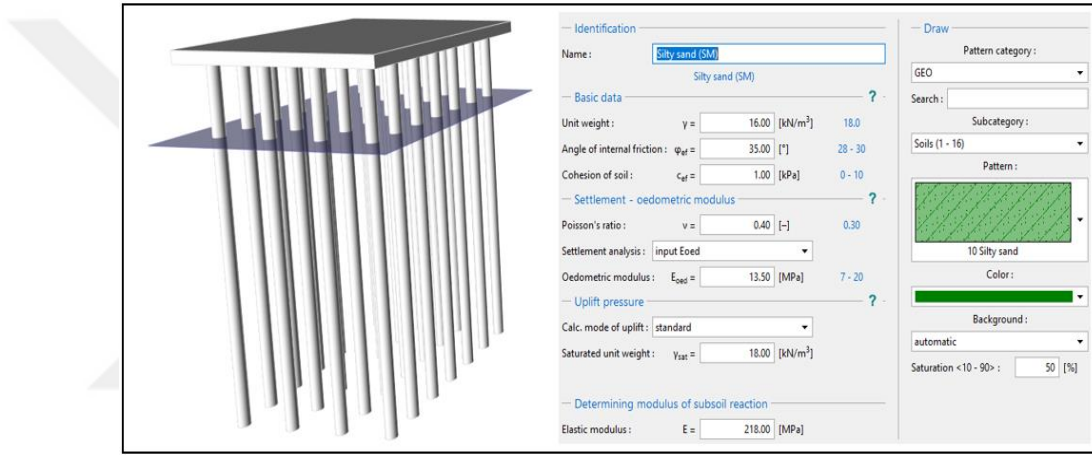
Şekil 6.7 : Plaxis 3D Foundation hesap fazlarının tanımlanması.

PLAXIS 3D foundation programında, eğilme ve burumla momentleri doğrudan uygulanamaz, momentleri, nokta yükleri olarak uygulanmıştır. Ardından program analizi yürütülüp, kazıklarda meydana gelen maksimum oturmalar, yanıl

yerdeğiştirmeler, kesme kuvvetler ve eğilme momentler tabloda alınarak kaydedilmiştir [49].

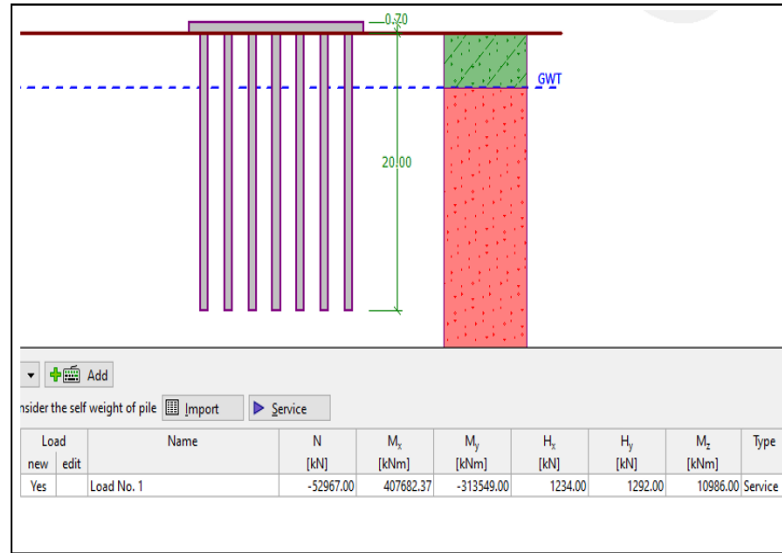
6.3 GEO5 Programı ile Modelleme ve Analiz

GEO5 programında yapılan kazık grup modellemesinde, taşıma gücü teorilerini belirlemek için yönetici ayarları bölümünden NAVFAC DM 7.2, efektif gerilme ve CSN 73 1002 standartlarına dayalı taşıma kapasitesi seçilmiş ve bu temelde analiz gerçekleştirilmiştir. Zemin modeli bölüm 5.1.1’de gösterildiği gibi, tabanına sabitlenmiş mesnetlerin eklenmesiyle ana kaya ile etkileşimi temsil edecek şekilde tasarlanmıştır (Şekil 6.8).



Şekil 6.8 : GEO5 3D görünümü, zemin özellikleri tanımlaması.

Analizlerde, Şekil 6.9’da görüldüğü gibi, üstyapıdan gelen yükler ve momentler, kazıklı radye temelin merkezine uygulanmıştır. GEO5 programının analizinin yürütülmesi sonucunda kazıklarda meydana gelen maksimum oturmalar, yanal yerdeğiştirmeler, kesme kuvvetler ve eğilme momentleri, tabloda alınarak kaydedilmiştir.



Şekil 6.9 : GEO5 programında yükler ve momentler tanımlanması.

6.4 Modellerin Analiz Sonuçları ve Karşılaştırma

Bu çalışmada, düşey ve yanal yüklerin etkisi altındaki kazık gruplarının davranışı incelenmiştir. Aynı zemin modeli içinde bulunan altı farklı kazık grubu (Model 1, Model 2, Model 3, Model 4, Model 5 ve Model 6) ayrı ayrı analiz edilmiştir. Analiz sonuçları kullanılarak tablolar ve grafikler oluşturulmuştur. Çalışmada, kazık aralıklarının daraltılması veya büyütülmesiyle birlikte kazık boyunca düşey oturmalar, yanal yerdeğiştirmeler, eğilme momentleri ve kesme kuvvetlerinin nasıl değiştiği incelenmiştir.

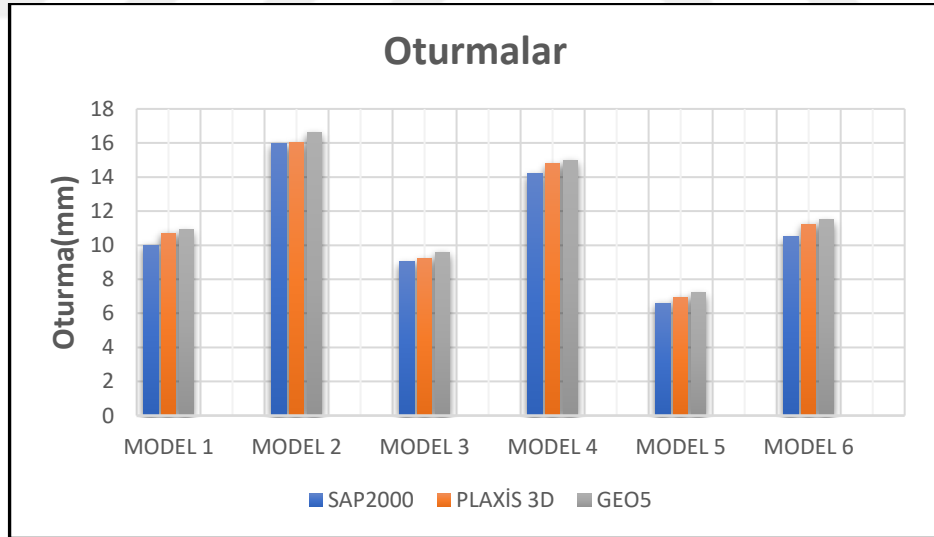
6.4.1 Oturmalar ve yanal yerdeğiştirmeler karşılaştırılması

Kazık modellerin kazık sayısı, çapı ve uzunluğunun düşey oturmaları, yanal yerdeğiştirmeleri üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Maksimum oturmaları ve yanal yerdeğiştirmeler değerlendirildiğinde (Çizelge 6.1), 32 kazık sayısı olan grup (Model 1), 28 kazık sayısı olan gruba (Model 2) göre daha az oturmalar ve yerdeğiştirmeler meydana gelmiştir. Bu durum, kazık sayısının azalmasıyla birlikte her bir kazığa düşen düşey ve yanal yük arttığı şeklinde yorumlanabilir. Model 1, Model 3 ve Model 5 (v.b Model 2, Model 4 ve Model 6) oturma ve yanal yerdeğiştirme değerlerini incelendiğinde, kazık çapının büyük seçilmesiyle orantılı olarak azaldığını görülmüştür. Bu sonuç, kazık çapının büyük seçilmesinin bir neticesi olarak değerlendirilmiştir.

Çizlege 6.1 : Modellerin analiz programlardan elde edilen maksimum oturmaları ve yanal yer değiştirmeleri.

	Modeller			Maksimum Düşey Oturmalar (mm)			Maksimum Yanal Yer değiştirmeler (mm)		
	Çap (m)	Derinlik (m)	Kazık Sayısı	SAP2000	PLAXİS 3D	GEO5	SAP2000	PLAXİS 3D	GEO5
MODEL 1	0.7	15	32	10,01	10,7	10,9	22,8	23,01	22,6
MODEL 2	0.7	20	28	15,96	16,02	16,6	28,1	28,9	27,8
MODEL 3	0.9	15	24	9,04	9,2	9,6	19,9	20,2	19,6
MODEL 4	0.9	20	20	14,2	14,8	15,0	25,4	25,8	25,0
MODEL 5	1.1	15	18	6,60	6,96	7,2	17,01	17,4	16,9
MODEL 6	1.1	20	16	10,95	11,23	11,5	20,9	21,02	20,7

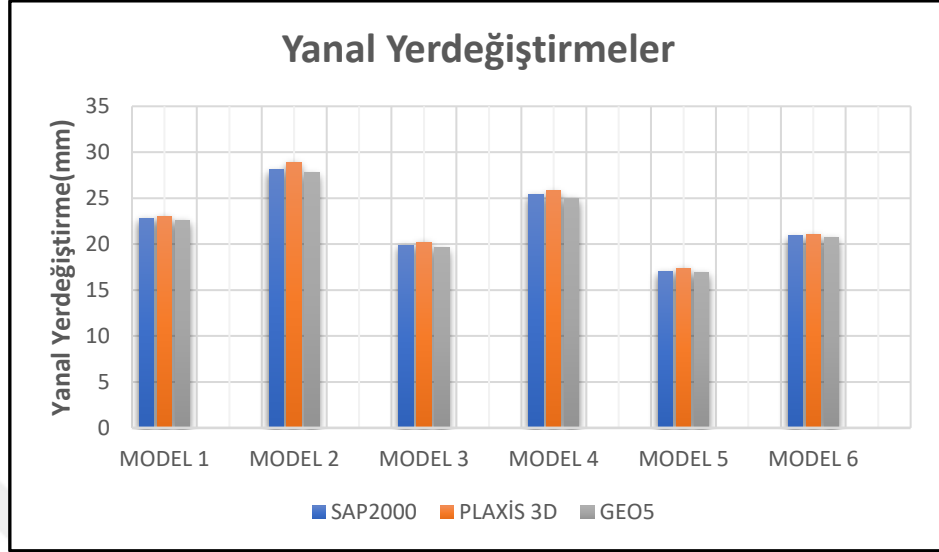
Şekil 6.10' da belirtildiği gibi, SAP2000, Plaxis 3D Foundation ve GEO5 programlarındaki analizlerde, kazık grubunun ucundaki maksimum oturmalar karşılaştırılmıştır. Modellerin analizlerde elde edilen maksimum oturmaları, SAP2000 programında en düşük değeri gösterirken, GEO5'te en yüksek çıkmıştır. Aynı kazık çapına sahip kazıklar için uzunluk arttıkça oturma miktarı artmakta, aynı uzunluktaki kazıklar için ise çapın büyümesi oturmaları azaltmaktadır.



Şekil 6.10 : Modellerin analizlerde oluşan maksimum oturmaları grafiği.

Şekil 6.11'de belirtildiği gibi, SAP2000, Plaxis 3D Foundation ve GEO5 programlarındaki analizlerde, kazık grubunun ucundaki maksimum yanal yerdeğiştirmeleri karşılaştırılmıştır. Modellerin analizlerde elde edilen maksimum yanal yerdeğiştirmeleri, GEO5 programında en düşük değeri gösterirken, Plaxis 3D Foundation programında en yüksek değeri sergilemiştir. Oturmalarla olduğu gibi,

aynı kazık çapına sahip kazıklar için uzunluk arttıkça yanal yerdeğiştirme miktarı artmakta, aynı uzunluktaki kazıklar için ise çapın büyümesi yanal yerdeğiştirmeleri azaltmaktadır.



Şekil 6.11 : Modellerde oluşan maksimum yanal yer değiştirmeleri grafiği.

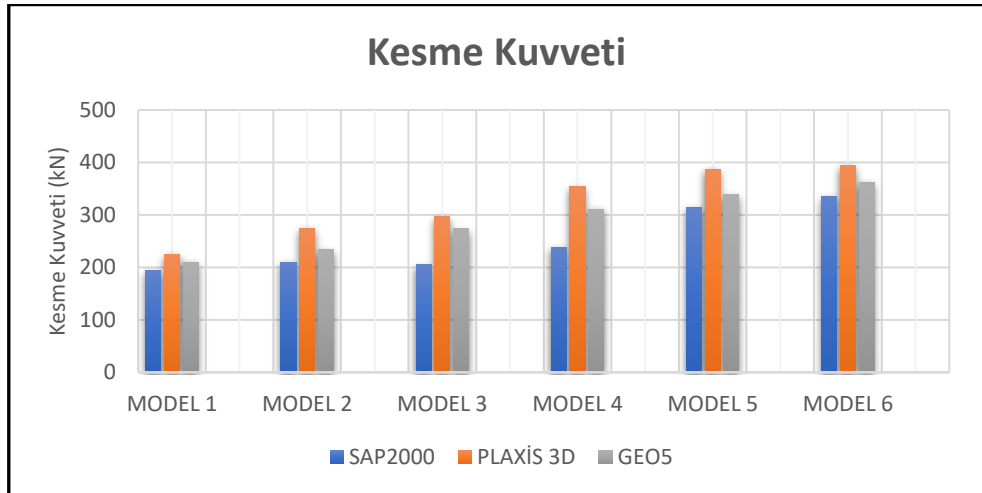
6.4.2 Kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri karşılaştırılması

Maksimum kesme kuvveti ve eğilme momenti analiz sonuçlarına dayanarak (Çizelge 6.2), 32 kazık içeren grup (Model 1) ile karşılaştırıldığında, 28 kazık içeren grup (Model 2) daha yüksek kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri sergilemiştir. Bu durum, kazık sayısının azalmasıyla her bir kazığın üzerine düşen düşey ve yanal yükün artmasıyla birlikte kesme kuvveti ve eğilme momentinin arttığını göstermektedir. Benzer şekilde, aynı kazık uzunluğuna sahip olan Model 1, Model 3 ve Model 5 (veya Model 2, Model 4 ve Model 6 gibi) incelendiğinde, kesme kuvveti ve eğilme momenti sonuçlarının orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, daha büyük kazık çapının seçilmesiyle daha az kazık sayısının oluşması ve dolayısıyla kazık grubunun taşıyabileceği yükün azalması sonucu olarak yorumlanabilir.

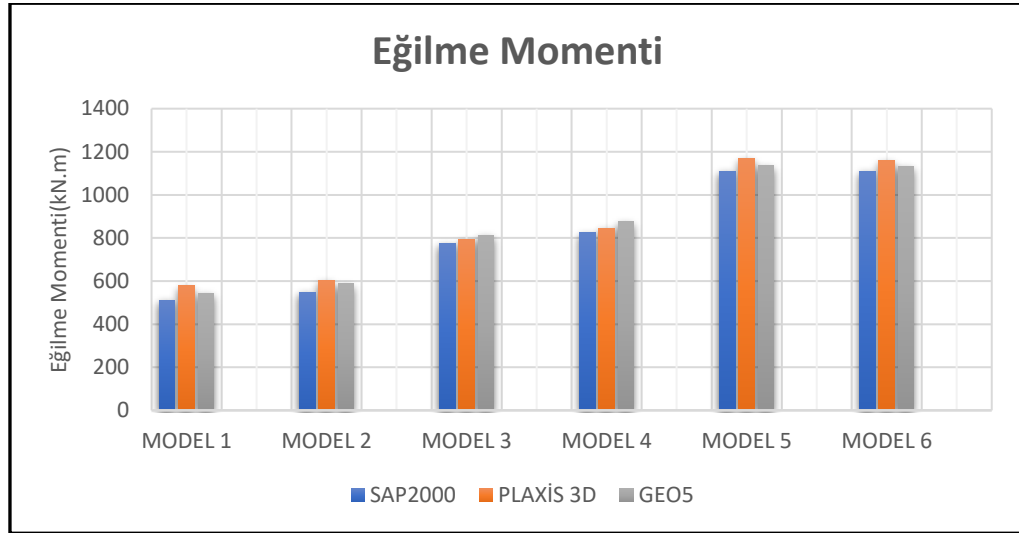
Çizelge 6.2 : Modellerin analiz programlardan elde edilen maksimum eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri.

	Modeller			Maksimum kesme Kuvvet (kN)			Maksimum Eğilme Momenti (kN.m)		
	Çap (m)	Derinlik (m)	Kazık Sayısı	SAP2000	PLAXİS 3D	GEO5	SAP2000	PLAXİS 3D	GEO5
MODEL 1	0.7	15	32	194,2	225,3	209,5	510,2	578,3	543,45
MODEL 2	0.7	20	28	210,3	275,1	233,47	548,4	602,1	587,36
MODEL 3	0.9	15	24	205,2	296,4	273,46	775,3	791,2	810,84
MODEL 4	0.9	20	20	238,3	354,2	310,96	824,7	843,7	874,50
MODEL 5	1.1	15	18	314,2	387,2	338,22	1110,3	1168,2	1135,92
MODEL 6	1.1	20	16	335,7	394,2	362,70	1108,6	1159,4	1132,24

Şekil 6.12 ve 6.13'te belirtildiği gibi, SAP2000, Plaxis 3D Foundation ve GEO5 programlarındaki analizlerde, kazık grubunun ucundaki maksimum kesme kuvveti ve eğilme momenti karşılaştırılmıştır. Modellerin analizlerde elde edilen maksimum kesme kuvveti ve eğilme momenti, SAP2000 programında en düşük değeri gösterirken, Plaxis 3D Foundation programında en yüksek çıkmıştır. aynı kazık çapına sahip kazıklar için uzunluk arttıkça kesme kuvveti ve eğilme momenti miktarı artmakta, aynı uzunluktaki kazıklar için ise çapın büyümesi kesme kuvveti ve eğilme momenti artmaktadır. Tüm modellerin kesme kuvveti ve eğilme momenti sonuçlarına bakıldığında, kazık çapının büyük seçilmesiyle daha az kazık sayısı oluşur ve dolayısıyla kazık grubunun karşılayabileceği yük azalır. Bu durumun bir sonucu olarak kesme kuvveti ve eğilme momenti artmaktadır.



Şekil 6.12 : Modellerde oluşan maksimum kesme kuvveti grafiği.

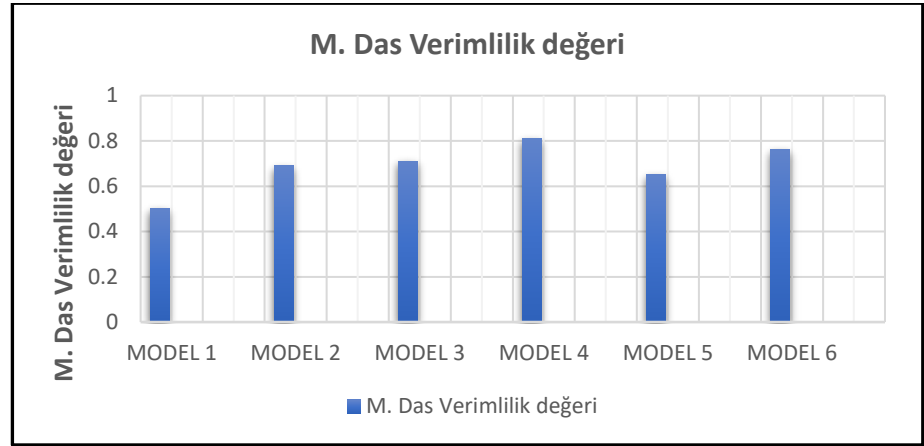


Şekil 6.13 : Modellerde oluşan maksimum eğilme mometi grafiği.

Pirrello (2013), bir kazık grubunun analizi, dört farklı bilgisayar programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar genellikle makul bir uyumluluk göstermiş olup, küçük farklar, yazılımların kazık-zemin etkileşimini modelleme konusundaki farklı yaklaşımlarından kaynaklanan sonuçlar olarak değerlendirilebilir [50].

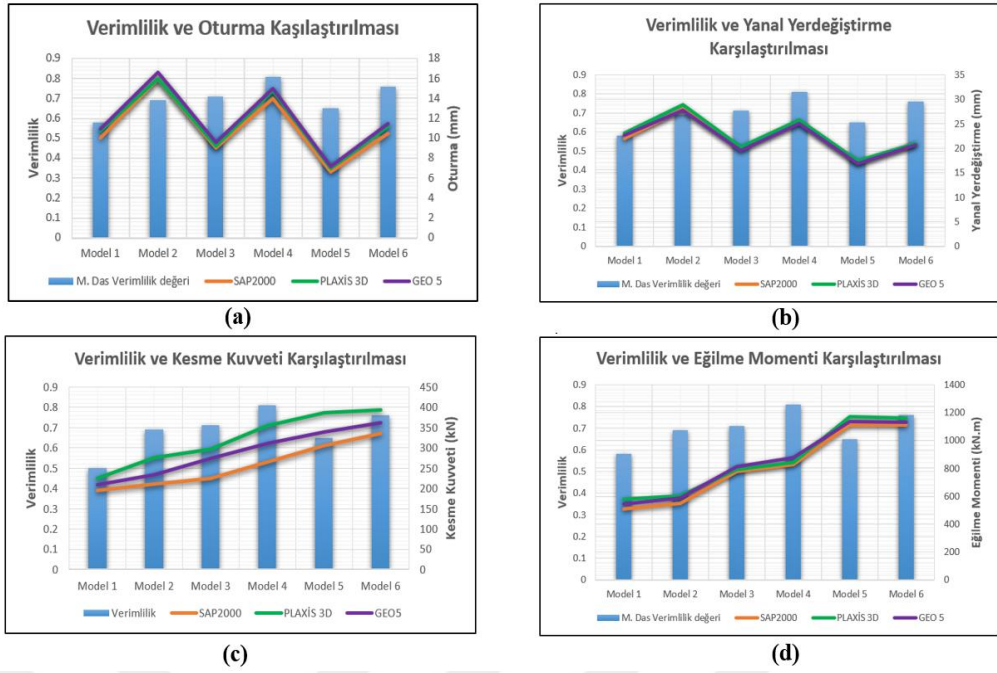
6.4.3 Modellerin verimlilik değerleri karşılaştırılması

Kazık grubu, M. Das eşitliğini kullanarak verimliliği hesaplamıştır. Şekil 6.14'te görüldüğü gibi, modellerin verimlilik değerlerini incelediğimizde, kazık sayısının artmasıyla verimliliğin düştüğünü, kazık sayısının azalması ile verimliliğin arttığını görmekteyiz. En yüksek verimliliğin Model 4'te (90 cm çaplı ve 20 m derinliğinde) ve en düşük olanın Model 1'de (70 cm çaplı ve 15 m derinliğinde) olduğu gözlenmiştir. Kazık gruplarındaki modeller incelendiğinde, 90 cm çaplı ve 110 cm çaplı kazık grupları arasında, Model 5 kazık grubunun düşük verimliliği, kazıklar arasındaki mesafenin 2.5 ile 3.5 katı olmamasından kaynaklanmaktadır. Hesaplanan verimlilik değerleri (η) ve kazık mesafesi (d) karşılaştırma tablosunda, kazıklar arasındaki etkileşimi artırmak için vurgu yapılarak, kazıklar arasında 2.5 ile 3.5 kat kazık çapı mesafesi bırakılmasının önemi belirtilmiştir.



Şekil 6.14 : Modellerde hesaplanan M.das verimlilik grafiği.

SAP2000, Plaxis 3D Foundation ve GEO5 analiz programlarından elde edilen maksimum düşey oturmalar, yanal yerdeğiştirmeler, kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri, M. Das formülü ile hesaplanan verimlilik değerleriyle karşılaştırılmıştır. Şekil 6.15a'da görüldüğü gibi, modellerin verimlilik ile oturma arasındaki ilişki gösterilmektedir. Aynı kazık çapına sahip kazıklar için (Model 1 ile Model 2, Model 3 ile Model 4, Model 5 ile Model 6) uzunluk arttıkça verimlilik ve oturma miktarı artmakta, aynı uzunluktaki kazıklar (Model 1 ile Model 3, Model 2 ile Model 4) için ise çapın büyümesi verimlilik ve oturma miktarı azalmaktadır. Şekil 6.15b'de görüldüğü gibi, modellerin verimlilik ile yanal yerdeğiştirme arasındaki ilişki gösterilmektedir. Aynı kazık çapına sahip kazıklar için (Model 1 ile Model 2, Model 3 ile Model 4, Model 5 ile Model 6) uzunluk arttıkça verimlilik ve yanal yerdeğiştirme miktarı artmakta, aynı uzunluktaki kazıklar (Model 1 ile Model 3, Model 2 ile Model 4) için ise çapın büyümesi verimlilik ve yanal yerdeğiştirme miktarı azalmaktadır. Şekil 6.15c ve 6.15d'de görüldüğü gibi, modellerin verimlilik ile kesme kuvveti, eğilme momenti arasındaki ilişki gösterilmektedir. Kazık sayısının azalması ile (Model 1, Model 2, Model 3, Model 4) verimliliğin, kesme kuvveti ve eğilme momenti arttığını gözlemlenmiştir. Bu sonuç, kazık grubunun karşılayabileceği yükün azaldığını göstermektedir. Model 5 ile Model 6 karşılaştırıldığında yine kazık sayısının azalması ile verimlilik yükselmekte, kesme kuvveti ve eğilme momenti artmaktadır.



Şekil 6.15 : Verimlilik ve oturma, yanal yerdeğiştirme, kesme kuvveti ve eğilme momenti karşılaştırılması.

6.4.4 Modellerin maliyet karşılaştırılması

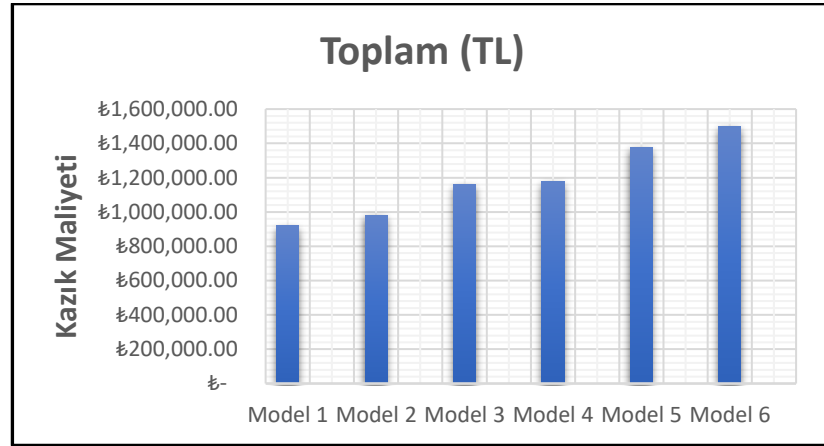
Kazık maliyetinin hesaplanmasında, 2023 yılı Ağustos ayı itibarıyla kazık sondajı, demir ve beton fiyatlarını dikkate alınmıştır. Kazık sondajı ve işçilik maliyeti için önde gelen kazık taahhüt firmalarından elde edilen fiyatların ortalamasını kullanarak her modelin kazık maliyetini Çizelge 6.3'te sunulmuştur.

Çizelge 6.3 : Modellerin maliyet analiz karşılaştırma tablosu.

Donatı ve Beton	Birim Fiyatı (TL)	İşçilik		Modeller	Beton (m ³)	Donatı (ton)	Kazık Maliyeti (TL)	Malzeme (TL)	Toplam (TL)
		Kazık Çapı (m)	Maliyet (TL/m)						
Beton C25/30 (m ³) Donatı S420 (ton)	1700	0.7	80	Model 1	184.32	27.71	38400	881440	919840
				Model 2	215.404	32.33	44800	1028966	1073766
				Model 3	228.96	35.74	36000	1121974	1157974
		0.9	100	Model 4	254.4	39.72	40000	1246638	1286638
				Model 5	268.38	43.29	35100	1343599	1378699
				Model 6	318.08	51.30	41600	1592413	1634013

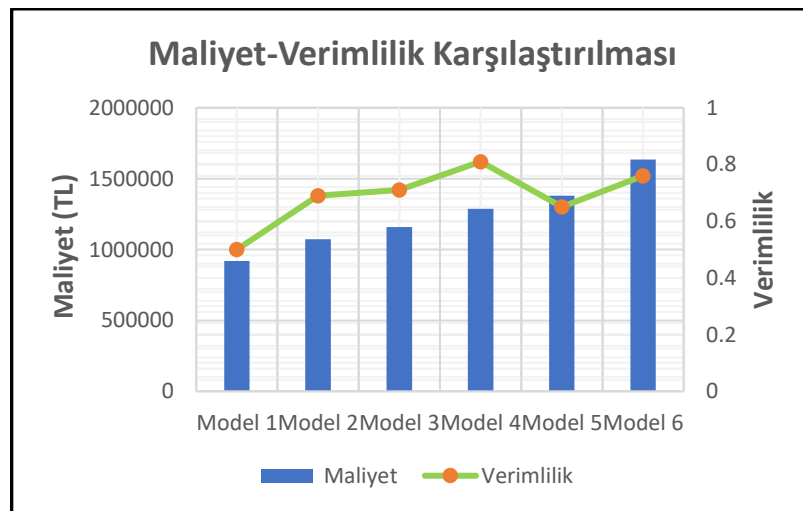
Analiz sonuçları ve grafiklere göre, en düşük maliyetli modelin Model1 (70 cm çaplı ve 15 m derinlikte) olduğu belirlenmiştir. En yüksek maliyetin ise Model6'daki 1.10

m çapındaki kazık gruplarında görülmesi, kazık çapının büyük seçilmesinin maliyeti artırdığını göstermektedir (Şekil 6.16).



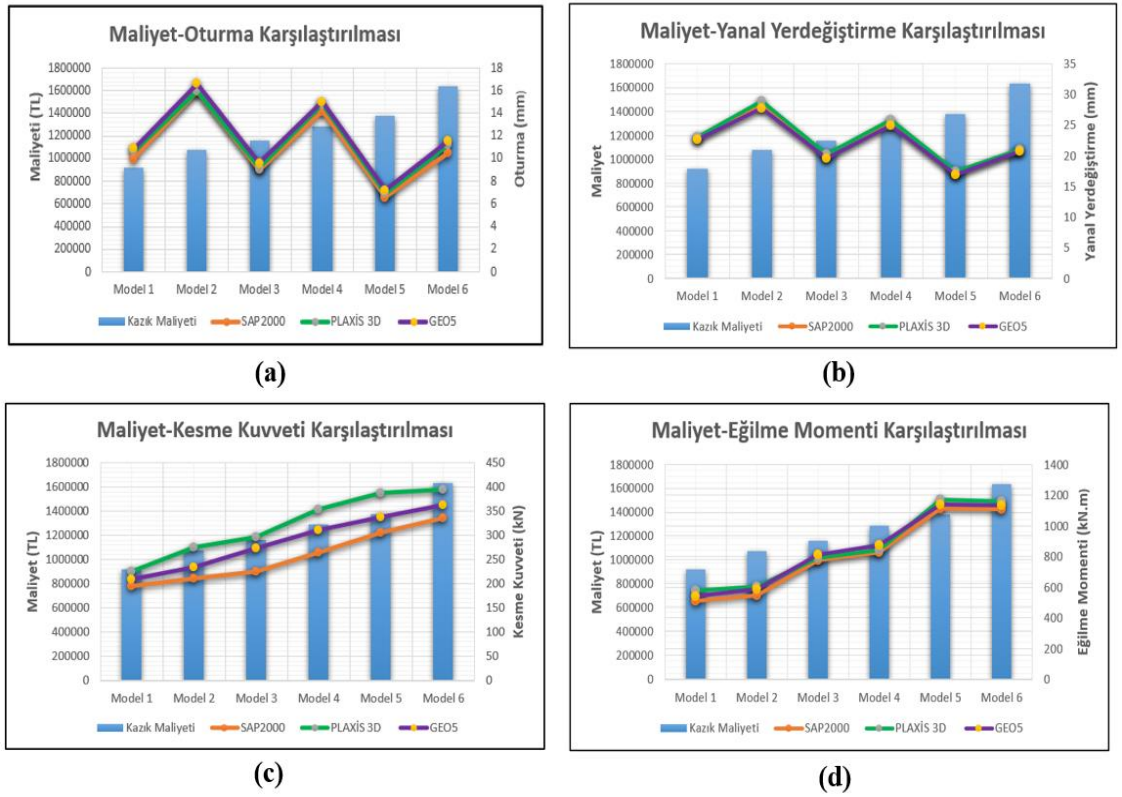
Şekil 6.16 : Modellerin maliyet karşılaştırma grafiği.

Şekil 6.17'de görüldüğü gibi, modellerin maliyet ile verimlilik arasındaki ilişki gösterilmektedir. Aynı kazık çapına sahip kazıklar için (Model 1 ile Model 2, Model 3 ile Model 4, Model 5 ile Model 6) uzunluk arttıkça maliyet ve verimlilik miktarı artmakta, aynı uzunluktaki kazıklar (Model 1 ile Model 3, Model 2 ile Model 4) için ise çapın büyümesi maliyet ve verimlilik miktarı artmaktadır. Aynı uzunluktaki (Model 4 ile Model 6 ve Model 3 ile Model 5) karşılaştırıldığında kazık çapının büyük seçilmesiyle maliyet artmakta, verimlilik miktarı azalmaktadır. 5.5 bölümünde hesaplanan verimlilik değerleri (η) ile kazık mesafesi (d) karşılaştırma tablosunda belirtildiği gibi, kazıklar arasındaki etkileşimi artırmak için kazıklar arasında 2.5 ile 3.5 kat kazık çapı mesafesi bırakılmasına vurgu yapılmıştır.



Şekil 6.17 : Maliyet ve verimlilik karşılaştırılması.

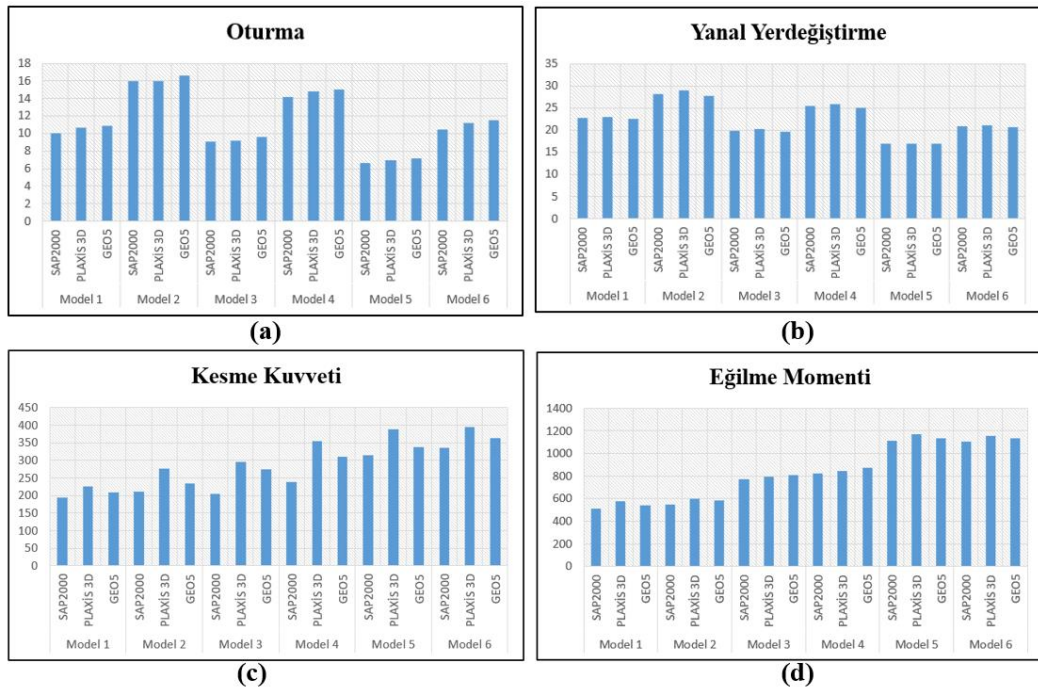
SAP2000, Plaxis 3D Foundation ve GEO5 analiz programlarından elde edilen maksimum düşey oturmalar, yanal yer değiştirmeler, kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri, 2023 yılı Ağustos ayı itibarıyla kazık sondajı, demir ve beton fiyatları göz önüne alınarak hesaplanan maliyet değerleriyle karşılaştırılmıştır. Şekil 6.18a ve 18b’de görüleceği üzere, modellerin maliyet ile oturma ve yanal yer değiştirme arasındaki ilişki gösterilmektedir. Aynı kazık çapına sahip kazıklar için (Model 1 ile Model 2, Model 3 ile Model 4, Model 5 ile Model 6 vb.) uzunluk arttıkça, maliyet, oturma ve yanal yer değiştirme miktarı artmaktadır, aynı uzunluktaki kazıklar (Model 1 ile Model 3, Model 2 ile Model 4 vb.) için ise çapın büyümesi maliyet miktarı artmakta, oturma ve yanal yer değiştirme miktarını azalmaktadır. Şekil 6.15c ve 6.15d’de görüldüğü gibi, modellerin maliyet ile kesme kuvveti ve eğilme momenti arasındaki ilişki gösterilmektedir. Aynı kazık çapına ve uzunluğuna sahip olan kazıklar (Model 1, Model 2, Model 3, Model 4, Model 5 ve Model 6) için maliyet arttıkça, kesme kuvveti ve eğilme momenti de artmaktadır. Bu sonuç, kazık sayısının azalmasıyla birlikte kazık grubunun karşılayabileceği yükün azaldığını ve dolayısıyla kesme kuvveti ile eğilme momentinin artmasına neden olmaktadır.



Şekil 6.18 : Maliyet ve oturma, yanal yerdeğiştirme, kesme kuvveti ve eğilme momenti karşılaştırılması.

6.4.5 Analiz programların karşılaştırılması

Aynı zemin ve farklı kazık özellikleri ile sonlu elemanlar modeli oluşturularak yapılan analizlerin sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla, sonlu elemanlar programları SAP2000, Plaxis 3D Foundation ve GEO5 kullanılarak sistem modellenmiş ve üç analiz sonucundaki verilerin programlar arasında kıyaslaması yapılmıştır. Şekil 6.19'de görüldüğü gibi, kullanılan analiz programlarının karşılaştırılmasında modellerdeki kazıklarda oluşan maksimum düşey oturma değeri en yüksek GEO5'te iken, yanal yer değiştirmeler, kesme kuvveti ve eğilme momenti karşılaştırılmasında en yüksek değeri Plaxis 3D Foundation programında göstermiştir. Analiz programlarının verilerinin karşılaştırılması yapıldıktan sonra, sonuçları arasında düşey oturmalarda (Şekil 6.19a) %3.85-8.2, yanal yer değiştirmelerde (Şekil 6.19b) %1.52-3.8, kesme kuvvetinde (Şekil 6.19c) %13.8-32.7 ve eğilme momentinde (Şekil 6.19d) ise %4.38-11.8 civarında farklılık gösterilmiştir. Ancak, tüm analiz sonuçları dikkate alındığında, hemen hemen aynı sonuçları göstermektedir. Sonuçlardaki küçük farklılıklar, programların tasarım odaklarından kaynaklanabilir. SAP2000, temelde yapısal analiz ve tasarım için geliştirilmiş bir yazılım olmasına rağmen, kazık tasarımına uygun bir seçenek sunabilir. Diğer taraftan, GEO5 geoteknik mühendislik uygulamalarına, Plaxis 3D Foundation ise zemin mekaniği ve geoteknik problemlerin çözümüne uygun bir seçenek olabilir.



Şekil 6.19 : Analiz Programların karşılaştırılma grafiği.

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada, farklı analiz programları kullanılarak kazıklı radye temel-zemin sistemleri modellenerek düşey ve yanal yükler altındaki davranışları incelenmiştir. Aynı zemin parametreleri kullanılarak altı farklı kazık modeli oluşturulmuş ve her bir model için temelin merkezine üstyapıdan itilen yükler uygulanmıştır. Analizlerde SAP2000, Plaxis 3D foundation ve GEO5 programları kullanılmıştır. Bu programlar kullanılarak her bir kazık sistemi için maksimum oturmalar, yanal yer değiştirmeler, kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri analiz edilmiş ve programlar arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Aynı çapa sahip kazıklar için uzunluk arttıkça oturma miktarı artmakta, aynı uzunluktaki kazıklar için ise çapın büyümesiyle oturmaların azaldığı görülmektedir. Oturmalarda olduğu gibi, aynı kazık çapına sahip modellerde kazık uzunluğu arttıkça yanal yerdeğiştirme artmakta, aynı kazık uzunluğuna sahip modellerde ise kazık çapı büyüdükçe yanal yerdeğiştirmelerin azaldığı görülmektedir. Kesme kuvveti ve eğilme moment değerlerinin ise kazık boyu ve çapına ile doğru orantılı arttığı belirlenmiştir. Tüm modellerin kesme kuvveti ve eğilme momenti sonuçlarına göre, kazık çapının büyük seçilmesi durumunda daha az kazık sayısı oluşur. Bu durumda, kazık grubunun karşılayabileceği yanal yük azalır, ve bu da kesme kuvveti ile eğilme momentinin artmasına neden olmaktadır. Kazık sayısının artmasıyla verimliliğin düştüğü, kazık sayısının azalması ile verimliliğin arttığını görülmektedir. En yüksek verimliliğin Model 4'te (90 cm çap ve 20 m derinlik) ve en düşük Model 1'de (70 cm çap ve 15 m derinlik) olduğu gözlenmiştir. Kazık modelleri incelendiğinde, Model 4 (90 cm çap) ve Model 5 (110 cm çap) kazık grupları arasında, Model 5 kazık grubunun düşük verimliliği, kazıklar arasındaki mesafenin 2.5 ile 3.5 katı olmamasından kaynaklanmaktadır. Kazıklar arasındaki etkileşimi artırmak amacıyla 2.5 ile 3.5 kat kazık çapı mesafesi bırakılması önerilmektedir. Modellerin kazık uzunluğunun ve çapının artması verimlilik ve maliyet arttırdığı görülmüştür. Kullanılan analiz programlarının karşılaştırılmasında kazıklarda oluşan maksimum düşey oturma değeri en yüksek GEO5'te iken, yanal yer değiştirmeler, kesme kuvveti ve eğilme momenti karşılaştırmasında en yüksek

değeri PLAXIS 3D göstermiştir. Analiz programlarının verilerinin karşılaştırılması yapıldıktan sonra, sonuçları arasında düşey oturmalarda %3.85-8.2, yanal yer değiştirmelerde %1.52-3.8, kesme kuvvetinde %13.8-32.7 ve eğilme momentinde ise %4.38-11.8 civarında farklılık göstermiştir. Çalışmada kullanılan programların sonuç verileri arasında gözlemlenen küçük yüzde sapmalarının temel nedeni, programlardaki tasarım odaklarından kaynaklanmaktadır. Oturmalar, yanal yer değiştirmeler, kesme kuvvetleri, eğilme momentleri, kazık verimliliği ve kazık maliyeti parametreleri dikkate alındığında, Model 1 (70 cm çap, 15 m derinlik) tercih edilebilir bir seçenek olarak değerlendirilebilir. Buna karşın kazık sayısının daha az ve maliyetin bir miktar fazla olduğu Model 3 (90 cm çap, 15 m derinlik) nispeten en verimli seçenek olarak yorumlanabilir. Kazık sayısındaki artışın kazık grubundaki verimliliği azalttığını, büyük çaplı kazıkların seçilmesi ile kazıklar arasındaki mesafenin ve etkileşimin artmasına neden olmaktadır. Kazık boyut özellikleri ve sayıları; kazık oturmalarını, yanal yerdeğiştirmelerini, kesme kuvvetlerini ve eğilme momentlerini etkilediği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] **Mendonca, A. V., & Paiva, J. B. D.** (2003). An elastostatic FEM/BEM analysis of vertically loaded raft and piled raft foundation. *Engineering analysis with boundary elements*, 27(9), 919-933.
- [2] **Kitiyodom, P., & Matsumoto, T.** (2003). A simplified analysis method for piled raft foundations in non-homogeneous soils. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 27(2), 85-109.
- [3] **Wong, S. C., & Poulos, H. G.** (2005). Approximate pile-to-pile interaction factors between two dissimilar piles. *Computers and Geotechnics*, 32(8), 613-618.
- [4] **Maeso, O., Aznárez, J. J., & García, F.** (2005). Dynamic impedances of piles and groups of piles in saturated soils. *Computers & structures*, 83(10-11), 769-782.
- [5] **Vasquez, L. G., Wang, S. T., & Isenhowe, W. M.** (2006). Estimation of the capacity of pile-raft foundations by three-dimensional non-linear finite element analysis. In *GeoCongress 2006: Geotechnical Engineering in the Information Technology Age* (pp. 1-6).
- [6] **Comodromos, E. M., Papadopoulou, M. C., & Rentzeperis, I. K.** (2009). Pile foundation analysis and design using experimental data and 3-D numerical analysis. *Computers and Geotechnics*, 36(5), 819-836.
- [7] **Nesrin, E.** (2010). Sismik Yükler Altında Kazıkların Grup Davranışı, Yüksek Lisans Tezi inşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [8] **Srilakshmi, G., & Darshan Moudgalya, N. S.** (2013). Analysis of piled raft foundation using finite element method. *International Journal of Engineering Research and Science & Technology*, 2(3), 89-96.
- [9] **Vu, A., Pham, D., Nguyen, T., & He, Y.** (2014). 3D finite element analysis on behaviour of piled raft foundations. *Applied Mechanics and Materials*, 580, 3-8.
- [10] **Watcharasawe, K., Kitiyodom, P., & Jongpradist, P.** (2015). Numerical Analyses of Piled Raft Foundation in soft soil using 3D-FEM. *South-East Asian Geotechnical Society Journal*, 46(1), 109-116.
- [11] **Roshan, A., & Shooshpasha, I.** (2014). Numerical analysis of piled raft foundations in soft clay. *EJGE*, 19, 4541-4554.
- [12] **Elwakil, A. Z., & Azzam, W. R.** (2016). Experimental and numerical study of piled raft system. *Alexandria Engineering Journal*, 55(1), 547-560.
- [13] **Wulandari, P. S., & Tjandra, D.** (2015). Analysis of piled raft foundation on soft soil using PLAXIS 2D. *Procedia Engineering*, 125, 363-367.
- [14] **Sinha, A., & Hanna, A. M.** (2017). 3D numerical model for piled raft foundation. *International Journal of Geomechanics*, 17(2), 04016055.

- [15] **Samanta, M., & Bhowmik, R. (2017).** 3D numerical analysis of piled raft foundation in stone column improved soft soil. *International Journal of Geotechnical Engineering*.
- [16] **Mali, S., & Singh, B. (2018).** Behavior of large piled-raft foundation on clay soil. *Ocean Engineering*, 149, 205-216.
- [17] **Deb, P., & Pal, S. K. (2019).** Numerical analysis of piled raft foundation under combined vertical and lateral loading. *Ocean Engineering*, 190, 106431.
- [18] **Chaudhuri, C. H., Chanda, D., Saha, R., & Haldar, S. (2020, December).** Three-dimensional numerical analysis on seismic behavior of soil-piled raft-structure system. In *Structures* (Vol. 28, pp. 905-922). Elsevier.
- [19] **Sulaiman Al-Ne'aimi, R. M., & Hussain, M. S. (2021).** Numerical modeling and parametric study of piled rafts foundations. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 1-13.
- [20] **Amornfa, K., Quang, H. T., & Tuan, T. V. (2022).** 3D numerical analysis of piled raft foundation for Ho Chi Minh City subsoil conditions. *Geomechanics and Engineering*, 29(2), 183-192.
- [21] **Chimdesa, F. F., Chimdesa, F. F., Jilo, N. Z., Hulagabali, A., Babalola, O. E., Tiyyasha, T., & Bhagat, S. K. (2023).** Numerical analysis of pile group, piled raft, and footing using finite element software PLAXIS 2D and GEO5. *Scientific Reports*, 13(1), 15875.
- [22] **Uzuner, B. A., 2011,** "Temel Mühendisliğine Giriş", 4. Baskı, Derya Kitabevi, Trabzon
- [23] **Umut, D. (2018),** Kohezyonlu Zeminlerde Kazıklı Radye Temellerin Analizi ve Tasarımı, Çukurova Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- [24] **Sönmez, N. (2013),** A study on Design of Piled Raft Foundation Systems, Master of Science in Civil Engineering Department, Middle East Technical University.
- [25] **Poulos, H.G. (1994).** An approximate numerical analysis of pile-raft interaction. *Int. Jnl. Num. Anal. Meths. In Geomechs.*, 18, 73-92.
- [26] **G. Russo, G. Viggiani. (1998),** Factors controlling soil-structure interaction for piled rafts. *Proc. International Conference on Soil-Structure Interaction in Urban Civil Engineering*, Ed. R. Katzenbach & U. Arslan, Darmstadt, 1998, 79-102.
- [27] **Url-1** <https://www.insapedia.com>>, erişim tarihi 10.11.2023
- [28] **Yeğit, M & Zoruler, I. (2017).** Performance of the Pile Groups on the Same Soil Conditions., Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering.
- [29] **Türk Standartları Enstitüsü (2001).** Türk Standardı TS 3168 EN 1536, Özel Jeoteknik Uygulamalar Delme (Fore)- Kazıklar – (Yerinde Dökme Betonarme Kazıklar), Kasım 2001, Ankara.
- [30] **Ünal. C. (2019),** Tekil Kazıkların sonlu elemanlar ile analizi ve analitik yöntemlerle karşılaştırılması, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- [31] **Mayerhof, 1976,** "Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations", *Journal of Geotechnical Engineering Division*, 102. Baskı, No: GT3
- [32] **Vesic, A.S. (1977)** Design of Pile Foundations, Washington, DC, United States.

- [33] **Chen, Y.-J., and Kulhawy, F.H.** 1994. Case history evaluation of behavior of drilled shafts under axial and lateral loading, Report TR-104601. Electric Power Research Institute, Palo Alto, Calif.
- [34] **Coyle, H. M. and Castello, R. R.** 1981. New design correlations for piles in sand. *J. Geotech. Engrg. Div., ASCE*, 107(GT7), 965-986.
- [35] **Briaud, J. L., Noubani, A., Kilgore, J. & Tucker, L. M.** (1985) Correlation Between Pressuremeter Data and Other Paramaters, Research Report. Texas A&M University.
- [36] **Vijayvergiya, V., N., Focht, J., A.,** (1972), A new way to predict the capacity of piles in clay. In: *Proceedings of the 4th annual offshore techonology conference*, Houston, (1972).
- [37] **Davisson, M. T.,** (1970), "Lateral Load Capacity of Piles", 49th Annual Meeting of the Highway Research Board, Washington District of Columbia, Issue 333, 104- 112, (1970).
- [38] **Saran, S., Prakash, S. and Murty, A. V. S. R.** (1971): "Bearing capacity of footings under inclined loads,"
- [39] **Prakash, S., Jaadi, H.** (2001), Predictions of Lateral Dynamic Response of single piles embedded in fine soils, *Proc. Fourth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics and Symposium in Honor of Prof. W D Liam Fin*, March 2001, San Diego, CA paper No.6.50 CD Rom.
- [40] **Terzaghi, K., ve Peck, R.** (1967), *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 2nd Edition, John Wiley, New York, (1967).
- [41] **Toğrol E, Tan O.,** 2009, "Kazıklı Temeller", Birsen Yayınevi, Ankara, 142s.
- [42] **Birand A.,** 2007, "Kazıklı Temeller", Teknik Yayınevi, Ankara, 480s.
- [43] **Vesic, A.S.** 1969. Experiments with instrumented pile groups in sands. *Performance of deep foundations*, ASTM STP444, 177-222
- [44] **Matlock, H., Reese, L.C.,** "Generalized Solutions for Laterally Loaded Piles", *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, Vol. 86 (Issue 5), (1960)
- [45] **Woodward, R.J., Gardner, W.S., Greer, D.M.** (1972) *Drilled Pier Foundations*; McGraw-Hill Book Co.: New York, NY, USA, 1972.
- [46] **Vesic, A., S.** (1961), "Beams on elastic subgrade and Winkler's hypothesis", *Proc. 5 th. Int. Conf. on Soil Mech. Found.Engrg.*, Paris, (1961).
- [47] **Davisson, M. T.** (1960). *Behavior of Flexible Vertical Piles Subjected to Moment, Shear, and Axial Load*, University of Illinois at Urbana-Champaign
- [48] **Broms, B.** (1964). The Lateral Resistance of Piles in Cohesive Soils. *J.Soil.Mech.Found.Div.*, 90, Sf. 27-63.
- [49] **John, S. G., Mendez, C. B., Deng, L., Poulos, B., Kauffman, A. K. M., Kern, S., & Sullivan, M. B.** (2011). A simple and efficient method for concentration of ocean viruses by chemical flocculation. *Environmental microbiology reports*, 3(2), 195-202.
- [50] **Pirello, S., & Poulos, H. G.** (2013). Comparison of four pile group analysis programs. *Advances in Foundation Engineering*, 291-297.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Sid Ahmed BABA HAYBALLA

Doğum Tarihi ve Yeri :

E-posta :

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2019, Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü.
- **Yüksek Lisans** : 2024, Bursa Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı.
- **TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:**

BABA HAYBALLA Sid Ahmed, YILDIRIM Eray, AVCI Eyubhan, (2023),
’’The Effect of Piled Raft Foundations In Cohesive Soil’’, VIII-
International European Conference On Interdisciplinary Scientific
Research July 13-15, Rome, Italy.