



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**GEOTEKNİK PROBLEMLERİN FARKLI
SONLU ELEMANLAR PROGRAMLARI İLE
ÇÖZÜMLENMESİ: ÖRNEK BİR UYGULAMA**

Mevlüt KAÇMAZ

**YÜKSEK LİSANS
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalını**

**Ağustos-2022
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Mevlüt KAÇMAZ tarafından hazırlanan “GEOTEKNİK PROBLEMLERİN FARKLI SONLU ELEMENLAR PROGRAMLARI İLE ÇÖZÜMLENMESİ: ÖRNEK BİR UYGULAMA” adlı tez çalışması 08/08/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Unvanı Adı SOYADI

Doç.Dr.Mehmet Salih KESKİN

Danışman

Unvanı Adı SOYADI

Dr.Öğr.Üyesi Nuray ALPASLAN

Üye

Unvanı Adı SOYADI

Dr.Öğr.Üyesi İslam GÖKALP

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Mevlüt KAÇMAZ

23/08/2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GEOTEKNİK PROBLEMLERİN FARKLI SONLU ELEMANLAR PROGRAMLARI İLE ÇÖZÜMLENMESİ: ÖRNEK BİR UYGULAMA

Mevlüt KAÇMAZ

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Nuray ALPASLAN

2022, 78 Sayfa

Jüri

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Nuray ALPASLAN
Doç.Dr.Mehmet Salih KESKİN
Dr.Öğr.Üyesi İslam GÖKALP

Bu çalışmada, Batman İlinde yapılacak olan 2 bloklu bir yapının fore kazık sistemleriyle desteklenmesi yöntemleri ele alınmıştır. Zemin etüt raporu ve plankoteden alınan verilerle zemin profili oluşturulmuş, projede hesap edilen gerçek bina yükleri kullanılarak PLAXIS 2D, PLAXIS 3D FOUNDATION ve SAP2000 bilgisayar yazılımları ile modeller oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre zemin tabakaları ve kazık gruplarında meydana gelen deformasyon ve gerilme değerleri kıyaslanarak yorumlanmıştır. Temel altındaki üst tabaka için dolgu malzemesi ve düşük plastisiteli kil, orta plastisiteli kilden oluşan zemin türleri üzerine oturan temel sistemleri modellenmiştir. Gevşek zemin birimleri ve düşük yeraltı su seviyesi koşullarında, temel sisteminin göstereceği gerilme ve deplasman durumlarının etkisi incelenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlarda, geoteknik araştırmalarda yaygın olarak kullanılan sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan bu programlar ile yapılan analiz ve hesaplamaların, sonucun doğruluğunun kıyaslanmasında ciddi oranda etkili oldukları görülmüştür. Sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan bu bilgisayar yazılımları ile geleneksel metotlarla göz önüne alınamayan birçok parametrenin kolaylıkla modellenebildiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: : Fore Kazık; Plaxis 2D; Plaxis 3D; Statik Yük; SAP 2000

ABSTRACT

MS THESIS

ANALYSIS OF GEOTECHNICAL PROBLEMS WITH DIFFERENT FINITE ELEMENT PROGRAMS: AN EXAMPLE APPLICATION

Mevlüt KAÇMAZ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN CIVIL ENGINEERING**

**Advisor: Asst. Prof. Dr. Nuray ALPASLAN
2022, 78 Pages**

**Jury
Advisor: Asst. Prof. Dr. Nuray ALPASLAN
Assoc. Prof. Dr. Mehmet Salih KESKİN
Asst. Prof. Dr. İslam GÖKALP**

In this study, the methods of supporting a two block structure to be built in Batman Province with bored pile systems are discussed. Soil profile was created with the data taken from the soil survey report and plancode, and models were created with PLAXIS 2D PLAXIS 3D FOUNDATION and SAP2000 computer software using the real building loads calculated in the project. According to the obtained results, the deformation and stress values occurring in the soil layers and pile groups were compared and interpreted. For the upper layer under the foundation, foundation systems based on soil types consisting of low plasticity clay, medium plasticity clay and filling material are modeled. The effects of stress and displacement conditions of the foundation system under loose soil units and low groundwater level conditions were investigated. In the results obtained in the study, it has been seen that the analysis and calculations made with these programs that work with the finite element method, which is widely used in geotechnical research, are significantly effective in comparing the accuracy of the result. It has been determined that many parameters that cannot be considered with traditional methods can be easily modeled with these computer software working with the finite element method.

Keywords: Bored Pile;Finite element method;Plaxis 2D; Plaxis 3D; SAP 2000

ÖNSÖZ

Çalışmam boyunca bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan tezin tüm aşamalarında düşüncelerinden faydalandığım bu süreçte takıldığım tüm noktalarda bana yardımcı olan çok değerli danışman hocam Dr.Öğr.Üyesi Nuray ALPASLAN'a çok teşekkür ederim.

PLAXIS 2D ve PLAXIS 3D programları ile ilgili bilgi ve deneyimini benimle paylaşan çalışmamda desteğini eksik etmeyen Dicle Üniversitesi Öğretim Üyesi Sayın Doç.Dr. Mehmet Salih KESKİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda bilgi alışverişinde bulunduğum desteğini eksik etmeyen İnşaat Mühendisi Mehmet GÖKALP'a teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca maddi manevi desteğini eksik etmeyen başta babam Veysi KAÇMAZ olmak üzere tüm aileme teşekkür ederim.

Mevlüt KAÇMAZ
BATMAN-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. MATERYAL ve YÖNTEM	7
3.1. Temeller	7
3.1.1. Tekil temeller	7
3.1.2. Radye temeller	8
3.1.3. Derin temeller	8
3.2. Kazıklar	9
3.2.1. Kazık temeller ve çeşitleri	9
3.2.2. Kazık tipleri	10
3.2.2.1. Ahşap kazıklar	10
3.2.2.2. Çelik kazıklar	11
3.2.2.3. Betonarme kazıklar	11
3.2.2.4. Kompozit kazıklar	12
3.2.2.5. Fore kazıklar (Delme Kazıklar/Sondaj Kazıkları/Delme kazıkları) yerinde dökme beton kazıklar	13
3.3. Kazıklı Temellerin Taşıma Gücü Hesapları	15
3.3.1. Kazıklarda grup etkisi	19
3.3.2. Kazıklarda negatif çevre sürtünmesi	21
3.4. Kazıklarda Oturma	22
3.4.1. Kazık gruplarının oturması	22
3.5. Sonlu Elemanlar Yöntemi	24
3.5.1. PLAXIS sonlu elemanlar programı	25
3.5.1.1. Lineer elastik model (Lineer elastik model) (LE)	25
3.5.1.2. Hardening soil model (Pekleşen zemin modeli) (HS)	25
3.5.1.3. Mohr-Coulomb model (MC)	26
3.5.2. SAP2000 sonlu elemanlar programı	27
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA	29
4.1. Geoteknik Değerlendirme	29
4.2. Modellerde Kullanılan Malzemelere Ait Özellikler	30
4.3. PLAXIS Programında Model Oluşturma ve Statik Analiz Uygulaması	32
4.4. Kazıklı Modellemede Statik Analiz-2D	32
4.4.1. PLAXIS 2D programı ile iyileştirme öncesi yapılan analizler	33

4.4.2. PLAXIS 2D programı ile iyileştirme sonrası yapılan analizler	35
4.5. Kazıklı Modellemede Statik Analiz-3D	39
4.5.1. PLAXIS 3D programı ile iyileştirme öncesi yapılan analizler	39
4.5.2. PLAXIS 3D programı ile iyileştirme sonrası yapılan analizler	44
4.6. Kazık Çapı, Kazık Uzunluğu ve Kazıklar Arası Mesafenin Taşıma Gücüne Etkisi	49
4.7. SAP2000 Programı ile Zeminin Modellenmesi	53
4.7.1. SAP2000 analiz sonuçları	56
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	69

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	:En kesit alanı
$A_{uç}$	:Kazık uç kesit alanı
A_{yan}	:Kazık yüzey alanı
α	:Adezyon faktörü
$\bar{b}$	:Kazık grubu genişliği
B	:Temel genişliği
C_c	:Konsolidasyon katsayısı
c	:Efektif kohezyon değeri
D	:Temel derinliği
d_c, d_q, d_y	:Derinlik faktörleri
e_0	:İlk boşluk oranı
G	:Kayma modülü
K	:Toprak basınç katsayısı
L	:Temel uzun kenarı
m	:Gruptaki kazık sırası sayısı
N	:Gruptaki toplam kazık sayısı
$\tan\delta$	:Sürtünme Katsayısı
$Q_{uç}$	:Kazık ucu tarafından taşınan yük
$q_{uç}$	:Kazık ucunda sınır taşıma gücü
Q_{yan}	:Kazık şaftı ve zemin arasında sürtünmeyle taşınan toplam yük
σ'	:Efektif gerilme
ΔQ	:Yük değişimi
ϵ	:Toplam deformasyon
ϵ_e	:Elastik deformasyon
ϵ_p	:Plastik deformasyon
ν	:Poisson oranı
ϕ	:Kayma mukavemeti açısı
ψ	:Dilatasyon açısı
γ	:Zeminin birim hacim ağırlığı
γ'	:Zemin efektif birim hacim ağırlığı
γ_n	:Doğal birim hacim ağırlık
γ_k	:Kuru birim hacim ağırlık
γ_{su}	:Suyun birim hacim ağırlığı

Kısaltmalar

EA	:Eksenel rijitlik
EI	:Eğilme rijitliği
HS	:Hardening soil model
LE	:Lineer elastik model
MC	:Mohr-Coulomb model
YASS	:Yeraltı su seviyesi

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında artan nüfus ile birlikte konut, okul, hastane, tiyatro, alışveriş merkezi gibi toplumun ihtiyacı olan yapılara gereksinim her geçen gün artmaktadır. Buna paralel olarak bitişik ve derin kazılar yapılarak binaların inşa edilmesi zorunlu hale gelmiştir. Mevcut zeminler üzerine yüksek binalar, köprü, viyadük gibi zemine aktarılan yükün fazla olduğu ve yüzeyde bulunan zemin tabakasının bu yükleri taşıyamadığı durumlarda yapı yüklerini daha derin zemin tabakalarına aktaran yapı elemanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte inşaat alanlarımız daralmakta bu durum sağlam olmayan zeminler üzerine yapı inşa etmeye sevk etmektedir. Nüfusun artmasıyla birlikte güvenli yaşam alanlarına ihtiyaç günden güne artmaktadır. Vaktimizin neredeyse tamamını geçirdiğimiz yapılarda can güvenliğini sağlamak bizim için büyük önem arz etmektedir. Özellikle taşıma gücü düşük, farklı oturmalarla maruz kalmış, yeraltı su seviyesi koşulları ile sızıntı durumu olan ve sıvılaşabilen zeminler de iyileştirme yöntemlerine sık ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte, mühendislik yapılarının boyutlarının da büyümesi zeminlerde iyileştirmeyi şart kılmaktadır. Yapı temel zeminlerinde uygulanan zemin iyileştirme yöntemlerinde temel amaç yapıların statik yükleri altında istenilen performansa getirilmesidir.

Yapı temelleri üst yapıdan gelen yapı yüklerini güvenle taşıyabilmesinin yanında istenilen deformasyon şartını da sağlaması gerekmektedir. Bununla birlikte, seçilen temel tipinin maliyet açısından ekonomik sınırlar çerçevesinde kalması da geoteknik mühendisliği açısından son derece önemlidir. Zeminin taşıma gücünün düşük olması veya zemin koşullarından dolayı farklı oturmalar beklendiği durumlarda radye temel tercih edilir. Radye temel diğer temel sistemlerine göre, taşıma gücü ve oturma problemlerinde etkili bir çözümdür (Uzuner,2019).

Türkiye 1950’li yıllardan başlayarak hızlı şehirleşme nedeniyle konuta yönelik yoğun bir yapılaşma sürecine girmiştir. 1999 yılındaki Marmara bölgesini etkileyen deprem, bina temelleri, iksa sistemleri ve bunların üzerine oturduğu zeminlerde, etkileşimin ne denli önemli olduğunu aniden ön plana çıkarmıştır (Önalp, Sert, 2010). Dolayısıyla inşaat mühendisliği uygulamalarında, zemin karakterinin ortaya konmasına yönelik araştırmaların daha kapsamlı yapılması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Statik ve dinamik yükler altında zeminlerin davranışının incelenmesi, yapıların projelendirilmesi

ve üretimi sürecinde oldukça önemli bir yere sahiptir. Özellikle deprem gibi dinamik yükler altında bu davranışın ortaya konması, mühendislerin önemli ödevlerinden birini oluşturmaktadır. Zemin tabakaları, içinden geçen deprem dalgalarının özelliklerini etkilediği kadar, deprem dalgaları da, örneğin sıvılaşma ve şev kaymalarında gözlemlendiği gibi, zemin tabakalarının mukavemet ve şekil değiştirme özelliklerini etkiler (Ansal, 2004; Gündoğdu ve Özçep, 2003; Kramer, 1996).

Son yıllarda, geoteknik mühendisliği problemlerinin çözümünde, sonlu elemanlar yöntemi giderek artan bir şekilde tercih edilmektedir. Zeminin homojen yapıda olmaması ve karmaşık davranışı nedeniyle arazi ve laboratuvar araştırmalarından elde edilen veriler ile birlikte sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak zeminlerin deformasyon ve gerilme-şekil değiştirme davranışı hesaplanabilmektedir. Geoteknik mühendisliğinde sonlu elemanlar yöntemi, yanıl ve düşey hareketleri belirlemek ve yeraltında kayada kazı yapılması uygulamalarında kullanılmış ve pratikte birçok avantajlar sağlanmıştır (Savage ve ark., 2000; Ling ve ark.,2014). Sonlu elemanlar yönteminin geoteknik problemlere uygulanması konusunda birçok araştırmacı çeşitli çalışmalar yapmışlardır (Zienkiewicz, 1977; Griffiths ve Lane, 1999; Cai ve Ugai, 2000; Savage ve ark., 2000). Bununla birlikte teknolojinin hızlı ilerlediği günümüzde sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan bilgisayar paket programları vasıtasıyla geoteknik problemlerin çözümü hızlı bir şekilde yapılabilmektedir.

Son yıllarda ülkemizde farklı zemin tiplerinde uygulaması olduğundan, uygulama esnasında gürültü ve titreşime neden olmadığı, kazık delgisi sırasında zeminin düşey zemin tabakalarını her kazık için ayrı ayrı görme imkanı sağladığı için fore kazıklar sıklıkla tercih edilmektedir. Bununla birlikte fore kazık sistemi diğer yöntemlere göre, daha az ekonomik çözümler sunmakla birlikte özellikle yüksek binalarda en etkili temel güçlendirme çözümlerinden birisidir. Fore kazık, derin temel kazılarında çevre yollara ve yapılara zarar vermemek için yapılan destekleme yöntemlerinden birisidir. Zemin şartlarına, çevresel yüklerine ve kazı derinliğine bağlı olarak seçilen fore kazık; ankraj gibi iksa sistemleriyle yüksek güvenlik istenen durumlarda tercih sebebi olmaktadır (Tschebotarioff, 1951).

Bu tez çalışmasının ilk bölümünde zemin iyileştirme yöntemlerinden olan fore kazık tekniği ele alınarak değerlendirilmiştir.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde, teknolojinin gelişimiyle sonlu elemanlar yöntemi kullanarak hesaplayan, deformasyon ve stabilite analizleri yapabilen programlardan PLAXIS 2D, PLAXIS 3D Foundation ve SAP2000 bilgisayar yazılımları kullanılarak modeller oluşturulmuş ve elde ettiğimiz sonuçlara göre zemin tabakaları ve kazık gruplarında meydana gelen deformasyon ve gerilme değerleri kıyaslanarak yorumlanmıştır.

Sonuçta, yapılan analizler sonucunda, temel tasarımı üzerine, temel sisteminin taşıma gücü ve oturma davranışı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bununla birlikte; literatürde yer alan teorik bağıntılar ile yapılan hesaplamalar ile paket programları kullanılarak elde edilen çözümlerin kıyaslanması sonuçların doğruluğu açısından büyük önem arz etmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Tezin bu bölümünde tez çalışma konusu ile ilgili önceki ve güncel çalışmalara yer verilmiş, çalışmalar kısaca özetlenmiştir.

Brinkgreve ve ark. (2004) çalışmalarında sonlu elemanlar yöntemine dayanan iki boyutlu PLAXIS 2D (Finite Element Code for Soil and Rock Analysis) bilgisayar yazılımını kullanmışlardır.

Özdemir (2006) PLAXIS programı kullanarak oluşturduğu parametrik modellerde kazık aralığı, kazık boyu, yükleme çeşidi, kazık çapı, zemin cinsi ve kazık sayısı gibi parametreleri değiştirerek radye altında meydana gelen taban basıncı değişimini üzerinde çalışmıştır.

Wulandari ve Tjandra (2015) yaptıkları çalışmada, radye temelin oturmalarını ve aynı yükleme altında kazıklı radye temel olarak kazıklar ekleyerek çeşitli kazık sayılarını da dikkate alarak PLAXIS 2D programı ile analiz etmişlerdir. Sonuç olarak, kazıkların eklenmesi oturmaya azaltabilir, ancak belirli sayıda kazık sayısına ulaştıktan sonra kazık sayısının artması ile oturmanın sabit olma eğiliminde olduğu sonucuna varmışlardır.

Yeğit ve Zorluer (2019) yapmış oldukları çalışmada, farklı kazık sayısı, kazık uzunluğu ve kazık çapına sahip kazık gruplarının, aynı üst yapı yükü ve aynı zemin profili içindeki performansını ampirik formüllerle hesaplayarak, SAP2000 yapı analiz programını ve PLAXIS 3D programını kullanarak incelemişlerdir. Çalışmalarında, kazık sayısındaki artışın ve kazık çapının artırılmasının kazık grubundaki verimliliği düşürdüğü sonucuna ulaşmışlardır.

Bozkurt ve Demiröz (2020) yapmış oldukları çalışmada, kazık sayısı, uzunluğu ve çapının kazıklı radye temel sistemlerinde oluşan oturma üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, geliştirilmiş olan örnek bir nümerik model dikkate alınarak, Randolph yöntemine dayanan hesap kodu yazılmış, kazıklı radye temel parametrelerinin (kazık sayısı, uzunluğu ve çapı) değişimine bağlı olarak en büyük oturma ve diferansiyel oturma değerleri analiz edilmiştir.

Ateş ve Şadoğlu (2021) yaptıkları çalışmada, radye temel sistemlerinin güvenilir ve ekonomik tasarımı için kapsamlı teorik ve deneysel çalışmalar yaparak kum zemin içerisinde yer alan kazıklı radye temellerin tasarım parametrelerinin etkileri (kazıklar arası mesafe, kazık çapı, kazık uzunluğu ve rölatif sıklık, vb.) deneysel olarak araştırmışlardır. Sonuç olarak, temel mühendisliği uygulamalarında kullanılmak üzere tasarım parametreleri önermişlerdir.

Çimen ve Osmanoğlu (2021) yaptıkları çalışmada, Kıbrıs Adası'nın farklı zemin gruplarında, taşıma gücü ve oturma problemlerinden dolayı tasarlanmış olan kazıklı radye temel sistemlerinin oturma tabanlı optimizasyonu yapmışlardır. Kazıklı radye temel sistemlerinde değişken parametreler olan kazık sayısı, kazık çapı ve kazık uzunluğu değerleri kullanılarak her iki zemin grubunda da oturma tabanlı optimum kazık sayısı, kazık çapı ve kazık uzunluğu değerleri saptanmıştır.

Watcharasawe ve ark. (2015) kohezyonlu zeminlerdeki farklı yükseklikteki yapıları PLAXIS 3D programında analiz etmiştir. Analizler sonunda radye kalınlığının temel davranışını değiştirdiğini ve bununla birlikte yapının zemin içindeki derinliği arttıkça kazıklı radye temelinde taşıma gücünde değişimler oluştuğunu gözlemlemişlerdir.

Khan ve Ahmad (2002) yapmış oldukları çalışmada, Kazık-Zemin etkileşimi, sonlu elemanlar tabanlı bir program olan SAP2000'de modellenmiştir. Kazık-zemin etkileşimi için geliştirilen modelleme tekniği, kazığı çevreleyen zemin için yay yükü-deformasyon eğrisi verir ve bu nedenle, kazık boyunca kazık enstrümantasyonunun deneysel tekniği olarak, kazıkların çevredeki zemine göre hareketine zeminin tepkisini yakalar sonucuna ulaşmıştır.

Mamuk (2010) gerçek zemin-yapı etkileşimine yaklaşmak ve en gerçekçi sonuçları elde edebilmek ve modellerin uygunluğunu sağlamak amacıyla zemin-yapı etkileşimini üç boyutlu olarak hazırlamıştır. Analizde sonlu elemanlar teorisi yöntemiyle çalışan SAP2000 paket programı kullanılmıştır.

Erdemir ve Okur (2011) yapmış oldukları çalışmada, üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanarak düşey yüklü kazıkların sismik yük etkisi altındaki davranışını, zaman

tanım alanında hesap yöntemi ile incelemişlerdir. Çalışmalarında, dört adet sürtünme kazığından meydana gelmekte olup farklı model grupları oluşturularak kazık grupları kum ve kil tabakadan oluşan zemin kesitlerine yerleştirilerek, grup etkisinin dinamik yük altındaki davranışını gözlemlemişlerdir.

Eser (2004) elastik zemine oturan kirişli radye ve kirişsiz radye temel için sonlu elemanlar yöntemi kullanarak ayrı ayrı eğilme hesabı yapmıştır. Bu temel plağı kirişli ve kirişsiz olarak düşünülerek çözüm tekrarlanarak deformasyon ve moment diyagramlarını çizmiştir. Çalışmanın sonucunda, SAP2000 programı ile de kirişli ve kirişsiz radye temel çözüm sonuçlarının birbirine oldukça yakın olduğu sonucuna ulaşmıştır.

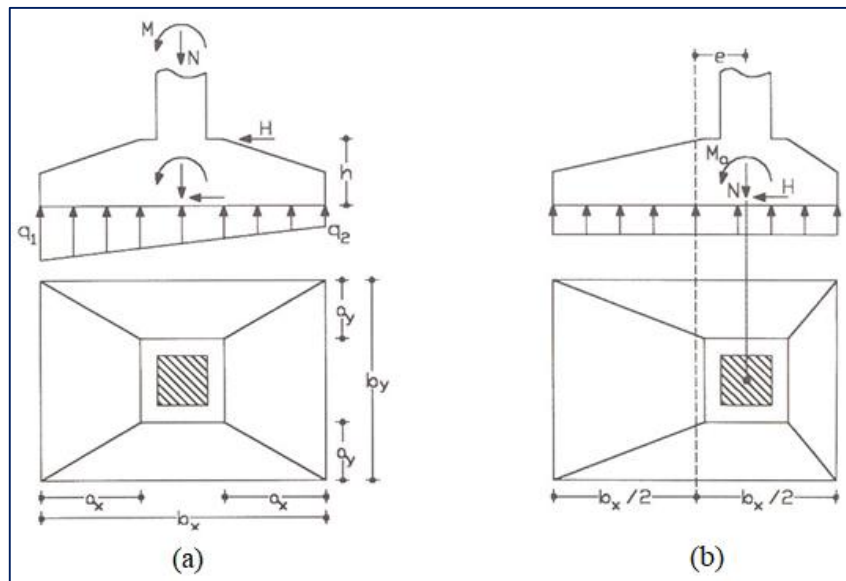
3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Temeller

Temeller, üst yapıdan gelen yükleri zemine aktaran, Terzaghi'nin deyiimiyle “görmeksiz” en son yapı elamanlarıdır. Yükü zemine aktarırken yapının bütünlüğünü korumanın yanında üzerinde bulundukları zeminlerde aşırı gerilmeler oluşturmamaları gerekir (Coduto, 2001). Dolayısıyla bu aşırı gerilmeler zeminde kayma yenilmesine ve/veya aşırı deformasyonlara neden olabilirler. Dolayısıyla temel tasarımları, gerek geoteknik gerek yapısal olarak ihtiyaçları ekonomik olarak da karşılamak zorundadır (Coduto, 2001). Temeller, üst yapıdan gelen yapı yüklerine kendi ağırlıklarını da katarak zemine aktarırlar; zeminde kırılma veya kayma olmadan, ayrıca bu olaya karşı belli bir güvenlikte olan taşıma gücü koşulu ve yapıya zarar vermeyecek oturmalarla temel zemine aktaran eleman veya elemanlardır (Uzuner, 1996).

3.1.1. Tekil temeller

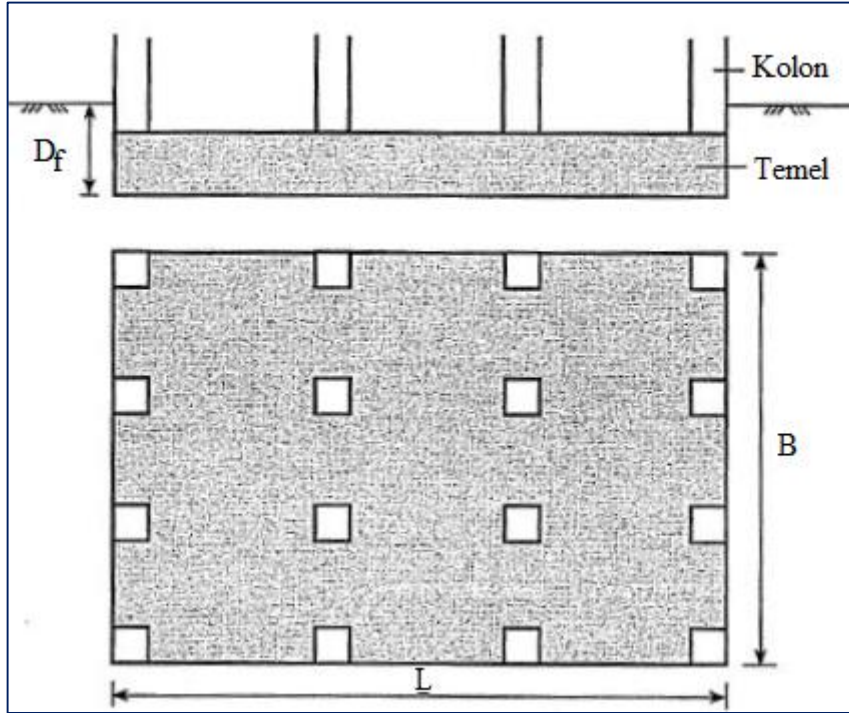
Tekil temeller binalarda, her kolonun altında yer alırlar. Betonarme olan bu temeller kolon yükünü geniş bir alanda yayarak temel zeminine iletirler (Uzuner, 2019). Tekil temeller, Şekil 3.1a ve Şekil 3.1b’de görüldüğü üzere, yüklenme ve kolon yeri açısından da kendi aralarında simetrik tekil temeller ve asimetrik tekil temeller diye sınıflandırılır.



Şekil 3.1. Simetrik (a) ve simetrik olmayan tekil temel (b) (Celep ve Kumbasar, 2001)

3.1.2. Radye temeller

Hasır temeller olarak da bilinen radye temeller, sıklıkla yapının tüm yüzeyini kapsayan büyük yüzeysel temeldir. Radye temeller (Şekil 3.2) sıklıkla betonarme olarak tasarlanan yapı elemanlarıdır (Coduto, 2001).



Şekil 3.2. Radye temel (Uzuner, 2019'dan faydalanılarak hazırlanmıştır)

3.1.3. Derin temeller

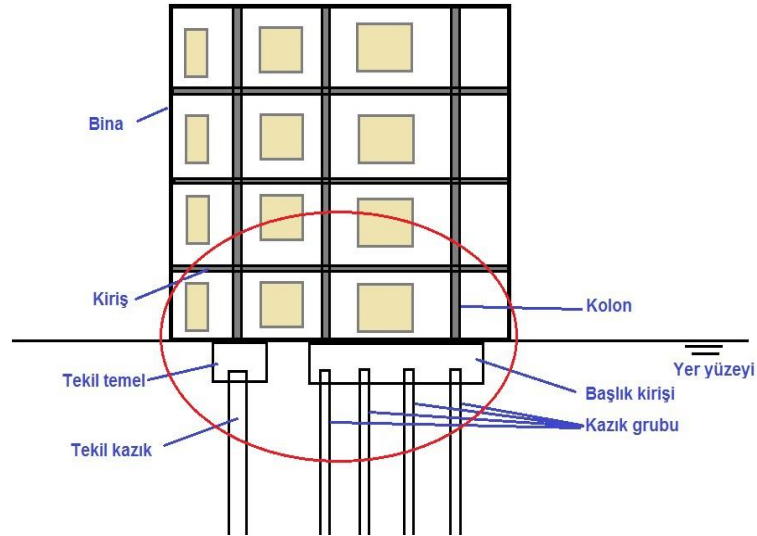
Üst yapı yükünün tamamını veya bir bölümünü zayıf zeminden derinlerdeki sağlam tabakalara aktaran, temel sistemlerine kazık temel veya derin temel denir. Derin temel sağlam tabakalara iletme görevini yaparak zeminle yapı temeli arasında rijit bir bağlantı oluşturur. Derin temeller, uygulanan yapı yüklerinin tamamına yakını daha derinlerdeki sağlam zemine aktarırlar (Coduto, 2001).

Kazıklar, yapı yüklerini zeminin daha derin tabakalarına aktarılması için tasarlanan derin temel çeşididir. Yüzeysel temeller yapı yüklerini, yapıda göçme ya da büyük deformasyonlara neden olmadan taşıyabilecek bir yüzeysel temel tasarımına uygun olmadığı durumlarda derin temel tercih edilir. Kazıklı temeller projelendirilirken göçme ve deformasyonların kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu gösterilmelidir.

Kazıklı temeller gerek projelendirme gerek uygulamada çeşitli özellikler ve zorluklar vardır. Kazıklar yüklerini taşımalarına göre sınıflandırması için kapsamlı bir çalışma yapılmalıdır. Doğada homojen zemin tabakasına çok nadir rastlanır. Oysa kazığın inşa edildiği zemin profilindeki tabakaların özelliklerinin kazık davranışına etkisi büyüktür. Bu nedenle zemin parametrelerinin yeterli bir derinliğe kadar bilinmesi kazıklı temel sisteminin tasarımında ilk adımdır. Zemin özelliklerinin bilinmesinde hem tabaka cinslerinin belirlenmesi hem de tabakaların mukavemet, kıvam ve konsolidasyon gibi özelliklerini de ele alınmalıdır.

3.2. Kazıklar

Kazıklar, geometrik şekil olarak düşey uzunluğu diğer iki boyutundan çok büyük olan yapısal bir elemandır. İmal malzemesi olarak da çelik, beton ya da ahşaptan yapılabilir. Bu elemanlar genellikle zemine düşey olarak inşa edilirler bu bir binanın kolonları görünümüne sahiptirler (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Binanın altına yerleştirilen kazıklı temel (Basu, 2006'dan faydalanılarak hazırlanmıştır)

Kazıklar; çelik, beton ve ahşap gibi malzemelerden tasarlanan yapı elemanlarıdır. Kazıklar, yüzeysel temellere göre daha derin ve maliyetli olan kazıklı temellerin oluşturulmasında kullanılırlar (Das 2007).

3.2.1 Kazık temeller ve çeşitleri

Derin temellerin birinci tip kazık çeşidi, zemine çakılan veya farklı bir şekilde zemine yerleştirilen, önceden hazırlanmış ince, uzun yapısal elemanlardan oluşan kazık

temeldir. Kazıklar, zemin yüzeyinde bulunan, taşıma gücü bakımından zayıf zemin tabakalarına etki eden yapı yüklerini daha derinde bulunan ve taşıma gücü daha yüksek olan tabakalara ya da ana kaya tabakasına aktarmak için kullanılan yapı elemanlarıdır. Mühendisler kazıkları, çok farklı yapılarda karada ve denizlerde destek amacıyla kullanırlar. Kazıklar, farklı tip malzemelerde proje yükü ve zemin özelliklerine bağlı olarak farklı uzunluk ve çaplarda tercih edilebilir (Coduto, 2001). Kazıkların farklı özellikleri göz önüne alınarak birçok şekilde sınıflandırılabilir. Örneğin kazıkların imal edildiği malzeme tipine göre beton, ahşap, çelik veya bunlardan ikisinin de bir arada imal edildiği (kompozit) türlerden söz edilebilir. Yapı yüklerini zemine iletilmesi açısından değerlendirildiğinde ise yükün büyük kısmı kazık ucunda taşınıyor ise uç kazığı, kazık çevresiyle sürtünme direnciyle karşılanıyorsa sürtünme kazığı şeklinde adlandırılabilir. Kazıklardan çekme yükü karşılanıyor ise çekme kazığı adını alırlar (Yıldırım, 2004).

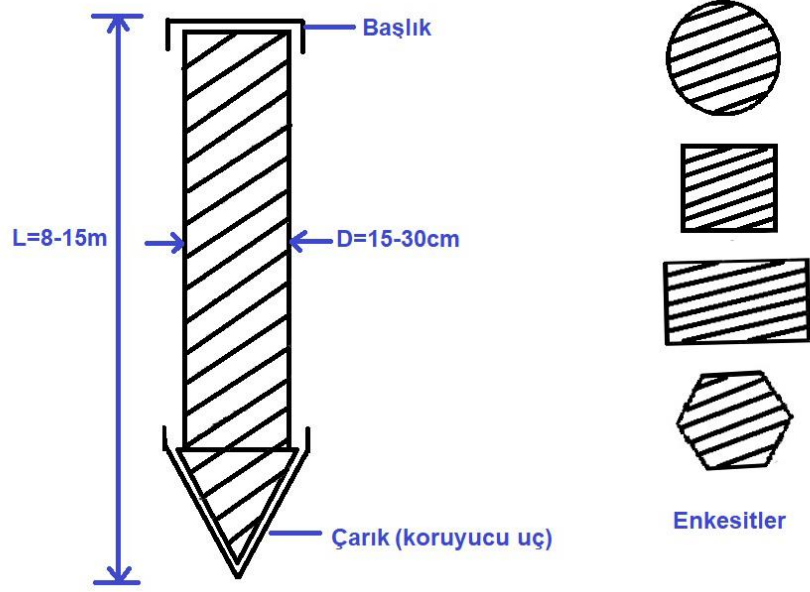
3.2.2. Kazık tipleri

Kazıklar üretildikleri malzemelerin cinsine göre dört guruba ayrılmaktadır. Bunlar betonarme kazıklar, çelik kazıklar, ahşap kazıklar, karmaşık (kompozit, genellikle kazığın alt kısmı çelik veya ahşap, üst kısmı betonarme olarak inşa edilen) kazıklardır (Uzuner, 2019).

3.2.2.1. Ahşap kazıklar

Ahşap kazıklar, doğrudan zemine çakılarak uygulanırlar. Ahşap kazıkların uygulamasında avantajların yanında dezavantajları da mevcuttur. Avantajları; uygulama esnasında boyunun rahatlıkla kısaltılabilmesi ve hafif olmasıdır. Dezavantajları ise; böcek ve kurtlar tarafından kemirilmesi, ahşabın mantar nedeniyle çürümesidir. Ahşap kazıkların (Şekil 3.4) çürüme riskinin daha fazla olduğu bölgeler zemin yüzeyi ile yaklaşık iki metre derinlik arasındaki kısım ile yeraltı su seviyesinin alçalıp yüklemesi nedeniyle kuruyup ıslanmaya maruz olan kısımdır.

Özellikle eğer kazık zemin içinde yer alıyorsa ve devamlı su seviyesi altındaysa problem teşkil etmez. Ancak su seviyesinin üstünde ise, ahşap kazığın ömrünün uzatılması amacıyla kimyasal maddelerle kaplanması gereklidir (Birand, 2001).



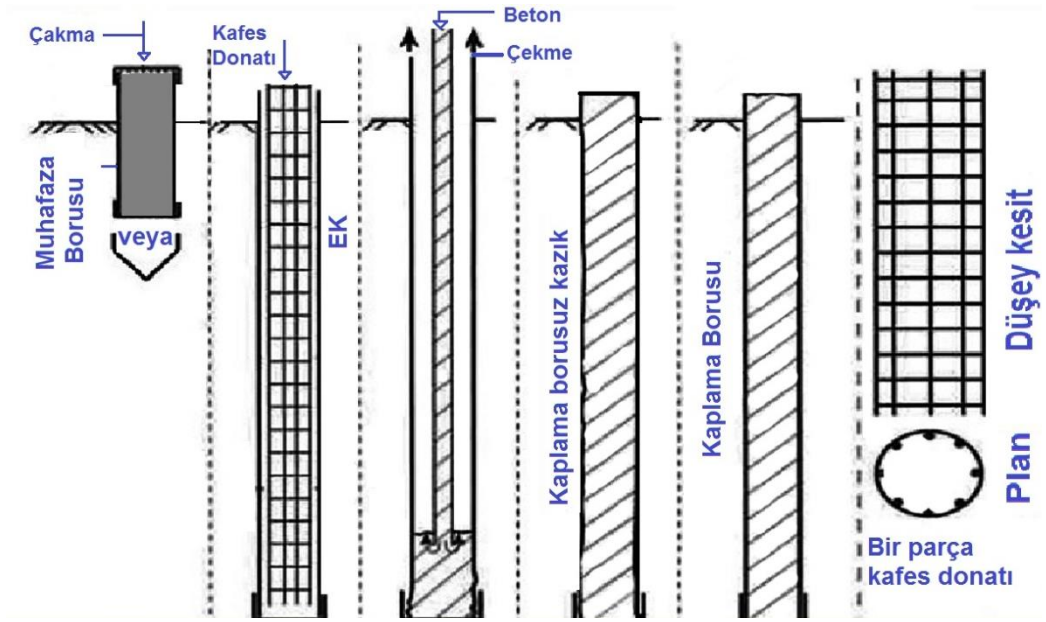
Şekil 3.4. Ahşap kazıklar (Uzuner, 2019'dan faydalanılarak hazırlanmıştır)

3.2.2.2. Çelik kazıklar

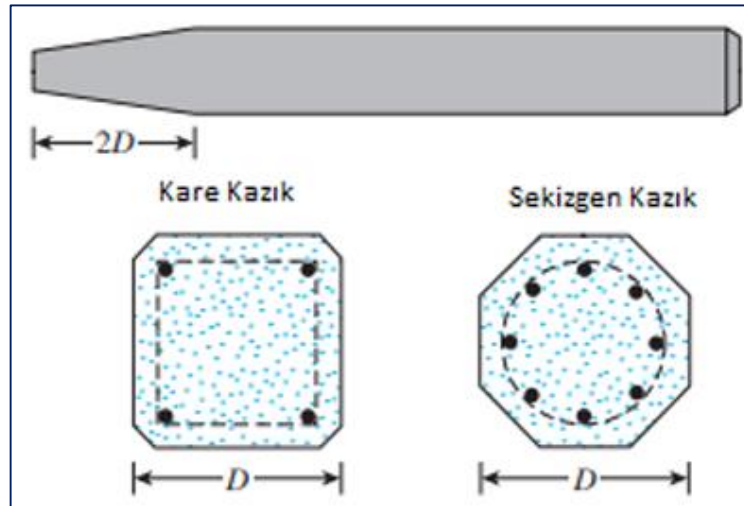
Çelik kazıklar zemine şahmerdan ile çakılarak uygulanan kazıklardır. Genellikle kullanılan çelik kazıklar, kutu, boru, H-kesitli kazıklardır. Geniş flanşlı I-kesitli veya "H" profilli kazıklar da kullanılmaktadır (Toğrol ve Tan, 2002).

3.2.2.3. Betonarme kazıklar

Betonarme kazıklar; Çakma betonarme kazıklar ve Yerinde Dökme Betonarme Çakma Kazıklar olarak ele alınırlar. Çakma betonarme kazıklar; prefabrik betonarme şantiyeler de üretilen ve çakılan kazıklardır. Betonarme kazıkların içlerine; boyuna donatılar, etriyeler vb. konulur (Uzuner, 2019). Zemine çakma işlemi, kazıkların üzerlerine şahmerdan adı verilen makine düşürülerek uygulanır. Yerinde Dökme Betonarme Çakma Kazıklar ise; zeminde önce bir delgi vasıtasıyla boşluklar oluşturulduktan sonra donatı yerleştirilir ardından içinin betonlaşmasıyla, zemine kazık boyunda ucu kapalı bir çelik borunun çakılması ve borunun içinin beton ile doldurulmasıyla, zemine ucu geçici kapalı olan çelik bir borunun çakılması ve borunun betonlama ile birlikte çıkarılması şeklinde uygulanır. Şekil 3.5'de ucu kapalı kaplama borusu ile yerinde oluşturulan betonarme bir kazığın yapım aşamaları gösterilmiştir. Betonarme kazıklar Şekil 3.6'da görüldüğü üzere kare veya sekizgen olarak tercih edilebilir.



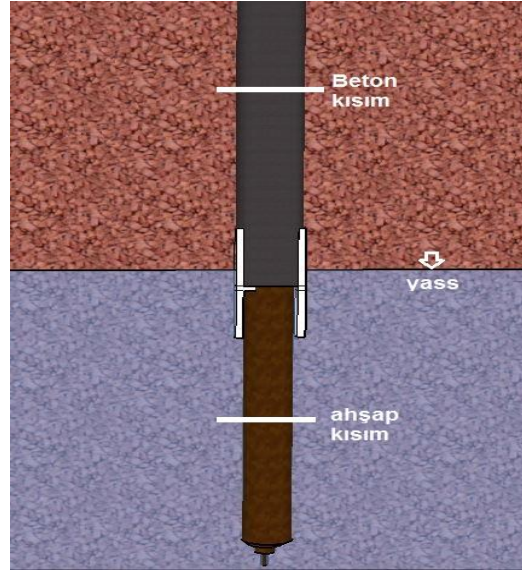
Şekil 3.5. Ucu kapalı kaplama borusu ile yerinde oluşturulan betonarme bir kazığın yapım aşamaları (Uzuner, 2019'dan faydalanılarak hazırlanmıştır)



Şekil 3.6. Betonarme kazıklar (Das, 2014)

3.2.2.4. Kompozit kazıklar

Karmaşık (kompozit) kazıklar, iki yapı malzemesinin bir arada kullanılmasıyla oluşturulan tek fonksiyonu yerine getiren kazıklardır (Şekil 3.7). Ahşap-betonarme, çelik-ahşap, beton-çelik şeklinde kompozisyonları bulunmaktadır. Zeminde, yeraltı suyu altındaki kısmı ahşap, üstü betonarme olan kazıklar, kompozit kazıklara örnek verilebilir (Uzuner, 2019).

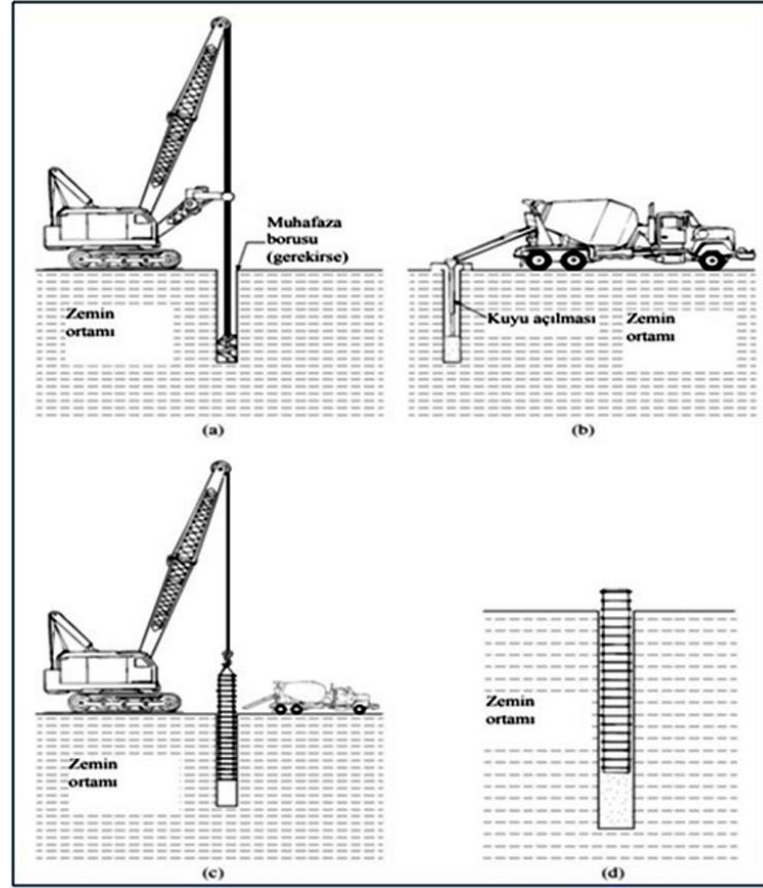


Şekil 3.7. Karma (kompozit) kazık (Uzuner, 2019'dan faydalanılarak hazırlanmıştır)

3.2.2.5.Fore kazıklar (Delme Kazıklar/Sondaj Kazıkları/Delme kazıkları) yerinde dökme beton kazıklar

Fore kazık; kazı veya sondaj ile zeminde açılan kazık yuvasının donatısız veya donatılı beton ile doldurulmasıyla koruma borulu veya koruma borusuz yapılmış kazık olarak tanımlanır (TS 3168 EN 1536, 2001). Tüm zemin tiplerinde uygulanabilmesi, kazık çakma uygulamasında gürültü ve titreşimin olmaması ve delgi (sondaj) esnasında zemin profilinin öğrenilebilmesine imkan sağladığından dolayı ülkemizde sıkça tercih edilen kazık çeşididir.

Değişik çaptaki standart kazık imalatında; delgi'nin yapılması, donatı ve beton'un yerleştirilmesi olmak üzere üç aşamada işlem tamamlanır. Kazığın standartlara ve projesine uygun yapıldığını kontrol için bütünlük deneyi (integrity) ve yükleme-çekme deneyi uygulanabilir (Das, 2007). Delme kazıkların imalat biçimi Şekil 3.8'de verilmiştir. Fore kazık yönteminin uygulama aşamaları olan, hazırlanmış daire kesitli donatılar ve bu donatıların baca kazılarının içine yerleştirilmesi ve donatısı yerleştirilen bacalara beton dökülmesi işlemleri Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Delme (fore) kazıklar, kazık hacmi kadar zeminin delgi vasıtasıyla dışarı atılmasından sonra bu boşluk beton ile doldurularak imal edilirler. Delme kazıklar mevcut zeminde bir iyileştirme ve sıkıştırma yapmazlar. Hatta bazı durumlarda boşluğa doğru ötelenme olup zeminin gevşemesi mümkündür (Önalp ve Sert, 2010). Özellikle tutunamayan zeminlerde göçmeyi önlemek için muhafaza borusu vasıtasıyla delgiye devam edilebilir. Şekil 3.10'da delme kazık uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Fore kazık imalat biçimi (a) zemin sondajı; (b) beton dökümü; (c) donatı yerleştirilmesi; (d) tamamlanmış delme (fore) kazık (Das, 2007)



Şekil 3.9. Fore Kazık uygulamasında donatıların bca kazılarının içine yerleştirilmesi ve donatısı yerleştirilen bacalara beton dökülmesi işlemleri (<https://www.roniak.com.au/service/bored-piles/>)

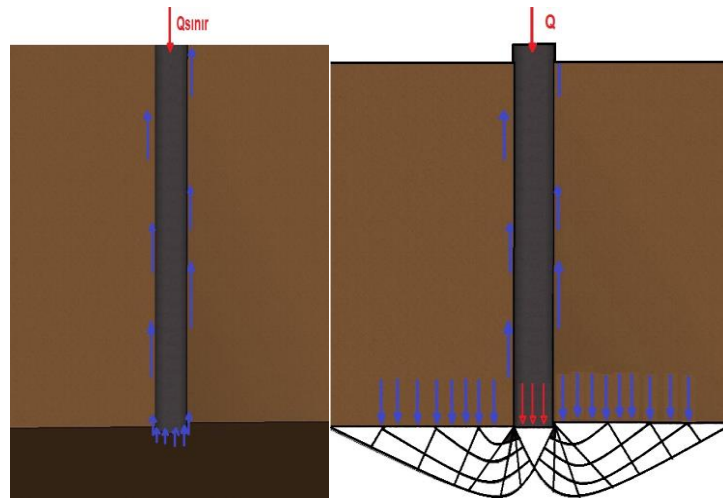


Şekil 3.10.Fore Kazık uygulaması (<https://www.temeltek.com.tr/en/dikmen-project-bored-pile-works/>)

3.3. Kazıklı Temellerin Taşıma Gücü Hesapları

Derin temel çeşidi olan kazıklı temellerin taşıma gücü hesaplamaları statik ve dinamik kazık formülleri kullanılarak ve kazık yükleme deneyleri ile hesaplanabilmektedir.

Statik kazık bağıntılarından yük taşıma gücü hesabı düşey yüklere maruz kalan bir kazığın nihai yük taşıma gücü, kısmen kazık ucunda oluşan noktasal direnci kısmen de kazık şaftı ile temas halinde olan zemin yüzeyi ile kazık yüzeyi arasında gelişen aderans ile yüzeysel sürtünme direncinin toplamıdır (Poulos ve Davis, 1980). Bir kazığın toplam yük taşıma kapasitesi, kazık ucunda taşınan yük ve kazık zemin arasında meydana gelen sürtünme direncinin (yüzey sürtünmesi) toplamıdır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. (a) Kazık yük taşıma gücü bileşenleri, (b) Kazıkta uç mukavemeti ve çevresel sürtünme mukavemetini tanımlayan mekanizma (Çinicioğlu,2005'den faydalanılarak hazırlanmıştır)

Bir sürtünme kazığının sınır (nihai, son) yükü Eşitlik (3.1)'deki şekilde ifade edilir (Uzuner, 2019).

$$Q_{\text{sınır}} = Q_{\text{uç}} + Q_{\text{yan}} = q_{\text{uç}}A_{\text{uç}} + q_{\text{yan}}A_{\text{yan}} \quad (3.1)$$

$$A_{\text{uç}} = \pi D^2 / 4 \quad (3.2)$$

$$A_{\text{yan}} = \pi D D_f \quad (3.3)$$

Burada;

$Q_{\text{uç}}$: Kazık ucu tarafından taşınan toplam yük

Q_{yan} : Kazık shaftı ve zemin arasında sürtünmeyle taşınan toplam yük,

$q_{\text{uç}}$: Kazık ucunda sınır taşıma gücü (kN/m^2)

q_{yan} : Kazık yan yüzünde, kazık ile zemin arasında ki yan sürtünme gerilmesi

$A_{\text{uç}}$: Kazık uç kesit alanı,

A_{yan} : Kazık yüzey alanıdır.

Sürtünme kazığının güvenli yükü ise Eşitlik (3.4)'de verilmiştir.

$$Q_{\text{güv.}} = Q_{\text{sınır}} / G_s \quad G_s = 2 - 5 \quad (3.4)$$

Kazık uç mukavemetinin hesaplanması için kazık ucunda oluşan göçme mekanizması yüzeysel temellerin tabanında oluşan ile hemen hemen aynı olduğundan Terzaghi'nin yüzeysel temellere ait taşıma gücü formülleri kullanılır (Çinicioğlu, 2005).

$$Q_{\text{uç}} = q_{\text{uç}}A_{\text{uç}} = A_{\text{uç}}[cN_c + \gamma D_f N_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma] \quad (3.5)$$

Birim alan için,

$$q_{\text{uç}} = cN_c + \gamma D_f N_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \quad (3.6)$$

Burada;

$q_{\text{uç}}$: Kazık ucunda birim alan için uç direnci (kN/m^2)

$A_{uç}$:Kazık uç kesit alanı

B: Taban genişliği, dairesel kazıklarda $B = D$ (m)

D_f :Kazık uzunluğu

N_c, N_q, N_γ :Taşıma gücü faktörleri (yüzeysel temeller için verilen değerler kullanılabilir)

c:Kohezyon

γ :Zeminin birim hacim ağırlığıdır.

Kazık çapının derinliğine göre çok fazla olması nedeni ile N_γ teriminin N_q teriminden çok küçük olduğu düşünülür ve ihmal edilirse kazık uç mukavemeti;

$$q_{uç} = cN_c + \gamma D_f N_q \quad (3.7)$$

Kazık çevre sürtünmesinin hesaplanmasında, kazık sürtünme direnci kazık yan yüzey alanı ile zemin-kazık arası sürtünme direncinin çarpımı ile ifade edilir ve Eşitlik (3.8) ile hesaplanır.

$$Q_{yan} = q_{yan} A_{yan} = p D_f q_{yan} \quad (3.8)$$

Burada;

Q_{yan} (kN) : Çevre sürtünmesi ile taşınan toplam yük,

A_{yan} (m²) : Kazık çevresinde sürtünme ile çalışan toplam alan

q_{yan} (kN/m²) : Çevre yüzeyde birim alanda etkili olan sürtünme,

p (m) : Kazık shaftının kesit çevre uzunluğu (Dairesel kazıklarda $p = \pi \cdot D$),

D_f (m) : Temel derinliği, kazık boyudur.

Kohezyonsuz bir zeminde ise $c=0$ olduğundan, kazık yük taşıma gücü Eşitlik (3.9) ile hesaplanır.

$$q_{uç} = \gamma D_f N_q \quad (3.9)$$

Uç direnci Eşitlik (3.10) ile hesaplanır.

$$Q_{uç} = A_{uç}(\gamma \cdot D_f N_q) \quad (3.10)$$

Kohezyonsuz zeminde sürtünme direnci hesabında (Şekil 3.12), z derinliğindeki sürtünme gerilmesi Eşitlik (3.11) ile hesaplanır (Uzuner, 2019).

$$q_{yan} = \sigma_y \tan \delta = K \gamma_n z \tan \delta \quad (3.11)$$

Burada;

δ : Çevre sürtünme açısı (kazık malzemesi ve zemin arasında)

K: Kazık şaftı üzerinde etkili olan toprak basıncı katsayısı

$\tan \delta$: Sürtünme katsayısı

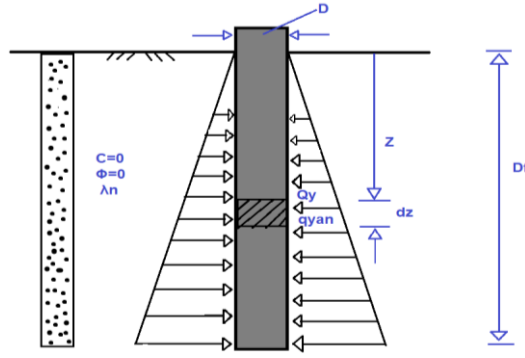
σ_y : z derinliğindeki yanal basınç ($K \gamma_n z$) dır.

Kohezyonsuz bir zeminde, kazık yan yüzünde yukarıya doğru etkiyen sürtünme gerilmelerinin toplamı Eşitlik (3.12)'de verildiği şekilde hesaplanır (Uzuner, 2019).

$$Q_{yan} = \pi D \gamma_n K \tan \delta \frac{D_f^2}{2} \quad (3.12)$$

Kum ve çakıl zeminlerde bir kazığın sınır taşıma gücü (yükü), Eşitlik (3.13) ile hesaplanır.

$$Q_{sınır} = \gamma_n D_f N_q \frac{\pi D^2}{4} + \pi D \gamma_n K \tan \delta \frac{D_f^2}{2} \quad (3.13)$$



Şekil 3.12. Kohezyonsuz bir zeminde yan sürtünme hesaplanması (Uzuner, 2019'dan faydalanılarak hazırlanmıştır)

Kohezyonlu bir zeminde ise, dairesel bir temelde ($c \neq 0, \phi = 0, N_c = 5.7, k_1 = 1.3$) olmak üzere yan sürtünme gerilmesi Eşitlik (3.14)'de verilmiştir.

$$q_{yan} = c_\alpha = \alpha c \quad (3.14)$$

Burada;

c_α : Adezyon (kazık yan yüzü ile kohezyonlu zemin arasında)

α : Adezyon faktörü

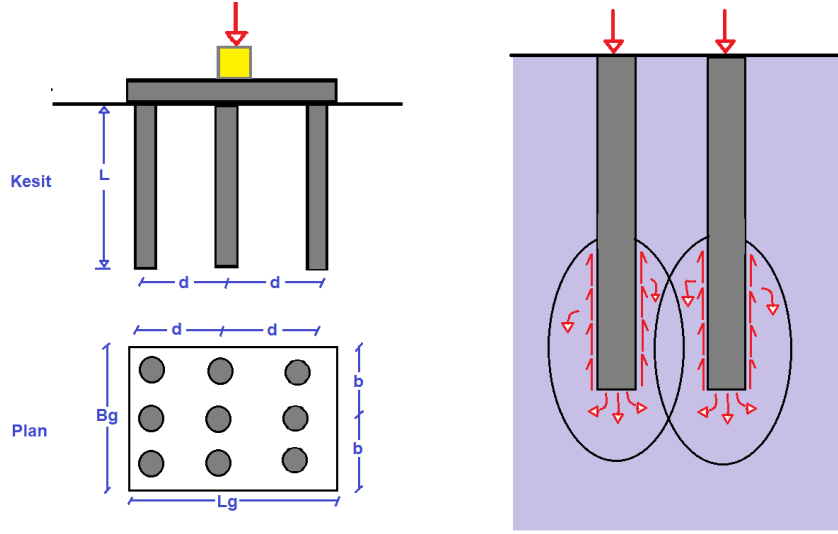
c : Zemin kohezyonudur.

Sınır taşıma gücü (yük) Eşitlik (3.15) ile hesaplanır.

$$Q_{sınır} = 9cA_{uç} + \alpha cA_{yan} \quad (3.15)$$

3.3.1. Kazıklarda grup etkisi

Yapısal yükü zemine aktarmak amacıyla temel altı kazıklar genellikle grup olarak tasarlanır ve kullanılır. Grup kazıklarda, en ideal çözüm taşıma gücü kaybına neden olmayacak şekilde aralık belirlemektir. Uç kazıkları için grup etkisinden ötürü taşıma gücü kaybı söz konusu olmamaktadır. Ancak hem uç hem de sürtünme kazığı olarak çalışan kazıklarda taşıma gücü kaybı sadece sürtünme direncinde ele alınmaktadır. Kazık grubunun şekli, yapının plandaki şekline bağlı olarak değişir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Kazıklarda grup etkisi (Das, 2007'den faydalanılarak hazırlanmıştır)

Uç kazıklarında, bir grubun taşıma gücü, kazıkların her birinin taşıma gücü toplamına eşittir (Uzuner, 2019).

$$Q_{\text{grup}} = \sum_{i=1}^N Q_i \quad (3.16)$$

Burada;

N: Gruptaki toplam kazık sayısıdır.

Sürtünme kazıklarındaki taşıma gücündeki bu azalmayı belirlemede en yaygın kullanılan Converse-Labarre formülüdür.

$$Q_{\text{grup}} = \eta_g \sum_{i=1}^N Q_{\text{güv.}}, \quad \eta_g < 1 \quad (3.17)$$

Burada;

η_g : Grup tesir yüzdesi veya azaltma katsayısıdır.

Dikdörtgen bir kazık grubunda grup tesir yüzdesi Eşitlik (3.18) ile hesaplanır.

$$\eta_g = 1 - \frac{\theta}{90} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn} \right] \quad (3.18)$$

Burada;

θ : $\arctg(d/s)$; (derece),

m: Gruptaki kazık sırası sayısı

n: Bir sıradaki kazık sayısı

s: Komşu iki kazık eksenleri arasındaki uzaklıktır.

3.3.2. Kazıklarda negatif çevre sürtünmesi

Kazık çevresindeki tabakalarda sonradan meydana gelen konsolidasyon oturmaları kazıklara aşağı doğru etki uygulayabilmektedir. Dolayısıyla bu şekilde kazığın çevre alanında aşağı doğru oluşan gerilmeler, negatif çevre veya yan sürtünmesi olarak tanımlanır (Uzuner,2019).

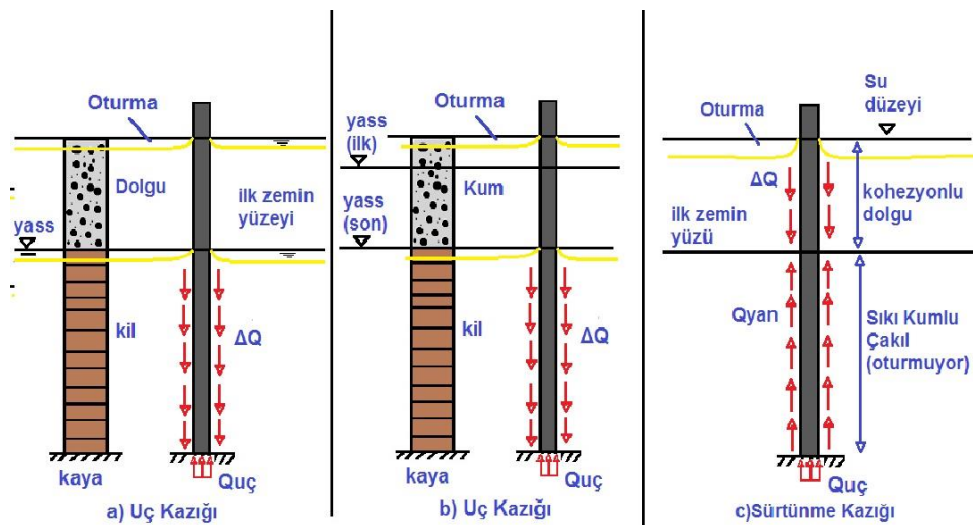
Şekil 3.14a, Şekil 3.14b ve Şekil 3.14c’de görüldüğü üzere, yeni durumdaki kazıkların taşıma gücü, Eşitlik (3.19) ve Eşitlik (3.20) ile hesaplanır.

$$Q_{yeni} = Q_{uç} - \Delta Q \quad (3.19)$$

$$Q_{yeni} = Q_{uç} + Q_{yan} - \Delta Q \quad (3.20)$$

Burada;

ΔQ : Negatif çevre sürtünmesinden dolayı taşıma gücü kaybıdır.



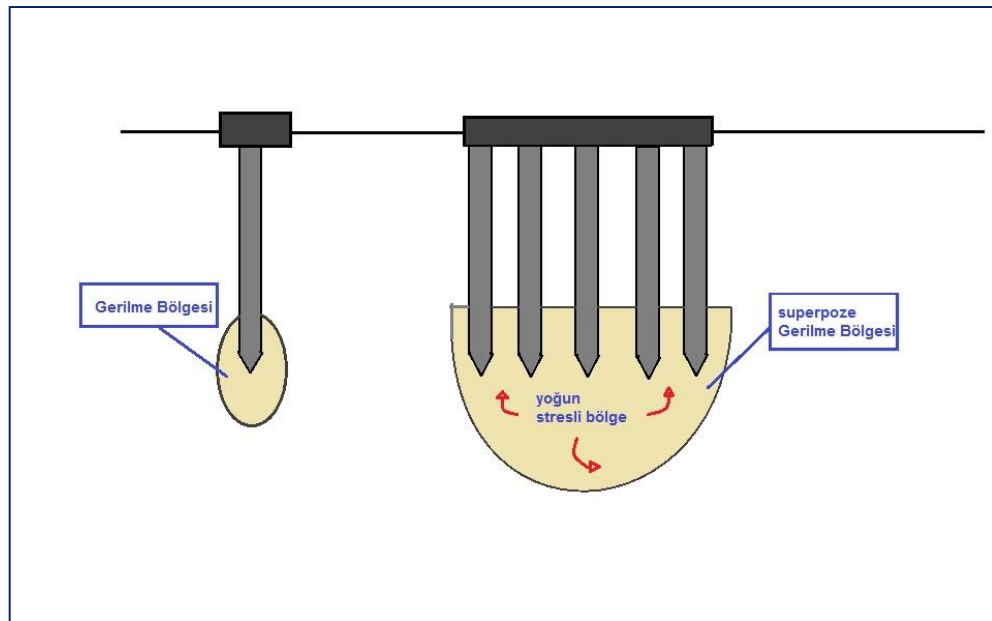
Şekil 3.14. Negatif çevre sürtünmesi (Uzuner, 2019'dan faydalanılarak hazırlanmıştır)

3.4. Kazıklarda Oturma

Sığ temellerde olduğu gibi derin temellerde de iki çeşit göçmeye karşı önlem alınması önem teşkil etmektedir. Bunlardan birincisinde kazıkların taşıma gücünün bilinmesi ve buna yeterli bir güvenlik sayısının uygulanmasına gerek vardır. İkincisinin belirlenmesi biraz daha zor olmakla birlikte, oturmanın hesaplanması için temel altındaki zemin profilinin, zeminin konsolidasyon özelliklerinin ve kazıklardan zemin tabakalarının ne şekilde yük aktarıldığının bilinmesi gereklidir.

3.4.1. Kazık gruplarının oturması

Kazık gruplarında birincil oturmalar sonucunda ortaya çıkan oturma değerleri, kazıkların zemine aktardıkları gerilmeleri ve kazık gruplarına göre çok daha derin bir alana iletmeleri nedeniyle, grubu oluşturan tekil kazıkların oturma değerlerinden fazladır. Burada aktarılan gerilmeden (Şekil 3.15) dolayı süperpozisyon olur ve kazık taşıma kapasitesinde tekil kazıklara göre azalmalar olurken, oturmalarda artışlar olmaktadır (Das, 1999).



Şekil 3.15. Kazık gruplarında oluşan gerilmelerin süperpozisyonu (Tomlinson, 2004'den faydalanılarak hazırlanmıştır)

Kohezyonsuz zeminlerde kazık grubunun oturması, her bir kazığa eşit yükleme yapılması koşulu ile kazık grubunun oturma miktarı (S_g), normal olarak tek kazığın oturma (S_t) miktarından büyüktür. Bunun sebebi kazık grubunun daha derin ve daha büyük bir alana etkimesidir (Şekil 3.16).

Grup oturma miktarının hesaplanmasında en basit yöntem Vesic (1977) tarafından önerilmiştir.

$$S_g = S_t \sqrt{\frac{\bar{b}}{D}} \quad (3.21)$$

Burada;

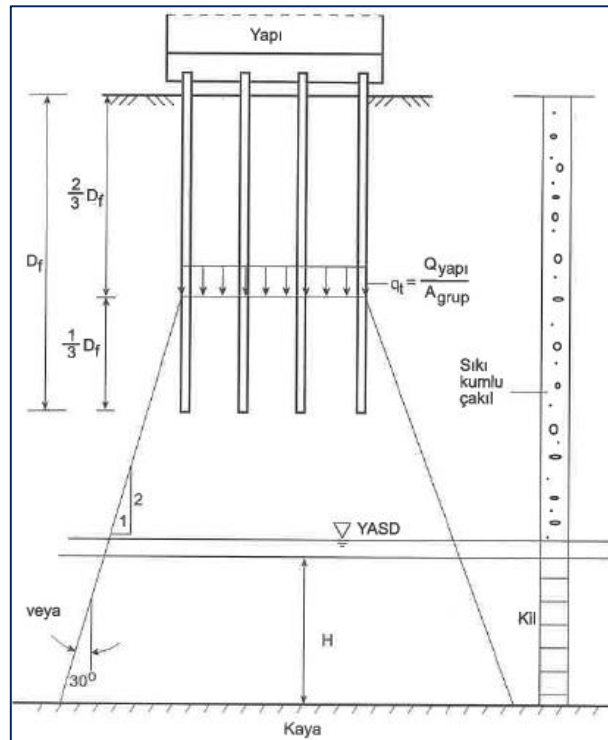
$\bar{b}$: Kazık grubu genişliği,

D: Bireysel kazık çapı,

S_g : Kazık grubunun oturma miktarı,

S_t : Hesaplanmış ya da deney ile belirlenmiş tek kazık oturma miktarıdır.

Kohezyonlu zeminlerdeki kazık grubunun oturmasında ise, üniform yükler altındaki oturma miktarı kesit alan ile doğru orantılıdır. Kazık grubunun kohezyonlu zeminlerdeki oturma hesabı için, elastik oturmanın hesabı gibi elastik oturmanın yanında konsolidasyon oturması hesabı da dikkate alınmalıdır.



Şekil 3.16. Sürtünme kazık grubunda gerilme dağılışı (Uzuner,2019'dan faydalanılarak hazırlanmıştır)

qall, zemin yüzeyinden $2/3L$ derinliğine taşınan zemin basıncıdır. Bu derinlikteki zemindeki oturma ihmal edilecek kadar küçüktür. Bununla birlikte, qall, zemin basıncı ($H-2/3L$) kalınlığındaki kil tabakasının üstüne uygulanmaktadır. Bu kabullere dayanarak (ΔH) konsolidasyon oturması;

$$\Delta H = [C_c / (1 + e_0)] \times [H - 2/3L] \times \log [(\delta_v' + \Delta \delta_v') / \delta_v'] \quad (3.22)$$

Burada;

ΔH : Konsolidasyon oturması,

δ_v' : ($H-2/3L$) tabakasının tam ortasındaki mevcut efektif basınç,

$\Delta \delta_v'$: ($H-2/3L$) tabakasının tam ortasındaki kazık yükü ile artan efektif basınç,

C_c : Konsolidasyon katsayısı,

e_0 :İlk boşluk oranıdır.

3.5. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi, Zeinkiewicz (1977) tarafından matematiksel ifadelerle tanımlanan sürekli sistemlerin genel çözüm yöntemi olarak tarif edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile sürekli bir sistem matematiksel olarak modellenmektedir.

Yöntem, karmaşık ve elle hesaplanması oldukça zaman alan, mühendislik problemlerine kabul edilebilir bir yaklaşımla çözüm arayan bir sayısal çözüm yöntemidir. Bu yöntemin temeli fiziksel bir sistemin matematiksel olarak ifade edilmesine dayanır. Bir başka deyişle, değişik ve karmaşık geometriye sahip sistemler, çok sayıda basit geometriye sahip parçacığa bölünerek bu parçacıkların ayrı ayrı çözülmesi şeklinde analiz edilir. Sonlu elemanlar yöntemi, yükleme sırasında ve nihai durumda deformasyon şekillerini ve gerilme dağılımını belirlemede etkili olduğundan sığ temelleri ve çevreleyen zemin davranışını belirlemek açısından oldukça uygundur (Ornek ve ark., 2012).

3.5.1.PLAXIS sonlu elemanlar programı

PLAXIS, geoteknik mühendisliğinde hem statik hem de dinamik yükler altında olan karmaşık geometriye sahip sistemlerin deformasyon ve stabilite analizinde kullanılan bir programdır. İlk olarak 1987 yılında Hollanda Delft Teknik Üniversitesi tarafından yumuşak zemin üzerindeki nehir dolgularının sonlu elemanlar yöntemi ile kolay bir şekilde analiz edilebilmesi için tasarlanmıştır. Bu program geoteknik mühendisliği projelerinin tasarımında ihtiyaç duyulan, zemin-yapı etkileşimi, gerilme–şekil değiştirme, konsolidasyon, taşıma gücü, akım ağı, zemin dinamiği konularında ve malzeme farklılığı olan durumlarda kullanılabilmektedir. Özellikle PLAXIS ile yapılan analizlerde; tabakalı zemin ve karmaşık geometriye sahip sistemler ile farklı yönlerde yapılan yüklemeler, statik boşluk suyu basınçları hesaplanabilmektedir (Plaxis, 2012a).

PLAXIS programı, veri girişi ve modellemenin yapıldığı (input), hesaplamaları yapan (calculation), elde edilen sonuçların ve dokümanların elde edildiği çıkış (output) ve sonuçlara dair grafiklerin çizildiği (curve) modülü olmak üzere dört arayüzden oluşmaktadır. PLAXIS programında kullanılan zemin davranışı yaklaşımları Lineer elastik model (Lineer elastik model), Mohr-Coulomb zemin modeli, Hardening soil model (Pekleşen zemin modeli) dir (Plaxis,2012b).

3.5.1.1. Lineer elastik model (Lineer elastik model) (LE)

Bu yaklaşım izotropik lineer elastik malzemelerin davranışlarının Hooke kanununa uygunluğu esasına dayanır. Zeminin davranışını belirleyen parametreler elastisite modülü ve Poisson oranıdır. Genellikle zemin içerisindeki rijit yapıların modellenmesi için kullanılır (Plaxis,2012b).

3.5.1.2. Hardening soil model (Pekleşen zemin modeli) (HS)

Bu yaklaşım sürtünme sertleşmesi plastisitesi formülü çerçevesinde oluşturulmuş hiperbolik ve elastoplastik bir modeldir. Hardening soil modeli (HS), Schanz (1998) ve Schanz ve ark. (1999) tarafından geliştirilmiştir. Bu model temel basınç altında kalıcı kompaksiyonun ifade edilmesi için basınç sertleşmesini de içerir. Bu ikinci dereceden model kum, çakıl davranışını yansıtabildiği gibi aşırı konsolide kil ve silt gibi daha yumuşak zeminlerinde davranışını yansıtır (Plaxis,2012b).

3.5.1.3. Mohr-Coulomb model (MC)

Bu yaklaşım zemin davranışının modellenmesinde en sık kullanılan zemin davranışı yaklaşımlarından biridir. Bununla birlikte, Mohr-Coulomb (MC) modeli oldukça basit ve iyi bilinen bir doğrusal elastik-tam plastik modeldir. Mohr-Coulomb (MC) modelinin doğrusal elastik kısmı Hooke yasasına dayanmaktadır. Plastik kısım ise Mohr-Coulomb yenilme kriterine dayanmaktadır (Plaxis,2012b).

Elastik-tam plastik malzemenin temel ilkesi yük altındaki şekil değiştirmenin (Şekil 3.17) elastik ve plastik olmak üzere iki kısma ayrılmasıdır.

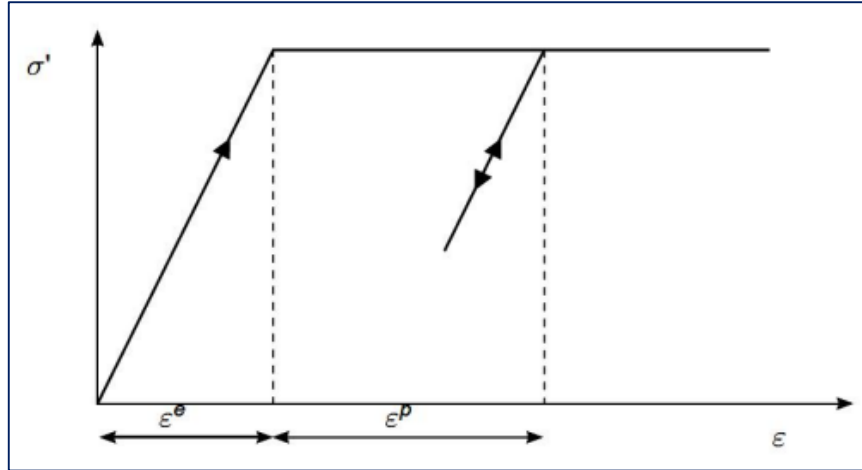
$$\epsilon = \epsilon_e + \epsilon_p \quad (3.23)$$

Burada

ϵ : Toplam deformasyon (m)

ϵ_e : Elastik deformasyon (m)

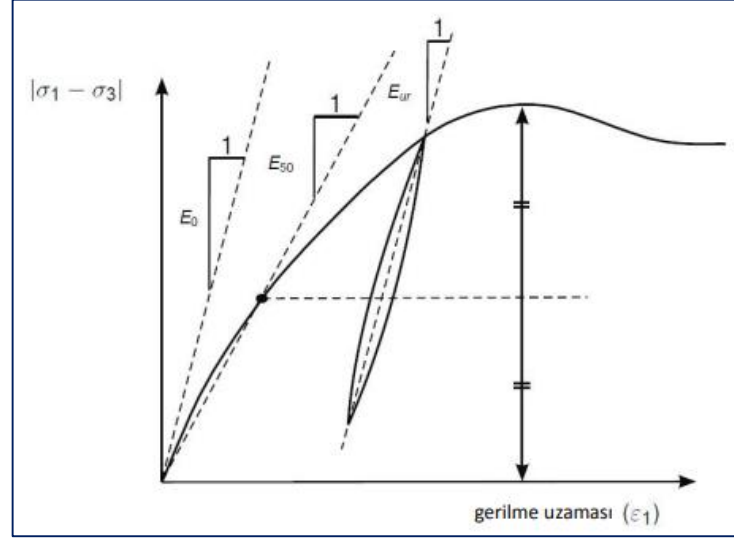
ϵ_p : Plastik deformasyondur.



Şekil 3.17. Elastik- tam plastik malzeme modelinin gerilme etkisiyle şekil değişimi (Plaxis 2011 2D Material Models Manual)

Mohr-Coulomb (MC) modeli, beş giriş parametresi içerir. Bunlar Bunlar (E) elastisite modülü, (ν) Poisson oranı, (φ) Kayma mukavemeti açısı, (c) kohezyon ve (ψ) dilatasyon açısıdır (Plaxis, 2012b).

Elastisite Modülü (E) : Mohr-Coulomb (MC) modelinde temel rijitlik modülü olarak kullanılır. Birçok zeminin daha yükleme başlangıcından itibaren doğrusal olmayan bir davranış göstermesi sebebiyle elastisite modülünün seçimine dikkat edilmelidir. Şekil 3.18’de görülebileceği gibi genel olarak zemin numunelerinin üç eksenli deneylerinde gerilme-şekil değiştirme eğrisinin başlangıç eğimi E_0 olarak, % 50 mukavemetteki eğimi ise E_{50} olarak gösterilir.



Şekil 3.18.Tipik bir zemin numunesinin üç eksenli deney sırasındaki gerilme-şekil değiştirme eğrisi (Plaxis 2011 2D Material Models Manual)

3.5.2. SAP2000 sonlu elemanlar programı

SAP2000, her türlü yapı sisteminin tasarım ve analizi için kullanılan bir inşaat mühendisliği programıdır. “Structural Analysis Program” sözcüğünün baş harflerinin birleştirilmesiyle oluşan SAP sözcüğü, “Yapısal Analiz Programı” anlamına gelmektedir. SAP2000 kullanarak iki boyutludan üç boyutluya, basit geometriden kompleks geometriye pek çok yapı modellenebilir, analizi yapılabilir ve optimize edilebilir. Nesne tabanlı bir modelleme ortamı sunan SAP2000, bu özelliğiyle mühendislik süreçlerini hızlandırır. Bununla birlikte, SAP2000 programı ile birlikte gelen SAPFire Analysis Engine adlı modül sayesinde detaylı sonlu eleman analizi yapılabilir. Finite Element Analysis adı verilen bu yöntem sayesinde karmaşık geometriler sonlu sayıda elemana bölünerek her birinin ayrı ayrı gerilme analizi yapılır, ardından çıkan sonuçlar birleştirilerek tek bir seferde gerilme analizinin mümkün olmadığı parçaların analizinin doğru bir şekilde yapılması sağlanır Computer and Structures, Inc. (CSI) (2006).

SAP2000, her türlü yapı sisteminin modellenip analiz edildiği bir paket programıdır. Bu program genelde üst yapılarda (betonarme statik, çelik statik, hiper statik, prefabrik vb) yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak son yıllarda bu programın özellikle yeni versiyonların da zeminin modellenmesi analizleri de yapılmaktadır. Dolayısıyla, SAP2000 programı yeni versiyonlarında kullanıcılarına, zemin profili oluşturmak amacıyla, programa girilen zemin parametreleri ile zeminde meydana gelebilecek deformasyonları ve gerilmeleri de görme imkanı tanımıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan ve zeminin iki ve üç boyutlu olarak modellenemediği deformasyon ve stabilite analizleri yapabilen programlar olan olan PLAXIS 2D, PLAXIS Foundation 3D ve SAP2000 bilgisayar yazılımları kullanılarak modeller oluşturulmuş ve elde ettiğimiz sonuçlara göre zemin tabakaları ve kazık gruplarında meydana gelen deformasyon ve gerilme değerleri hesaplanmıştır. Bununla birlikte, çalışma sahasındaki zeminde meydana gelebilecek muhtemel problemlerin değerlendirilmesi amacıyla, arazi deneylerinin dışında bu bilgisayar yazılımları ile modeller oluşturulmuş ve yorumlanmıştır.

Zemin etüt raporu, statik proje ve mimari proje eklerinden alınan değerlere göre kullanılan programlar ile modeller oluşturulmuş olup bir destek yöntemi olan fore kazık kullanılarak analizler yapılmıştır. Öncelikle zemin etüt raporu, statik proje, mimari proje ve plankoteye göre zemin profili oluşturulmuş, daha sonra yapılacak olan bitişik nizam 2 bloklu yapı kademeli olarak programda modellenmiştir. 2 farklı zemin katmanının değerleri girilmiş ve statik projeden alınan gerçek bina yükleri ile modelde yayılı yük olarak girişi yapılmıştır.

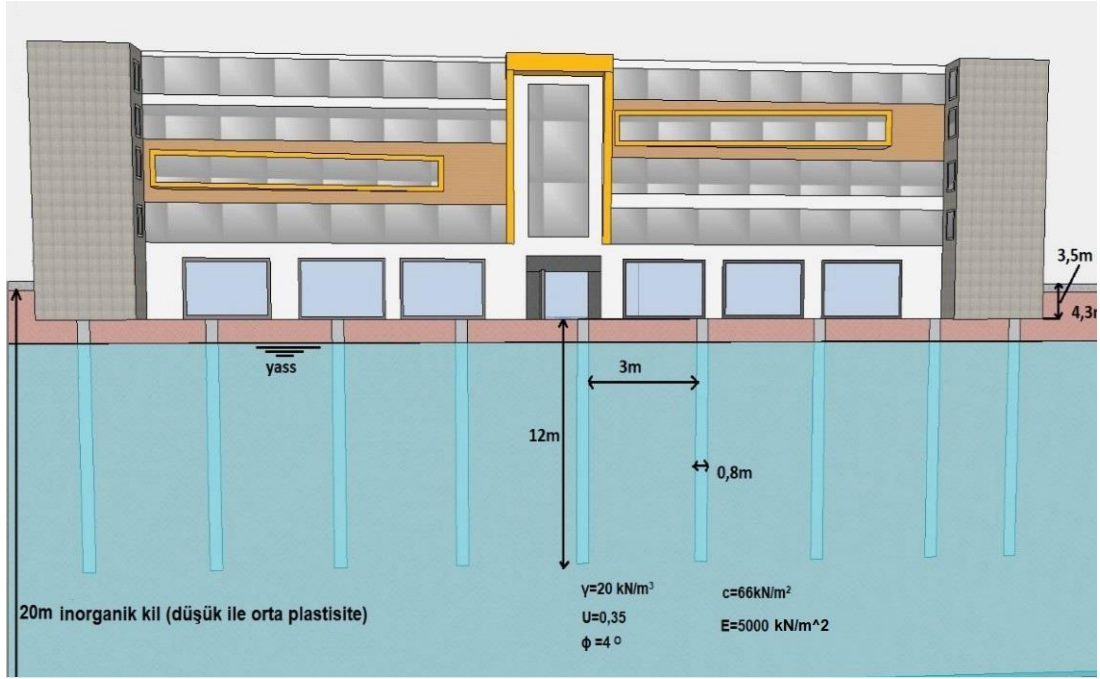
Bununla birlikte, yapı yüklerinin sürtünme direnci ve uç direnç tarafından taşındığı zemin güçlendirme yöntemlerinden olan kazıklı temellerin deformasyonlar üzerindeki etkileri değerlendirilerek yorumlanmıştır.

4.1. Geoteknik Değerlendirme

Bu çalışma kapsamında zemin araştırmalarının yapıldığı bölge, Batman İli, Bahçelievler mahallesi sınırları içerisinde. İnceleme alanında bina oturum alanı yaklaşık 1914 m² olmakla birlikte bina yüksekliği toplamda 15,50 m olan 5 katlı bir yapı inşa edilecektir.

Çalışma alanında blok altına gelecek şekilde, 5 adet 20 m ve 1 adet 30 metre olmak üzere toplam 130 m zemin araştırma sondajları açılarak, zeminlerin cinsi ve tabaka durumları belirlenmiştir. Sondajlar sırasında yeraltı suyuna yüzeyden 4,30 metre seviyesinde rastlanılmıştır. İnceleme alanında yapılan araştırmalar ve temel sondaj kuyularından elde edilen sonuçlara göre, zemin birimleri; 0,00-0,50 arası dolgu malzeme,

0,50-20,00 m arası inorganik killer (düşük ile orta plastisitede), çakıllı kil, kumlu kil, siltli kil tabakası olarak belirlenmiştir. Çalışma sahasında yapılan zemin etüt araştırmalarında, yerel zemin sınıfı ZE olarak belirlenmiştir. Sahanın ortalama Standart Penetrasyon Test (SPT) (N_{60}) direnci 14,52 değerinde hesaplanmıştır. Bu veriler doğrultusunda siltli kil birimin kıvamı ‘çok katı’ olarak değerlendirilmiştir. Hesaplamalar için idealize edilmiş zemin profili Şekil 4.1’de görülmektedir.

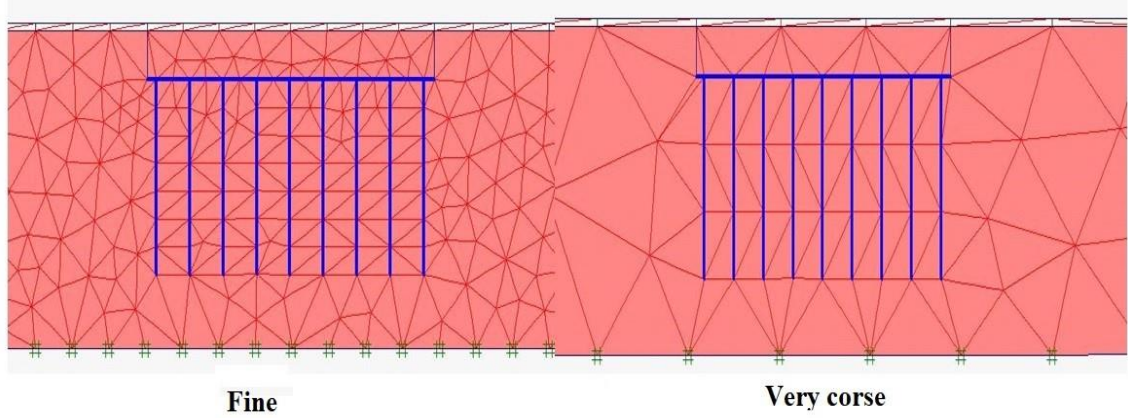


Şekil 4.1. Çalışma sahası ideal zemin profili

4.2. Modellerde Kullanılan Malzemelere Ait Özellikler

Çalışmada model geometrileri oluşturulup, malzeme özellikleri ve yüklemeler tanımlandıktan sonra, zemin iki boyutlu (2D mesh) olarak sonlu eleman ağına bölünmüştür. Program tarafından üçgensel (15-düğüm noktalı) olarak oluşturulan sonlu eleman ağı, modelde yer alan çizgi ve noktaları göz önünde bulundurmaktadır. Daha sonra modelin üç boyutlu (3D mesh) sonlu eleman ağı oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan PLAXIS 3D Foundation paket programında beş adet sonlu eleman ağı sıklığı (mesh) bulunmaktadır. Bunlar çok kaba (very coarse), kaba (coarse), orta (medium), hassas (fine), çok hassas (very fine) olarak adlandırılmıştır (Şekil 4.2). Bu sıklık derecelerinden hangisinin kullanılacağını belirlemek için radye temel modelinde 4 adet çözüm yapılmış ve modellerde orta (medium) sıklık derecesindeki sonlu eleman ağı tercih edilmiştir. Bununla birlikte, mesh (sonlu elemanlar ağı) işlemi yaparken ağ sıklığı çözümlemelerde önemli etkenlerden biridir. Detaylı çözümlemeler için medium, fine, very

fine gibi ağ sıklığı yüksek olan seçeneklerde çözümleme yapmak çözümlemede daha faydalı olabilir. Özellikle sondaj derinliği, elastisite (E), kohezyon (c), poisson oranı gibi değerlerin programa doğru aktarılması sonuçların doğruluğu açısından önemlidir.



Şekil 4.2. PLAXIS 2D programında mesh (sonlu elemanlar ağı) işlemi yaparken ağ sıklığı çözümlemelerinde kullanılan fine, very coarse ağ sıklığı gösterimi

PLAXIS programında farklı derinliklerde 2 adet tabaka kullanılarak modeller oluşturulmuştur. Modellerde kullanılan zemin, temel, kazık ve yük parametrelerinin özellikleri Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’de verilmiştir. Malzeme modeli olarak ise “Mohr-Coulomb” modeli seçilmiştir.

Çizelge 4.1. PLAXIS programında kullanılan modellemeye ait zemin parametrelerin özellikleri

Parametreler	Değerler
İçsel sürtünme açısı (ϕ°)	4
Birim hacim ağırlığı (γ) (kN/m ³)	20
Kohezyon (c) (kN/m ²)	66
Yük (N) (kN/m ²)	120
Poisson oranı (ν)	0,35
Elastisite modülü (E) (kN/m ²)	5000

Çizelge 4.2. PLAXIS programında kullanılan modellemeye ait temel parametrelerin özellikleri

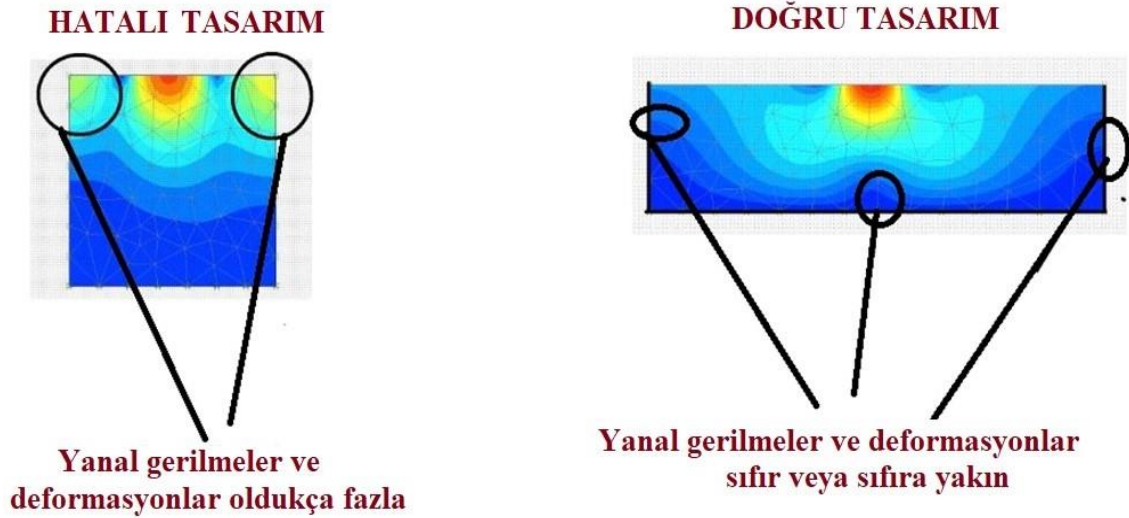
Parametreler	Değerler
Radye temel kalınlığı (m)	0,8
Temel genişliği (m)	25,73
Temel Derinliği (m)	3,5
EA (Eksenel rijitlik) (Axial stiffness)	658,69 x10 ⁶ kN/m
EI (Eğilme rijitliği) (Bending stiffness)	35,13x 10 ⁶ kNm ² /m

Çizelge 4.3. PLAXIS programında kullanılan modellemeye ait kazık ve yük parametrelerinin özellikleri

Parametreler	Değerler
Kazık çapı (m)	0.8
Kazık boyu (m)	12
Malzeme özelliği	Elastik
EA (Eksenel rijitlik) (Axial stiffness)	$307,2 \times 10^6$ kN/m
EI (Eğilme rijitliği) (Bending stiffness)	$163,8 \times 10^5$ kNm ² /m
Aşağı yönde (y) Yük	120 kN/m ²

4.3. PLAXIS Programında Model Oluşturma ve Statik Analiz Uygulaması

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte mühendislik projeleri bilgisayar ortamında modellenerek daha doğru ve hızlı sonuçlar elde edilmeye başlanmıştır ancak bu verilerin elde edilmesi kadar bilgisayara doğru bir şekilde aktarılması da büyük önem arz etmektedir. Dolayısıyla PLAXIS 2D programının kullanımında tanımlanan, zemin sınırı yapı yükleri, zemin tipi ve temel derinliği gibi etkiler dikkate alınmalıdır. Şekil 4.3’de görüldüğü üzere zemin sınırı az tanımlandığında yanal deformasyonlar yüksek olacağından hatalı sonuçlar elde edilebilir.



Şekil 4.3. PLAXIS 2D kullanımında hatalı ve doğru tasarım gösterimleri

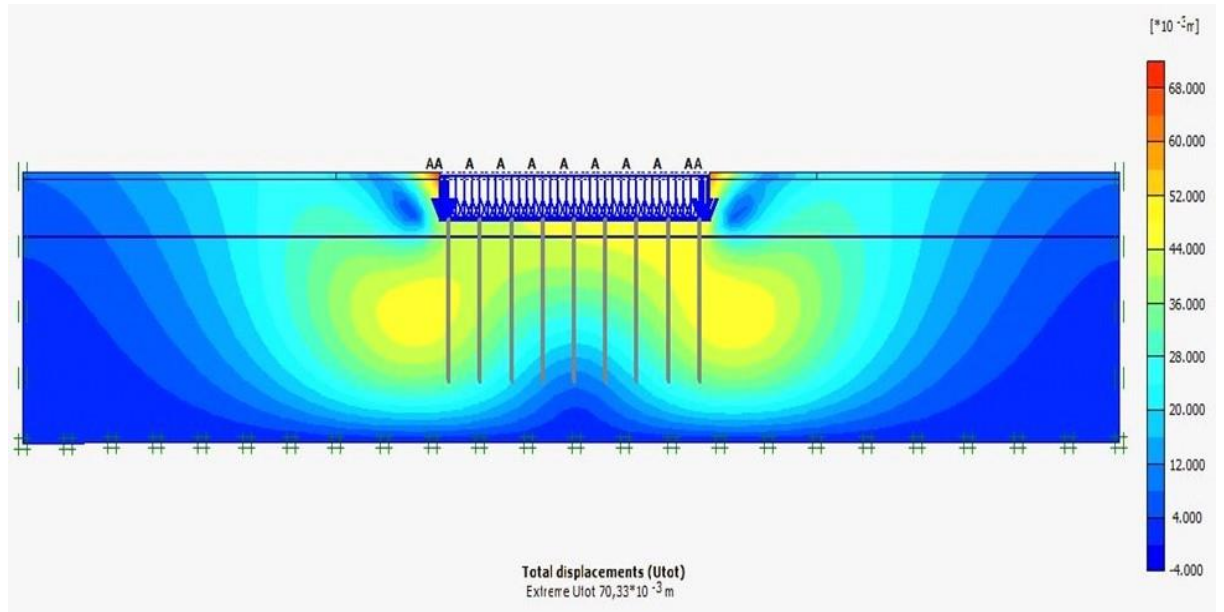
4.4. Kazıklı Modellemede Statik Analiz-2D

İnceleme alanındaki zeminde yaşanabilecek olası problemlerin değerlendirilmesi amacıyla, arazi deneylerinin dışında geoteknik bir program olan PLAXIS bilgisayar

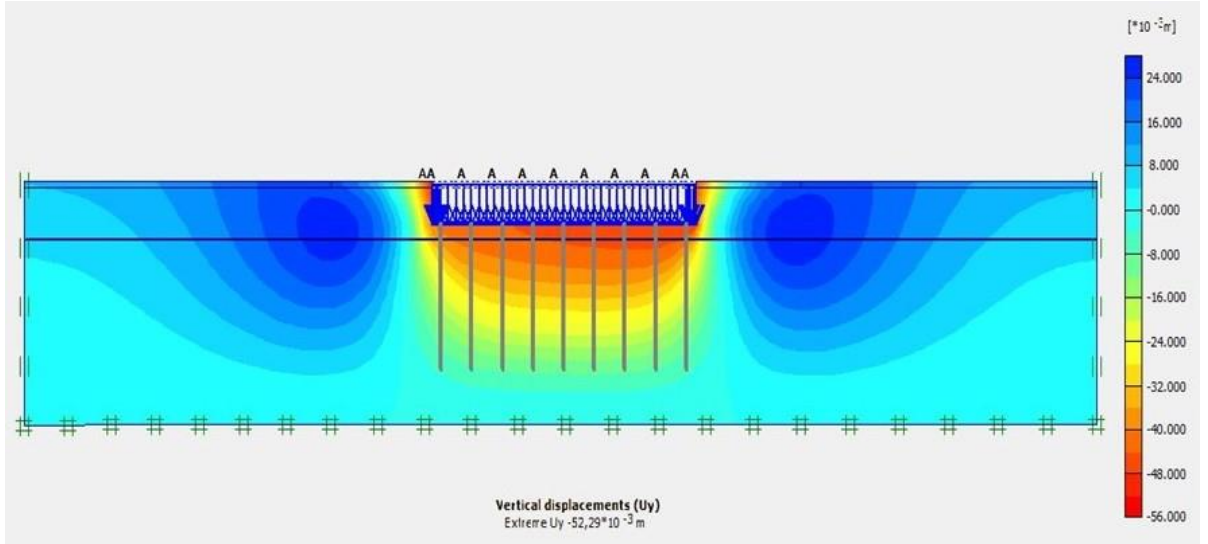
yazılımı ile modeller oluşturulmuş ve yorumlanmıştır. PLAXIS programı ile statik yükler durumuna göre, drenaj koşullarında, 2D (İki boyutlu) modellemeler yapılmıştır.

4.4.1. PLAXIS 2D programı ile iyileştirme öncesi yapılan analizler

Derin kazı analizinde Mohr Coulomb malzeme modeli kullanılarak yapılan analiz sonucunda referans değerlere göre hesaplanan toplam deplasman değeri $70,33 \times 10^{-3}$ m ve düşey deplasman değeri ise $52,29 \times 10^{-3}$ m olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de PLAXIS 2D bilgisayar yazılımı ile yapılan analiz sonucu elde edilen deplasman vektörleri görülmektedir. Toplam deformasyonlar’a bakıldığında, yatay yer değiştirmelerin temelin kenarlarında meydana geldiği görülmektedir. Bununla birlikte, bu deformasyonların sadece temel altında olmayıp, temel çevresinde de yoğunlaştığı ve temel çevresinden uzaklaştıkça da azaldığı tespit edilmiştir. Kazıkların pasif olduğu yüklerin radye temel tarafından zemine aktarıldığı durum ile 12 metre fore kazıklar kullanarak zemine aktarıldığı durum kıyaslandığında, kazıklı temellerde yaklaşık olarak 3 cm daha az oturma meydana geldiği Şekil 4.6’da görülmektedir.

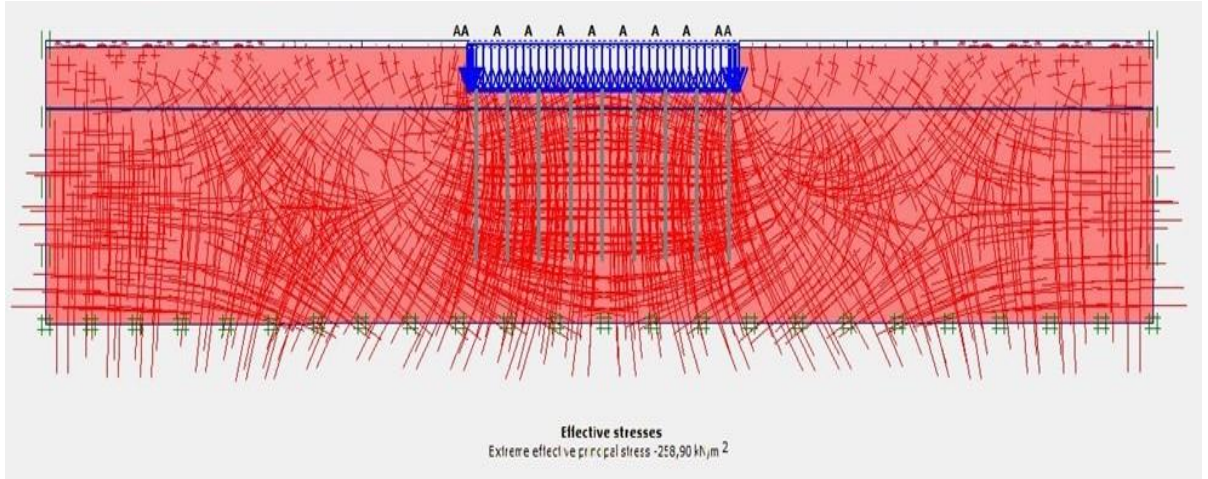


Şekil 4.4. Toplam deplasman vektörleri



Şekil 4.5. Düşey deplasman vektörleri

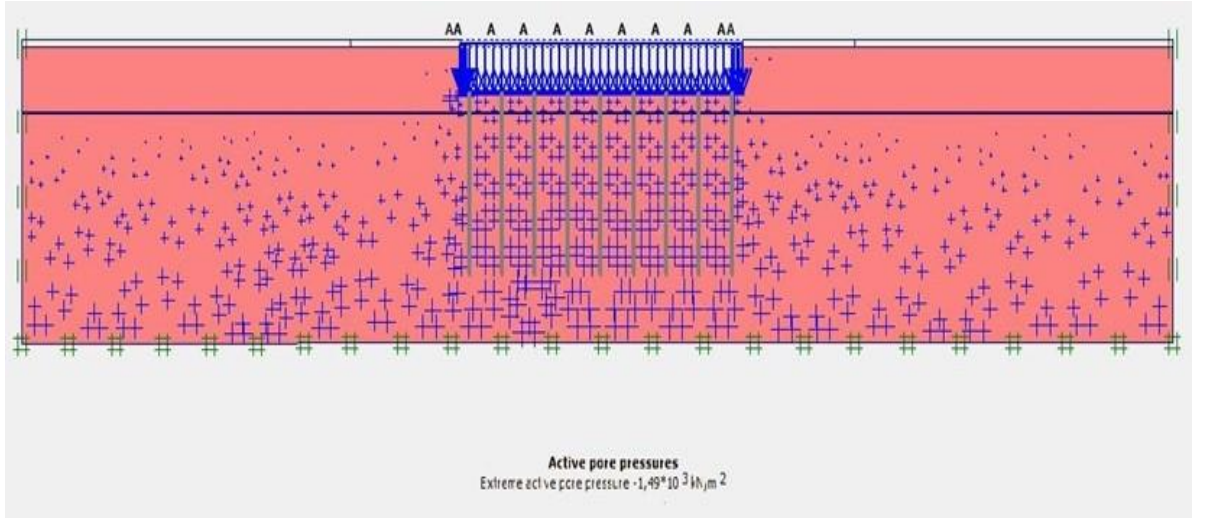
İyileştirme öncesi kazıkların pasif olduğu durumda derinlik artıkça gerilmeler (Şekil 4.6) azaldığından meydana gelen deformasyonlarda azalmaktadır. Şekil 4.6’da görüldüğü üzere, maximum deformasyonlar yoğun olarak radye temel altında oluşmuştur.



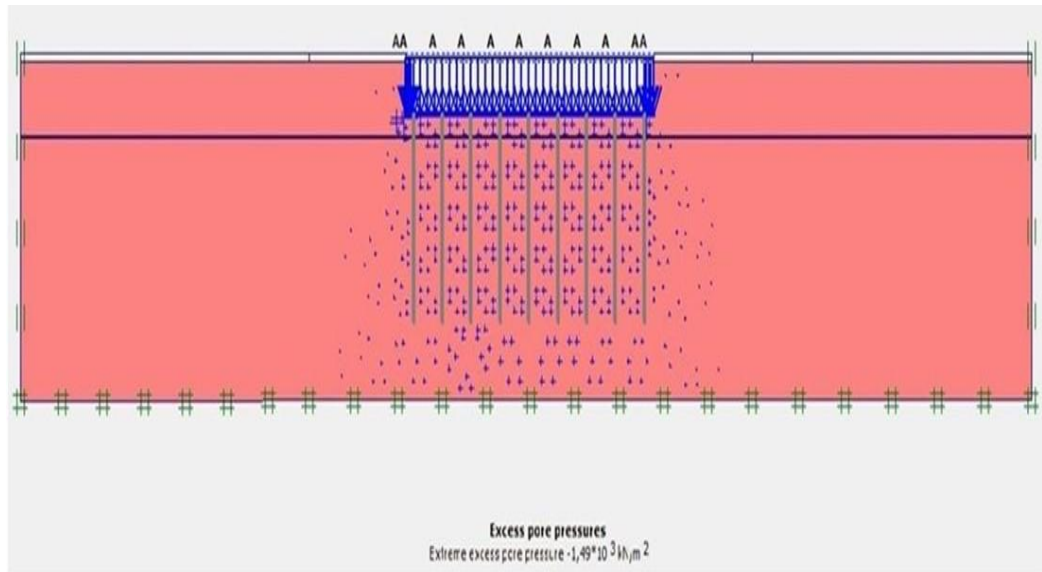
Şekil 4.6. Efektif gerilmeler

Yapılan analizlerde boşluk suyu basıncı $1.49 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$ olmakla birlikte, yeraltı suyu seviyesinden başlayarak doğrusal olarak artmaktadır (Şekil 4.7). Kapiler bölgedeki su çekme gerilmeleri nedeniyle, negatif gerilme altındadır. -4,3 m yeraltı su seviyesinde 12 m boyunda kazıklı radye temel uygulanan model zeminde meydana gelen toplam deplasman 4,36 cm dir. Yeraltı su seviyesinin düşmesi, deplasman değerlerinin

azalmasını sağladığından, yeraltı su seviyesinin olduğu yerlerde deplasman değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4.7 ve Şekil 4.8).



Şekil 4.7. Aktif boşluk suyu basıncı

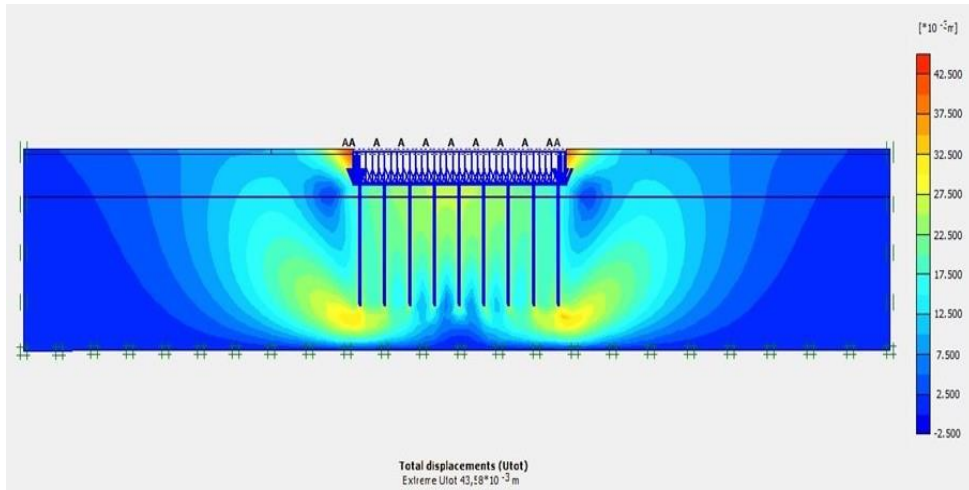


Şekil 4.8. Aşırı boşluk suyu basıncı

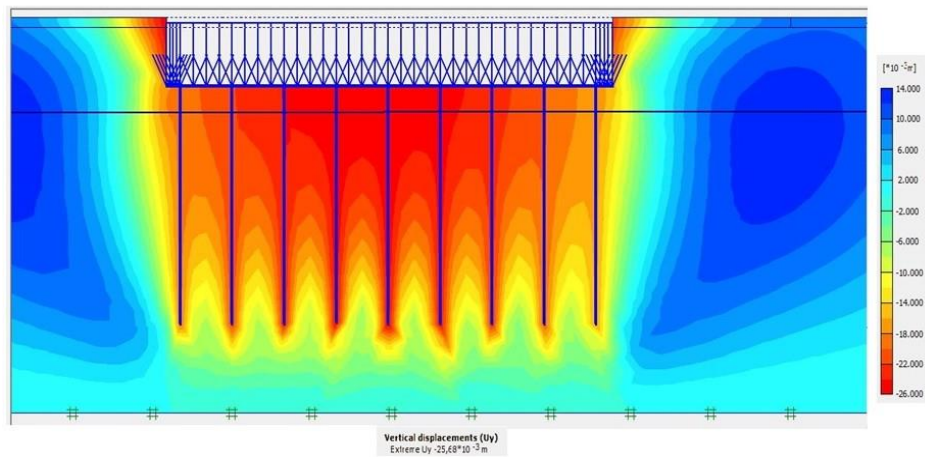
4.4.2. PLAXIS 2D programı ile iyileştirme sonrası yapılan analizler

Genel olarak teorik hesaplamalarda, kazıklara gelen yüklerin eşit olduğu varsayılarak projelendirme yapılır. Ancak son yıllarda kazık ve üst yapının birlikte projelendirilerek bilgisayar programları ile hesaplanmaya başlanması kenar kazıklara yüklemelerin fazla olmasına paralel olarak deformasyonlar da yüksek derecelerde olabilmektedir.

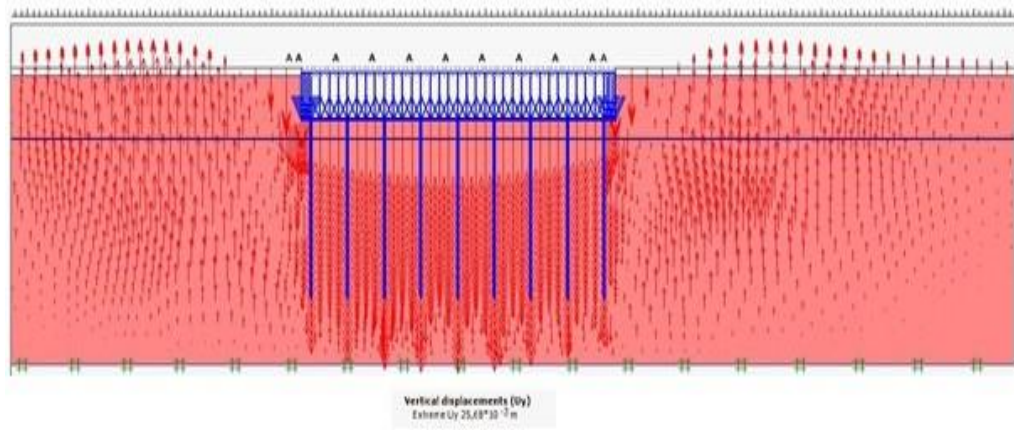
Çalışma sahasında PLAXIS 2D programı kullanılarak iyileştirme sonrasında yapılan analizlerde; hesaplanan toplam deplasman değeri $43,48 \times 10^{-3}$ m ve düşey deplasman değeri ise $25,68 \times 10^{-3}$ m olarak olmakla birlikte kenar kazıklarda deformasyonun daha fazla olduğu net bir şekilde görülmektedir (Şekil 4.9 ve Şekil 4.10). İyileştirme sonrası düşey yer değiştirme incelendiğinde, yapı yükleri kazık çevresi ve kazık uçları tarafından taşındığından maksimum oturmanın da kazık çevresi ve kazık uçlarında meydana geldiği görülmektedir (Şekil 4.10 ve Şekil 4.11). Bununla birlikte, yapı yüklerinden kaynaklı temel altındaki zeminde sıkışma meydana gelirken temel çevresindeki zeminlerde ise kısmen kabarmanın olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.9. Toplam deplasman

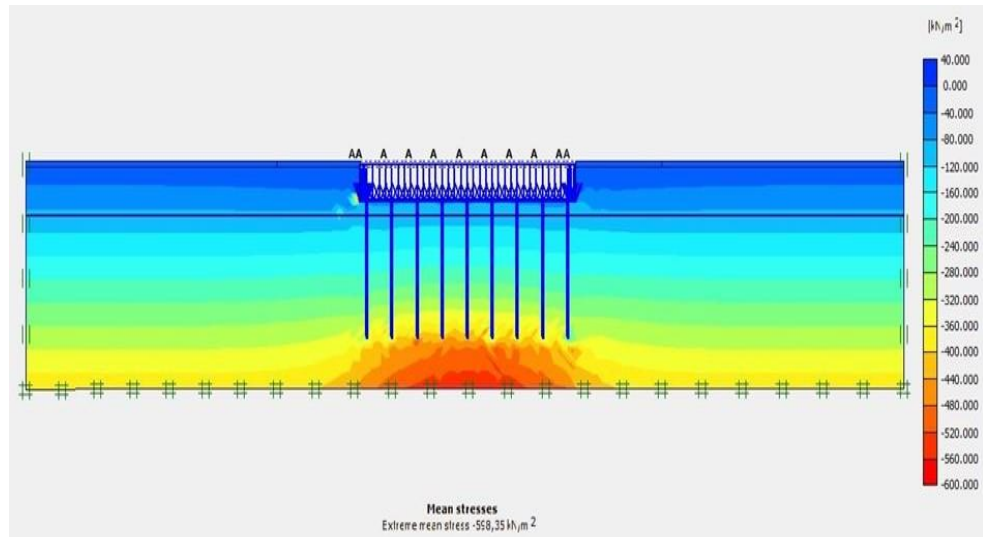


Şekil 4.10. Düşey deplasman (Uy)

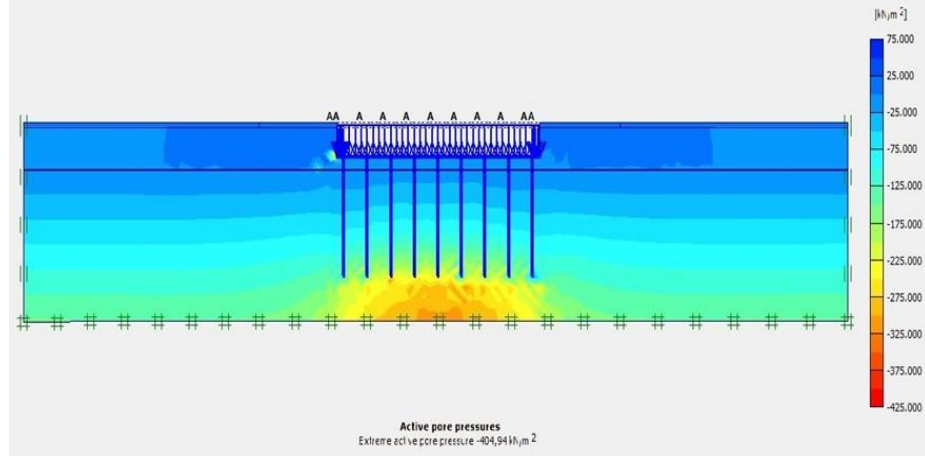


Şekil 4.11. Düşey yer değiştirme

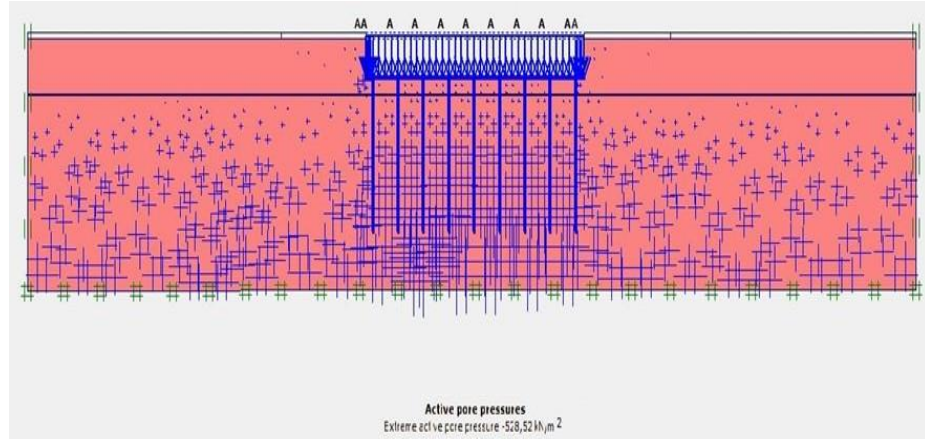
Şekil 4.12’de görüldüğü üzere ortalama gerilmeler derinliğe bağlı olarak artış göstermekte olmakla birlikte, özellikle orta noktalarda yoğunluk göstermektedir. Boşluk suyu basıncı yeraltı su seviyesinden başlayıp derinliğe bağlı olarak artmaktadır. Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de, aktif boşluk suyu basınç modelleri verilmiştir. Aktif boşluk suyu basıncı değeri $404,94 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.12. Relative shear stresses

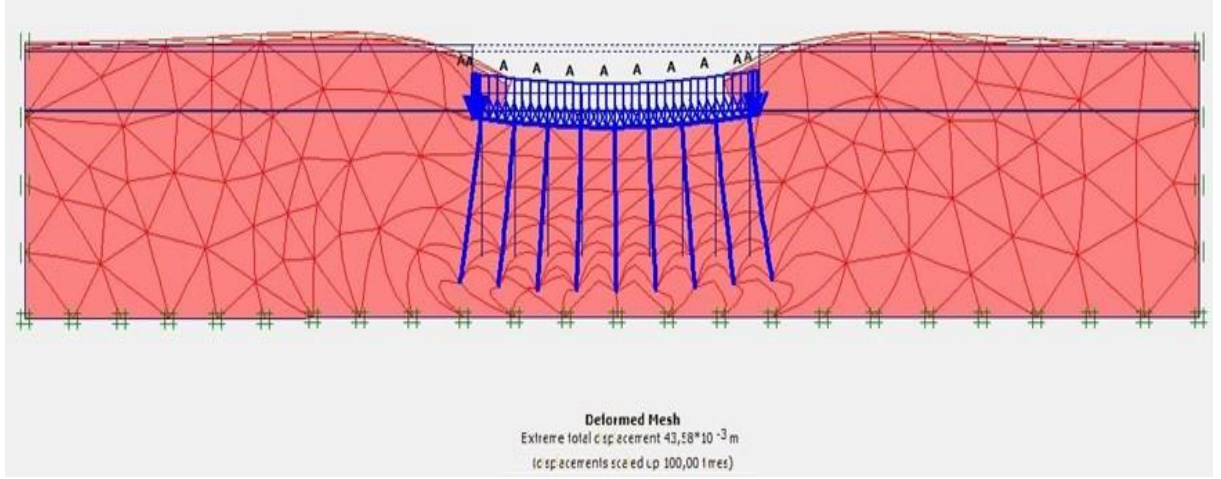


Şekil 4.13. Aktif boşluk suyu basıncı



Şekil 4.14. Aktif boşluk suyu basıncı

Kazıklar da yükleme sonucu yatay ve düşey deformasyonlar meydana gelebilmektedir. Kazıkların yapı yükleri altında yerçekimi yönünde temel dışına doğru hareketi de açıkça Şekil 4.15’de görülmektedir. Kazıklar ve temelde meydana gelen deformasyonların daha iyi görülmesi için program tarafından 100 kat abartılarak gösterilmiştir.



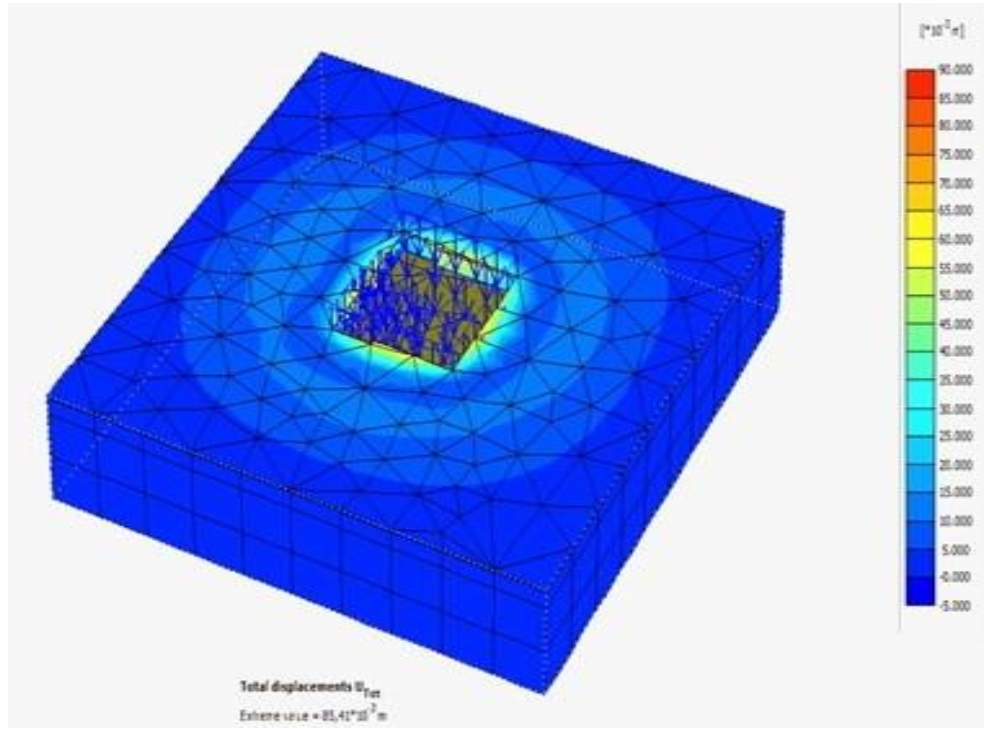
Şekil 4.15. Aşırı toplam deplasman

4.5. Kazıklı Modellemede Statik Analiz-3D

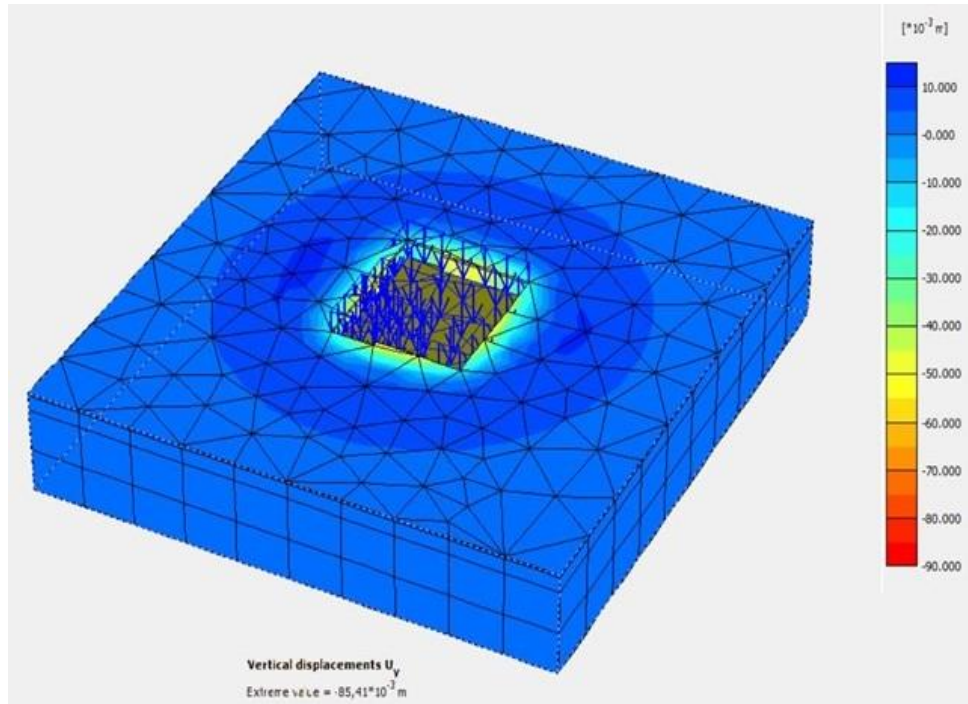
PLAXIS programı ile statik yükler durumuna göre, drenaj koşullarında, 3D (Üç boyutlu) modellemeler yapılmıştır. PLAXIS 3D programı modelleme çalışmasında, tesfiye kotu 0 metre, temel kotu /kazık başlangıç kotu -3,5 metre, kazık bitiş kotu -15,5 metre ve sondaj derinliği/ kil zemin kotu 20 metre olmak üzere 4 adet kot belirlenmiştir. Projede 90 adet kazık modellenmiştir. Kazık sayısının fazla olması ve nesnelerin yakın olması sebebiyle fine, very fine (sıkı sonlu elemanlar ağı) gibi daha detaylı çözümleme seçeneklerinde hata verdiğinden medium seçeneği ile çözümleme yapılmıştır. Bununla birlikte, projede kazık sayısının fazla olması ve nesnelerin yakın olması programda çeşitli hatalara sebep olduğundan kazık merkezlerin birleştirilmesiyle bu sorunlar giderilmiştir. PLAXIS 2D olduğu gibi yanal deformasyonlar 0 veya 0'a yakın olacak şekilde zemin alanı tanımlanmıştır. Kazı ve inşaat fazı, yükleme fazı olmak üzere iki adet faz oluşturularak hesaplamalar yapılmıştır.

4.5.1. PLAXIS 3D programı ile iyileştirme öncesi yapılan analizler

Projemizde yapı ağırlığı radye temel üzerine aktararak oturma değerleri hesaplanmıştır. İyileştirme öncesi yapı yüklerinin radye temele aktarıldığı durumda zeminde 8,5 cm değerinde deformasyonlar meydana gelmiştir. Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de görüldüğü üzere, meydana gelen toplam deformasyon miktarı, yatay ve düşey deformasyonların toplamı olmakla birlikte yaklaşık 8,5 cm'dir.



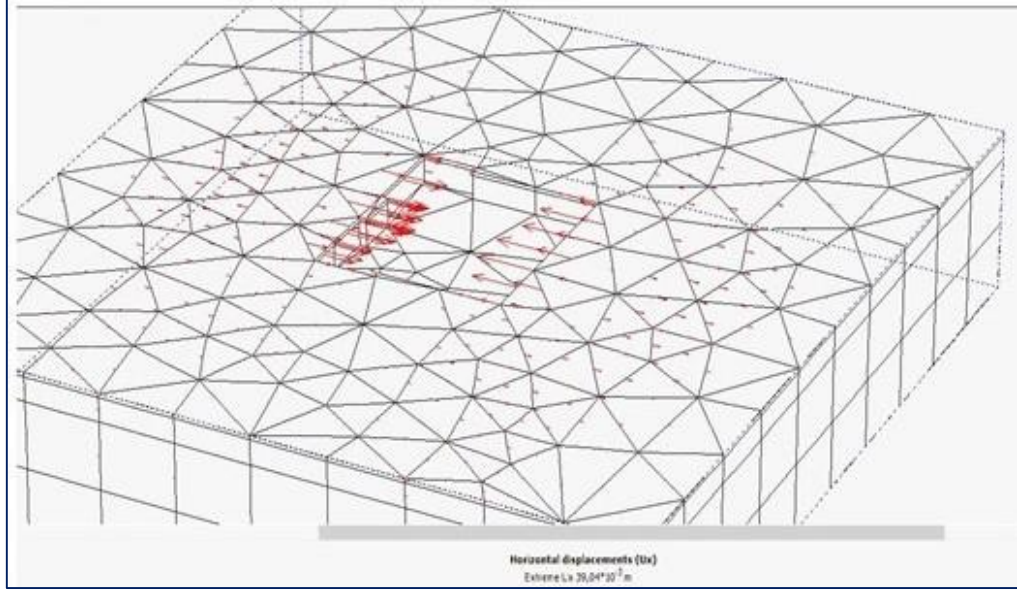
Şekil 4.16. Toplam yer değiştirme



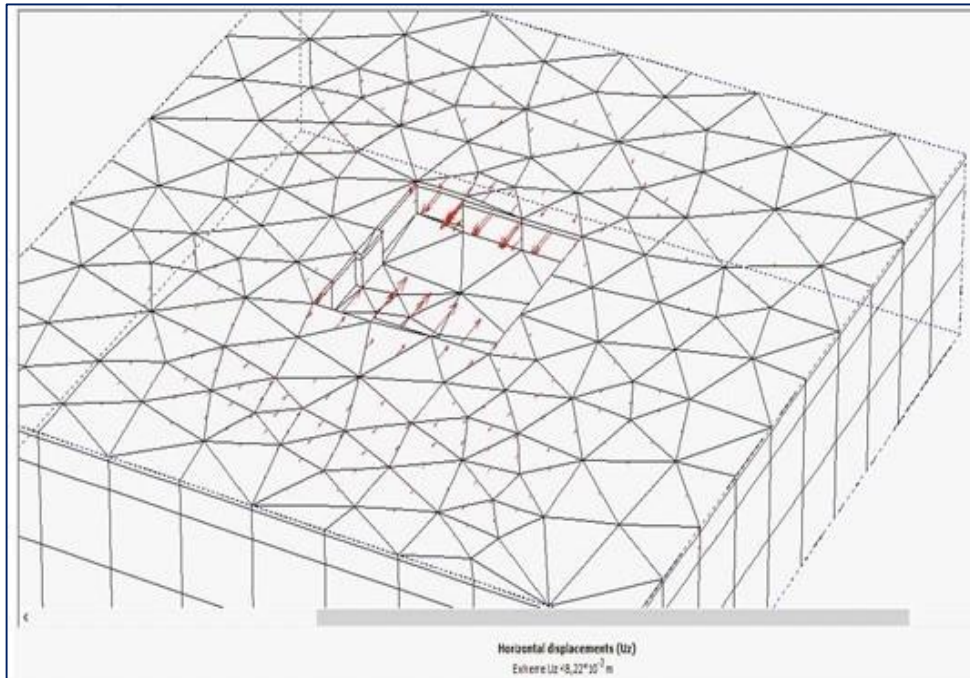
Şekil 4.17. Düşey yer değiştirme

Şekil 4.18 ve Şekil 4.19 incelendiğinde (x ve z) yönündeki deformasyonlarda temel ve çevresindeki zeminde deformasyon içe doğru iken, temel dışındaki zeminde ise

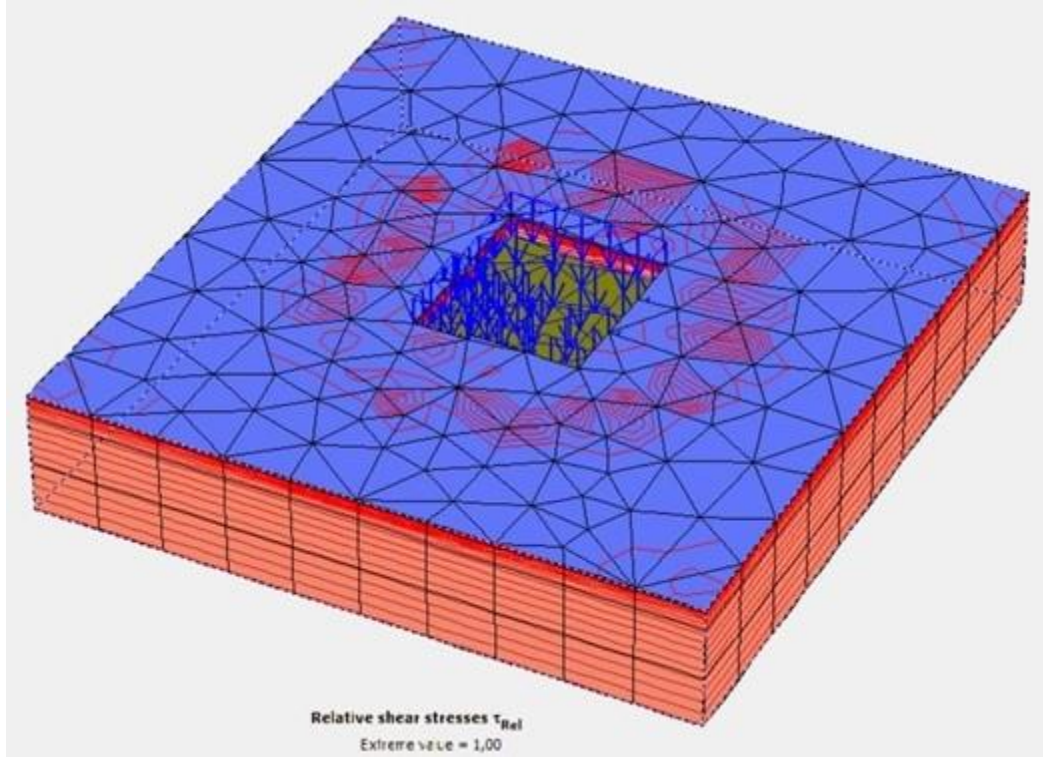
dışa doğru deforme olmaktadır. Dolayısıyla temel altındaki zeminin yükleme altında sıkıştığı diğer bölgedeki zeminin ise yukarı doğru kısmen kabarmadığı görülmektedir (Şekil 4.20 ve Şekil 4.21).



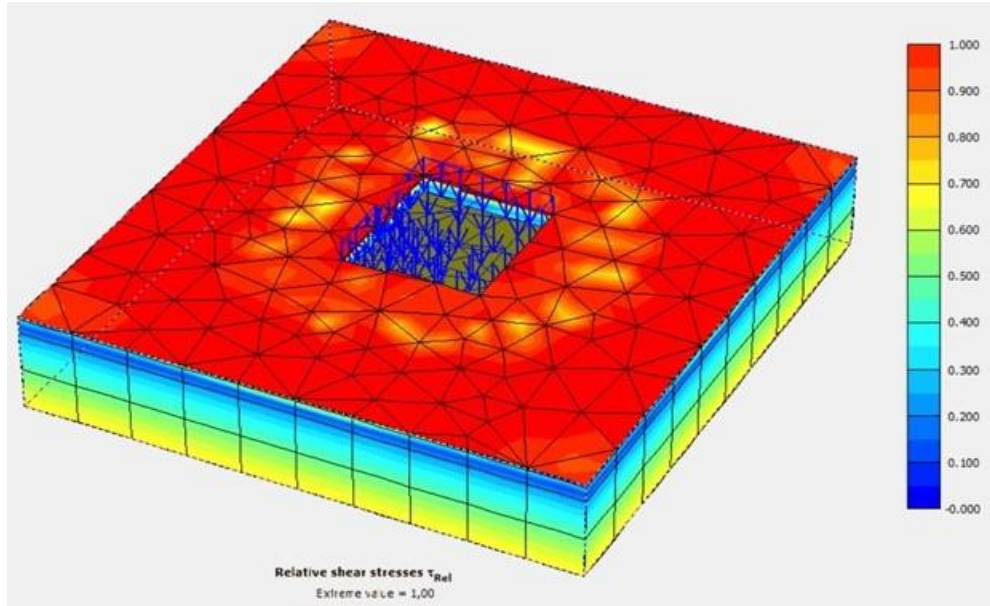
Şekil 4.18. (x) yönündeki deformasyonların gösterimi



Şekil 4.19. (z) yönündeki deformasyonların gösterimi

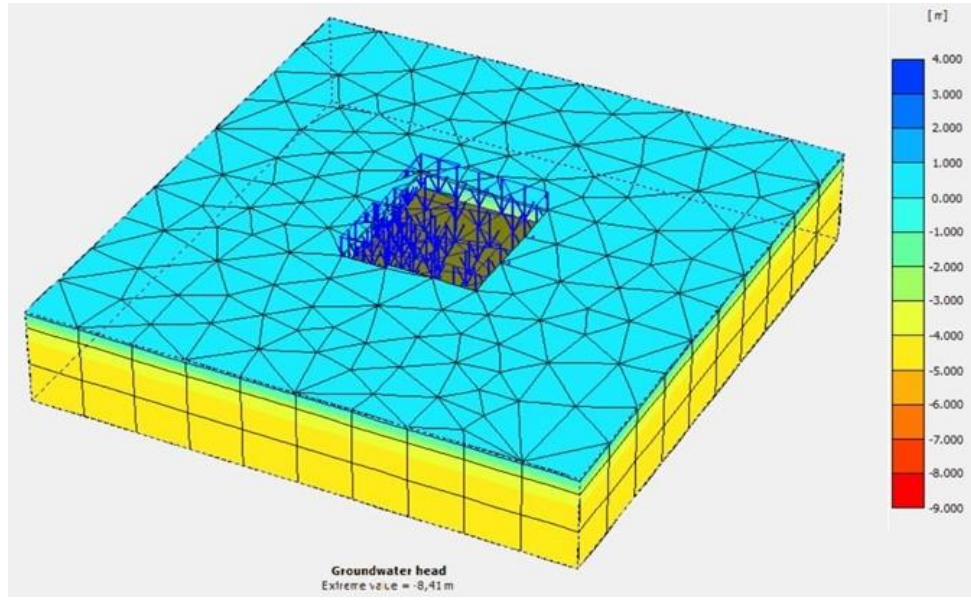


Şekil 4.20. Relatif shear stress

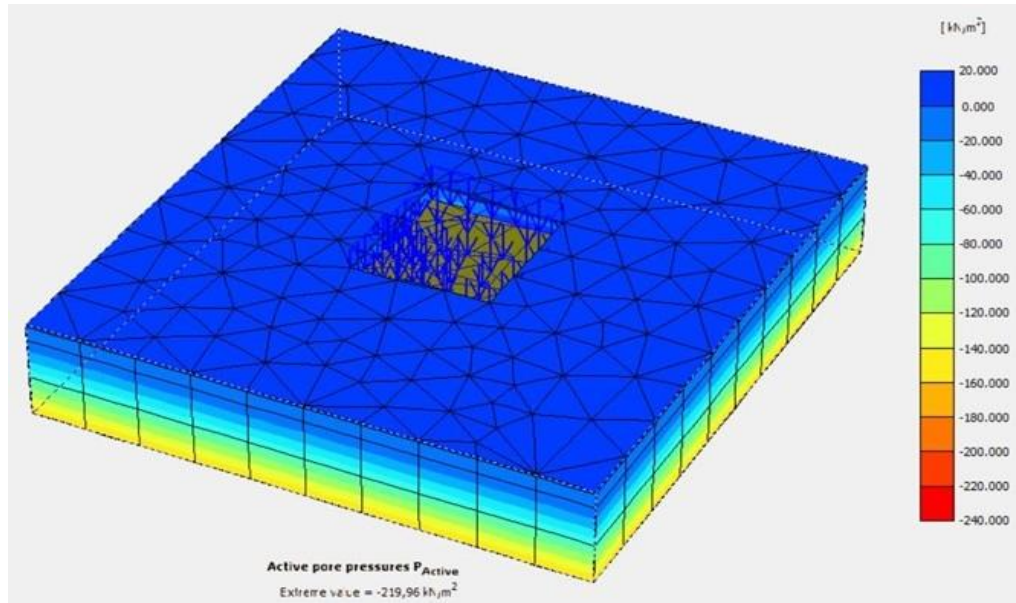


Şekil 4.21. Relatif gerilme

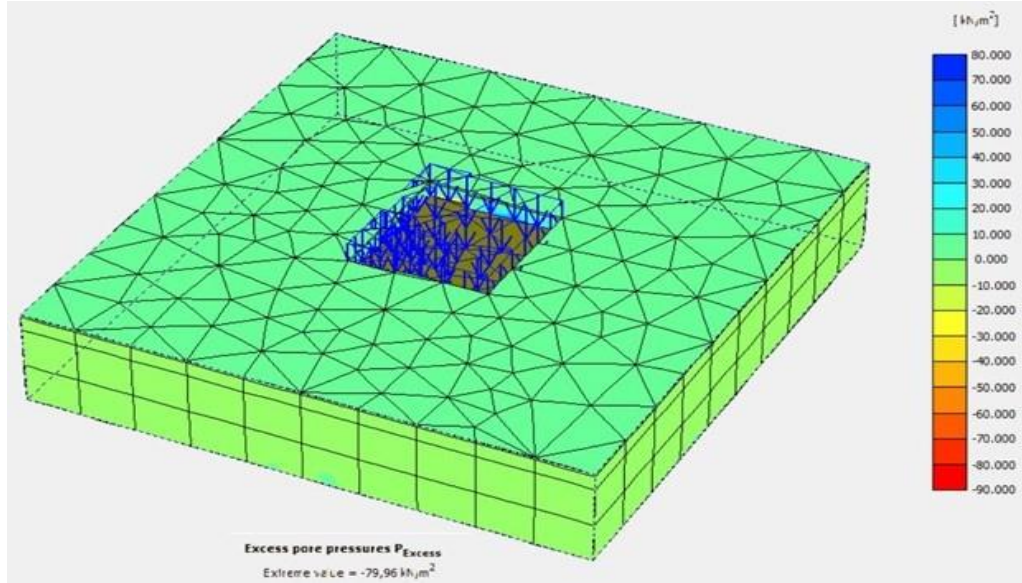
Şekil 4.22’de yeraltı suyu durumu, Şekil 4.23’de boşluk suyu basıncı, Şekil 4.24’de aşırı boşluk suyu basıncı ve Şekil 4.25’de Deformed mesh gösterilmiştir.



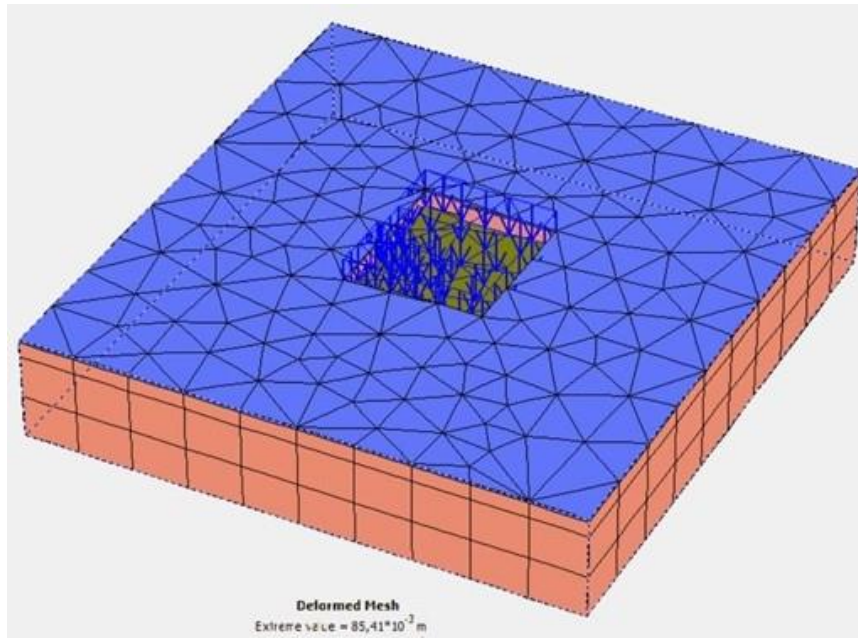
Şekil 4.22. Yeraltı suyu durumu



Şekil 4.23. Boşluk suyu basıncı



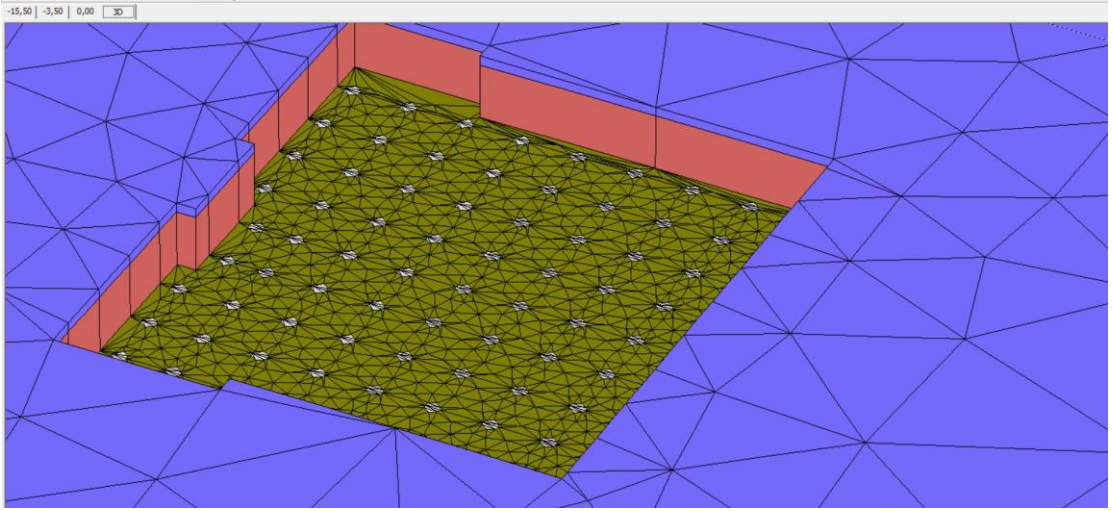
Şekil 4.24. Aşırı boşluk suyu basıncı



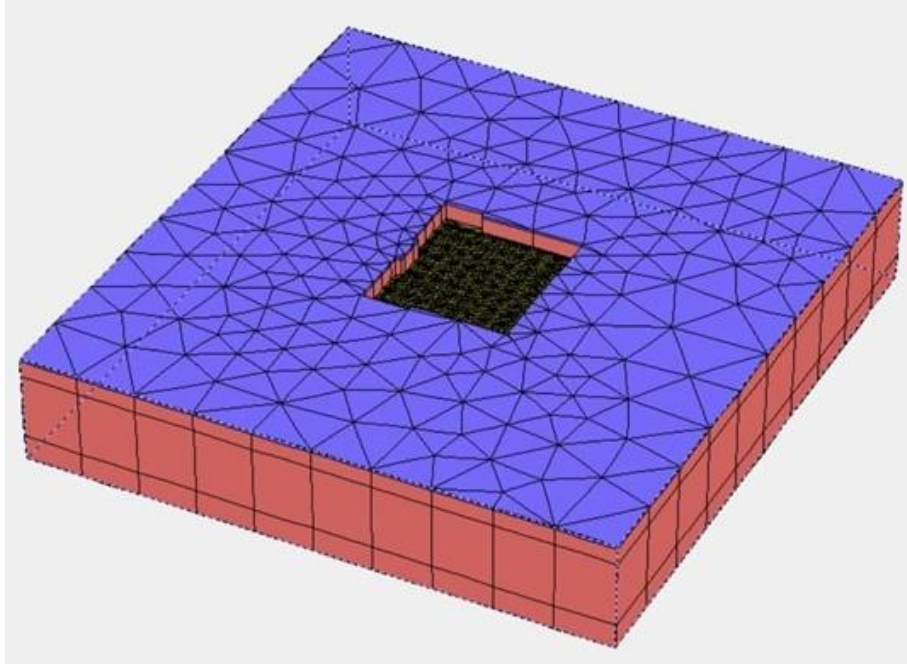
Şekil 4.25. Deforme olmuş mesh

4.5.2. PLAXIS 3D programı ile iyileştirme sonrası yapılan analizler

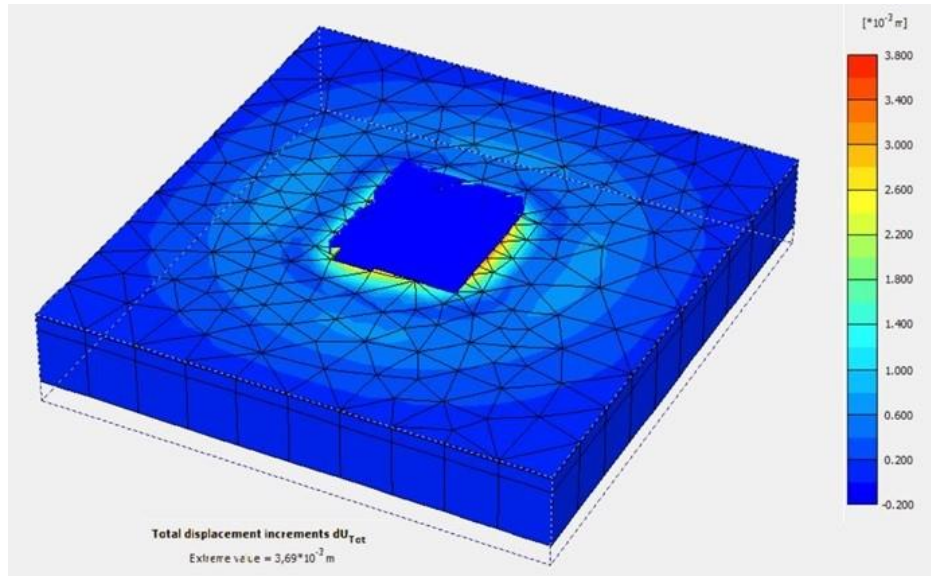
İyileştirme sonrası radye temel (Şekil 4.26 ve Şekil 4.27) ile birlikte 80 cm çapında 12 m uzunluğunda 90 adet kazık yerleştirilerek yapılan hesaplamalarda oturmanın yaklaşık 4 cm azaldığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.28 ve Şekil 4.29’da toplam yer değiştirme, Şekil 4.30 ve Şekil 4.31’de düşey yer değiştirme, Şekil 4.32 ve Şekil 4.33’de yatay yer değiştirme, Şekil 4.34 ve Şekil 4.35’de yükleme sonucu yatay yer değiştirme gösterilmiştir.



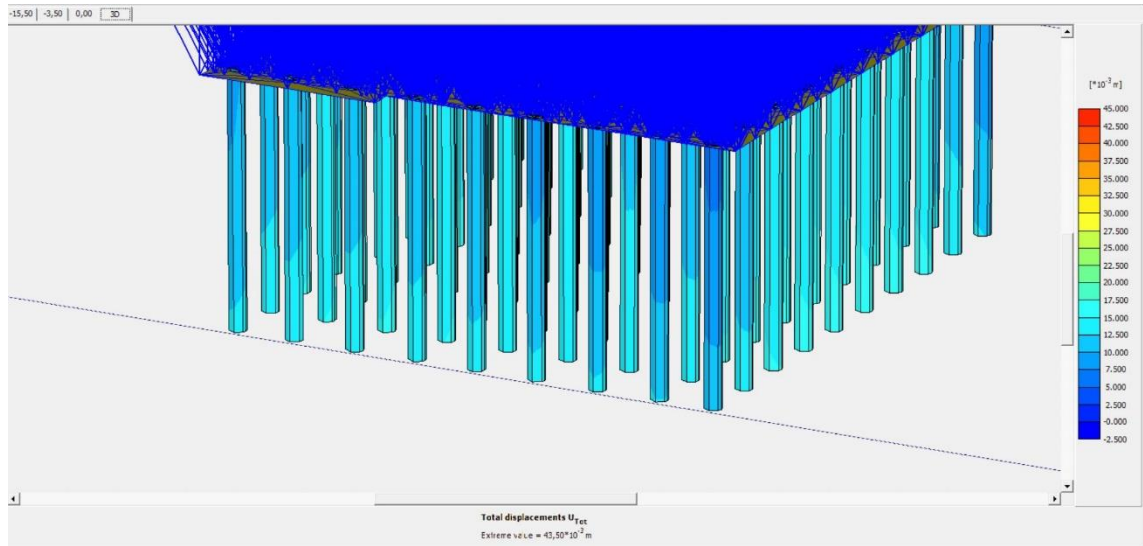
Şekil 4.26. Temel alanı



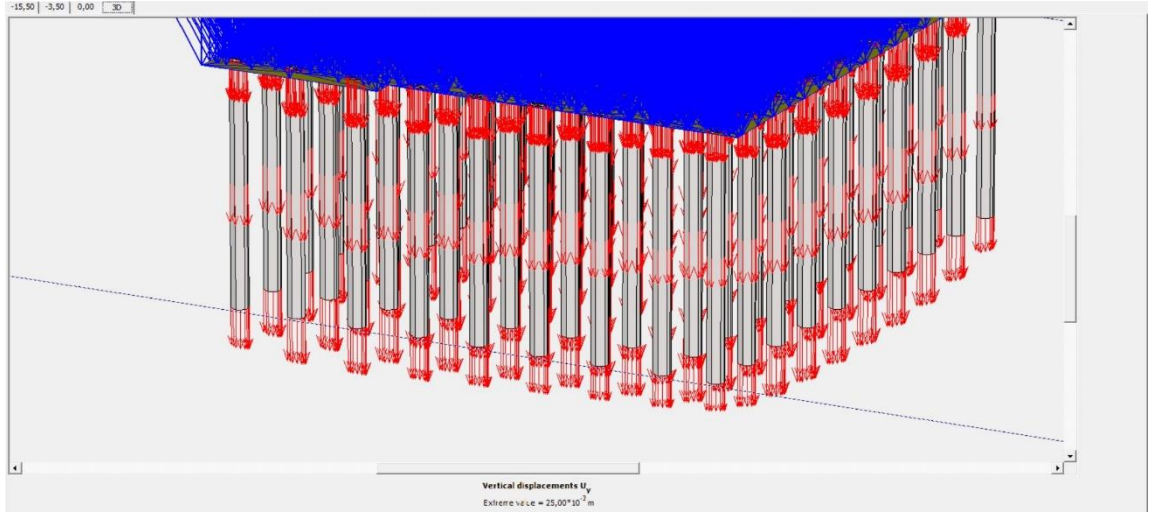
Şekil 4.27. 3D Model



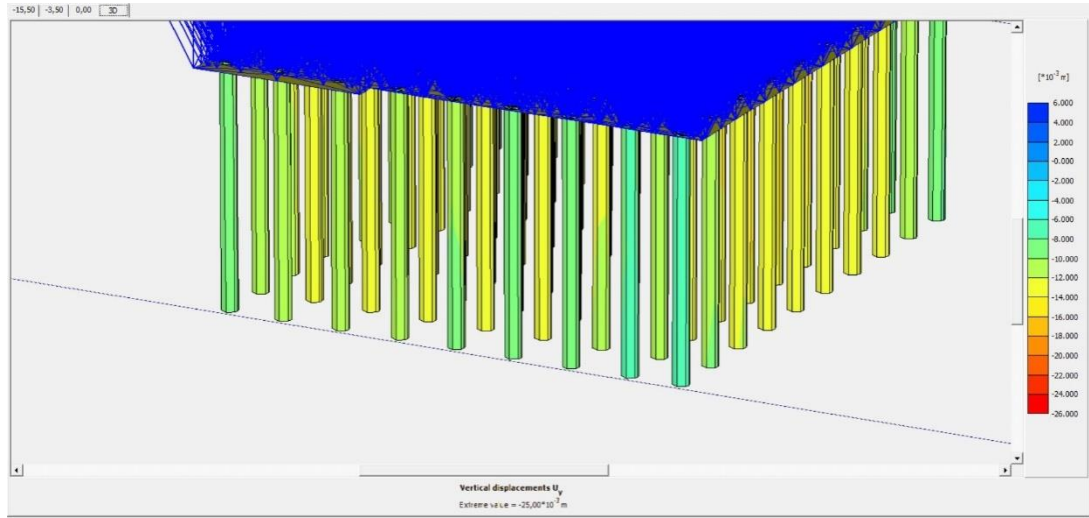
Şekil 4.28. Toplam yer değiştirme



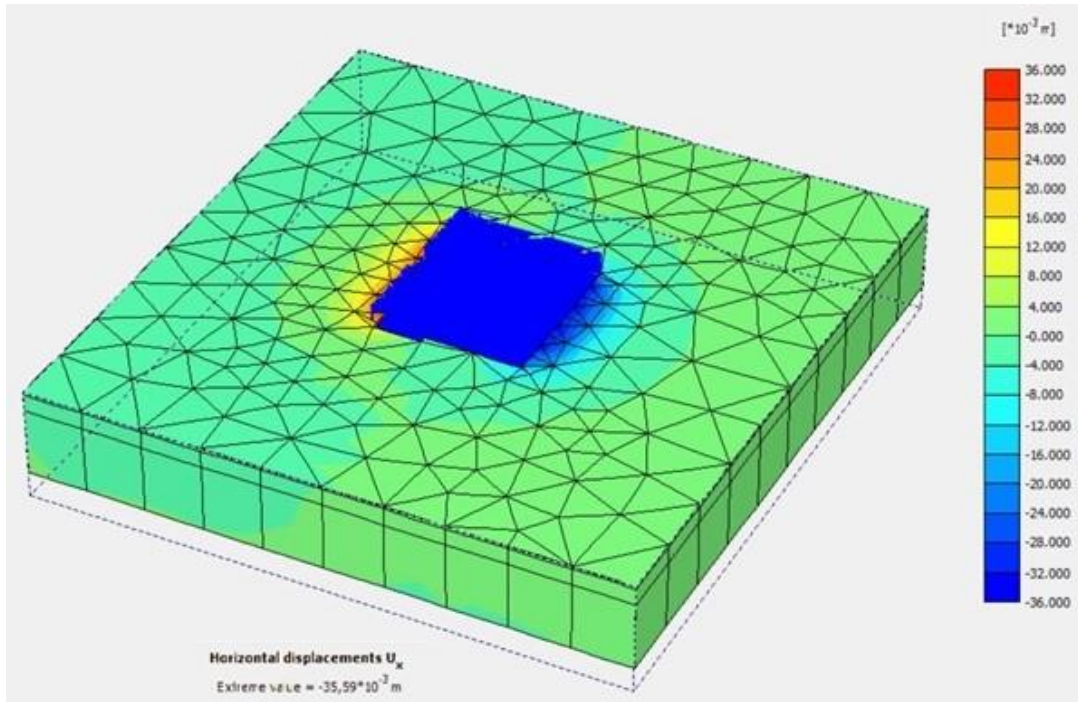
Şekil 4.29. Toplam yer değiştirme



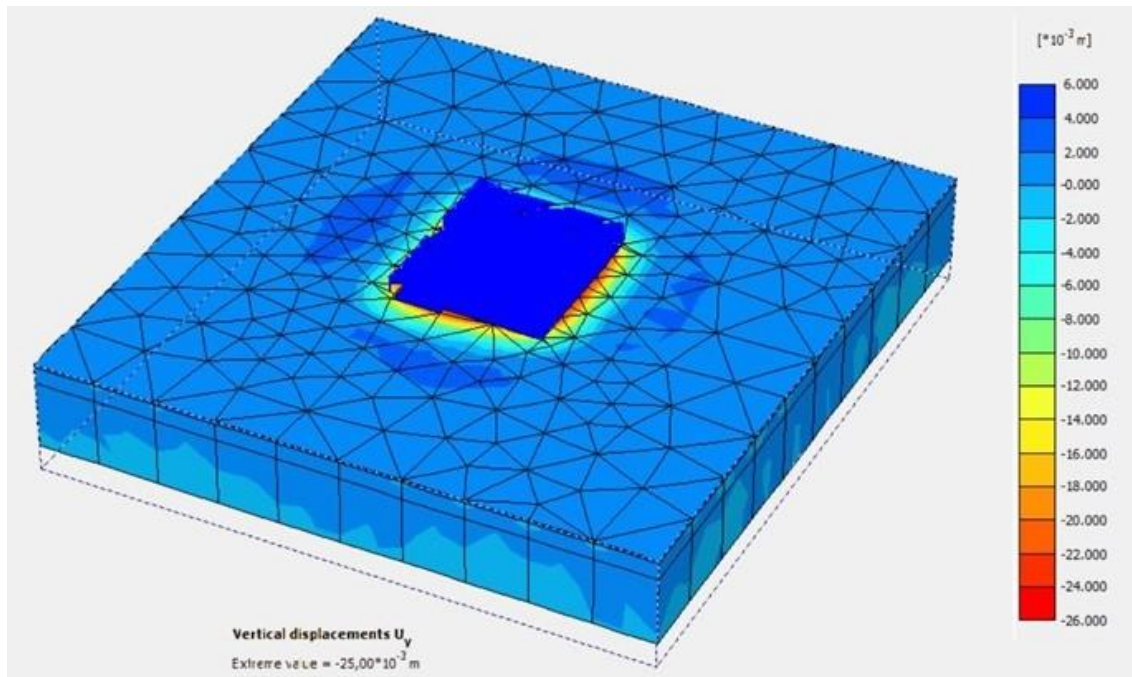
Şekil 4.30. Düşey yer değiştirme



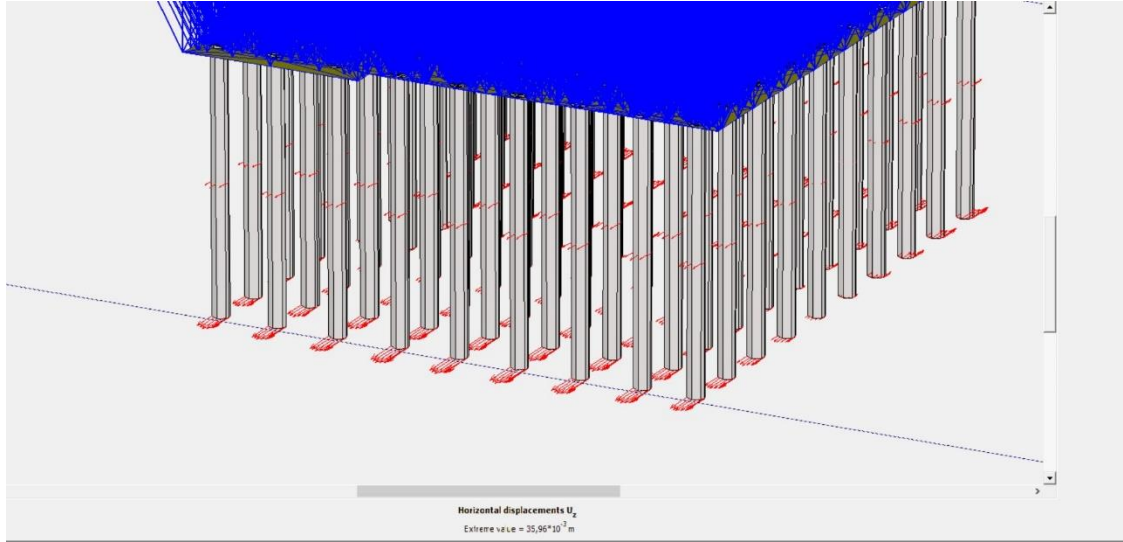
Şekil 4.31. Düşey yer değiştirme



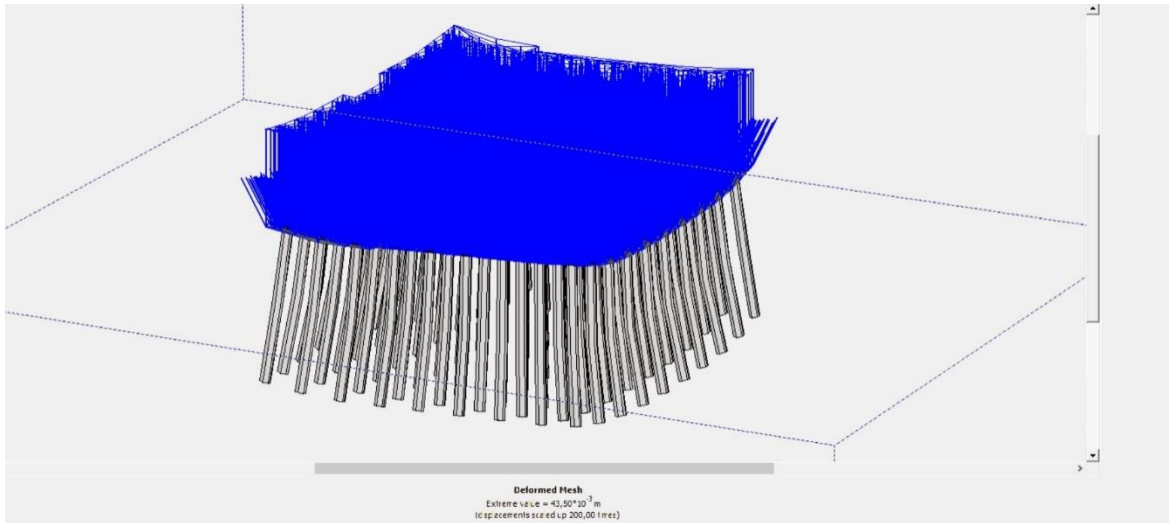
Şekil 4.32. Yatay yer değiştirme



Şekil 4.33. Yatay yer değiştirme



Şekil 4.34. Yükleme sonucu yatay yer değiştirme

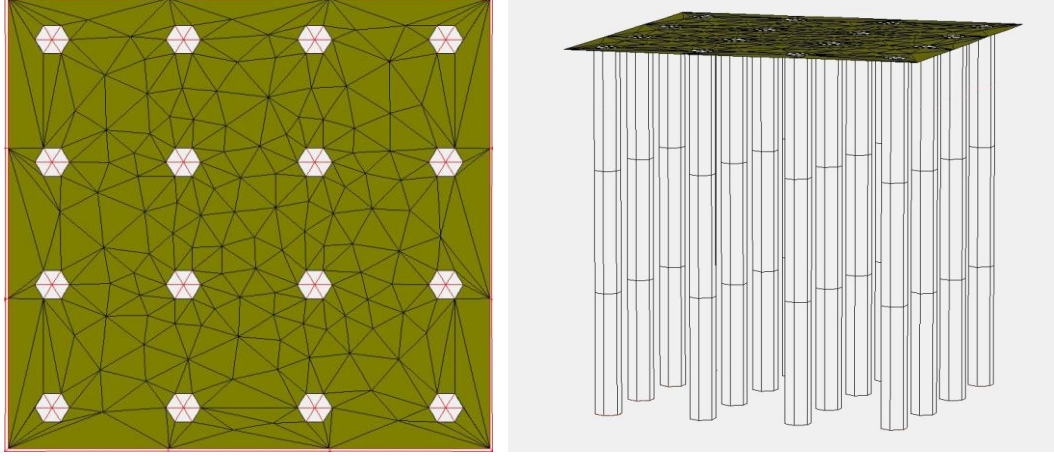


Şekil 4.35. Yükleme sonucu deforme olmuş mesh

4.6. Kazık Çapı, Kazık Uzunluğu ve Kazıklar Arası Mesafenin Taşıma Gücüne Etkisi

Kazıklı temel projelendirme aşamasında seçilecek kazık çapı, kazık uzunluğu, kazıklar arası mesafe gibi parametreler taşıma gücüne etkisi oldukça fazladır. Optimum kazık parametrelerinin belirlenmesi taşıma gücü ve deformasyonlar üzerindeki etkisinin yanında ekonomik ve zamandan kazanç sağlamaktadır. En uygun kazık parametrelerin belirlenmesi projelendirmede son derece önemlidir. Terzaghi bir kazığın taşıyabileceği max yükü kazık çapının veya kazık genişliğinin 1/10'u kadar deformasyona sebep olacak yük olarak tanımlamaktadır.

Şekil 4.36’da, temel kesitleri 11 m x 11m olan radye temel altına 16 adet kazık yerleştirilerek oluşturulan bir zemin modeli, Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5’de zemin ve temel’e ait proje bilgileri verilmiştir.



Şekil 4.36. Zemin modeli

Çizelge 4.4. Zemine ait analiz parametreleri

Parametreler	Değerler
Yass üstü γ (kN/m ³)	16
c (kN/m ²)	5
Yass altı γ (kN/m ³)	18
Poisson oranı	0,35
E (kN/m ²)	10000

Çizelge 4.5. Temel parametreleri

Parametreler	Değerler
Radye temel kalınlığı (m)	0,5
Temel genişliği (m)	11
Temel Derinliği (m)	3
E1=E2=E3	1E7
Poisson oranı	0,2

Çizelge 4.6’da projede yapılan tüm model kombinasyonları ve sonuçları verilmiştir. Çizelge 4.6’da görüldüğü üzere, optimum kazık parametreleri kazıklar arası mesafenin en fazla 4m (5D) olan model olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.6. Projede kullanılan model kombinasyonları ve sonuçlar

Kazık uzunluğu (m)	Kazık çapı (m)	Temel kesitleri (mxm)	Kazıklar arası mesafe (m)	Kazık sayısı (adet)	Deformasyon (cm)
12	0,8	11x11	3	1	3,22
12	1	11x11	3	16	2,86
12	1,2	11x11	3	16	2,38
12	1,5	11x11	3	16	2,87
12	2	11x11	3	16	4,75
15	1	11x11	3	16	2,53
18	1	11x11	3	16	2,38
18	0,8	11x11	3	16	2,56
15	0,8	11x11	3	16	2,86
12	0,8	10x10	2,5	9	2,75
12	0,8	10x10	3	9	2,55
12	0,8	10x10	3,5	9	2,37
12	0,8	10x10	4	9	2,27
12	0,8	12x12	4,5	9	2,95

Kazıklar arasındaki mesafe, iki kazık merkezinin birbirine olan uzaklığını ifade etmektedir. Kazık çapının artması kazıkların dış yüzeyinin temas (etki) ettikleri zeminleri birbirine yaklaştırır. Bununla birlikte çapın artmasına bağlı olarak kazık ağırlığı da artar. Bu durumlar deformasyon ve gerilmeler açısından dezavantaj iken, kazık çapının artması kazığın sürtünme (zemine temas eden kazık alanı) ve uç direncinin artmasını sağlar. Dolayısıyla belirli bir noktaya kadar kazık çapının artması deformasyonları azaltırken, belirli bir noktadan sonra daha fazla deformasyona neden olduğu söylenebilir. Çizelge 4.7 incelendiğinde, kazık çapı 1,2 m (2,5D) iken deformasyon değerini düşürürken 1,5 m (2,5D) ve daha büyük seçilen kazık çapları deformasyon değerini arttırmaktadır. Yine Çizelge 4.7’de görüldüğü üzere, maximum deformasyon değerinin 2m (1,5D) seçilen kazıklarda olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.7. Kazık çapına göre model analiz sonuçları

Kazık uzunluğu (m)	Kazık çapı (m)	Kazıklar arası mesafe (m)	Deformasyon (cm)
12	0,8	3	3,22
12	1	3	2,86
12	1,2	3	2,38
12	1,5	3	2,87
12	2	3	4,75

İki farklı çaptaki kazık tipinin, kazık uzunlukları artırılarak elde edilen deformasyon değerleri Çizelge 4.8’de verilmiştir. Çizelge 4.8’de görüldüğü üzere, kazık

uzunlukların artması deformasyon değerini düşürmektedir. Ancak kazık uç ve sürtünme dirençleri belirli bir noktaya kadar artmakla birlikte, bu noktadan sonra sabit olup ya da çok az artış gösterecektir. Bu değer kazık çapının 15 katı olan 15D derinliğinde olduğu söylenebilir. Kazık uzunluğunun artırılması her ne kadar avantaj olarak görünse de daha fazla işçilik ve maliyet oluşturmaktadır.

Çizelge 4.8. Kazık uzunluklarına göre elde edilen deformasyon değerleri

Kazık uzunluğu (m)	Kazık çapı (m)	Kazıklar arası mesafe(m)	Deformasyon (cm)
12	0,8	3	3,22
15	0,8	3	2,86
18	0,8	3	2,56
12	1	3	2,86
15	1	3	2,53
18	1	3	2,38

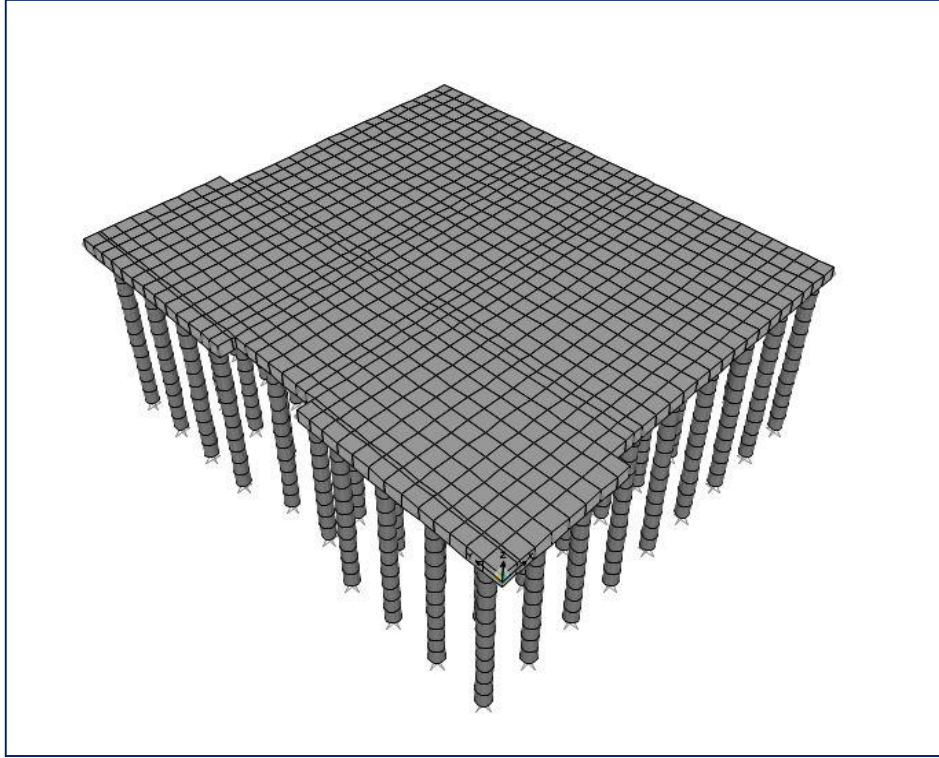
Kazık arasındaki mesafe taşıma gücüne etkisi oldukça fazladır ve projelendirmede dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardandır. Birbirine çok yakın seçilen kazıklar grup etkisi oluşturacağından düşük taşıma gücüne sahip olabilirler. Yine aynı şekilde birbirinden uzak seçilen kazıklarda da, düşük taşıma gücü ve büyük deformasyonlara neden olabilir. Çizelge 4.9’da görüldüğü üzere, boyları 12 m çapları 0,8 m olan kazıklar belirlenen temel kesitine sığacak şekilde kazıklar arasındaki mesafe maximum değer olan 4 m (5D) seçildiğinde deformasyon değerinin düştüğü tespit edilmiştir. Kazık sayısını düşürmeden kazıklar arasındaki mesafeyi daha fazla artırmak için temel genişliği (12 m x 12 m) artırıldığında ve kazıklar arasındaki mesafe 4,5 m seçildiğinde deformasyonların tekrar artışı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla kazıklar arasındaki mesafesinin en uygun değer (5D) olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.9. Kazıklar arasındaki mesafeye göre elde edilen deformasyon değerleri

Kazık uzunluğu (m)	Kazık çapı (m)	Kazıklar arası mesafe(m)	Kazık sayısı (adet)	Deformasyon (cm)
12	0,8	2,5	9	2,75
12	0,8	3	9	2,55
12	0,8	3,5	9	2,37
12	0,8	4	9	2,27
12	0,8	4,5	9	2,95

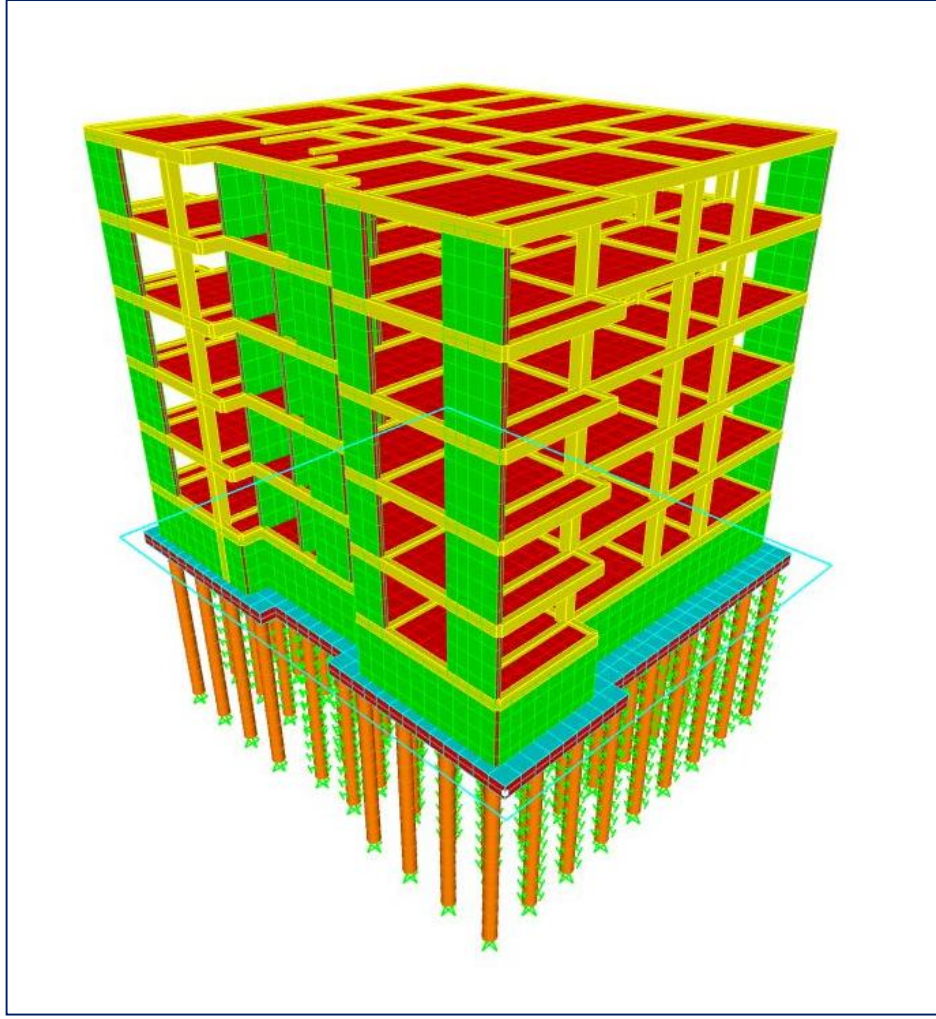
4.7. SAP2000 Programı ile Zeminin Modellenmesi

Bu çalışmada, kenar uzunlukları 25,73 m ile 30,3 m olan radye temel modellendikten sonra, temel altına kazıkların yerleştirilme düzeni Şekil 4.37’de verilmiştir. Uzunlukları 12 metre olan kazıklar modellendikten sonra, tüm kazıklar seçilip her kazık 1’er metre aralıklarla 12 eşit parçaya bölünmüştür. Bununla birlikte yine aynı şekilde radye temel için 1m x 1 m bölme (mesh) işlemi yapılmıştır.



Şekil 4.37. Radye temel ve kazıkların mesh işleminin gösterimi

Bu çalışmada, üst yapıyla ilgili olan kolon, kiriş, döşeme, perde kolon, yapı elemanlarının donatı ve beton sınıfı gibi parametreler mevcut statik projeden alınmıştır. Çalışmanın öncesinde, radye temelde meydana gelebilecek deplasmanları hesaplamak için Şekil 4.38’de görüldüğü üzere, bölmelere ayrılan kazıkların en üst noktası hariç tüm noktalarına yay (springs) atanarak zemin yatak katsayısı değeri tanımlanmıştır. Devamındaki aşamada, tüm kazıkların alt noktasına yerleştirilen sabit mesnet ataması Şekil 4.38’de gösterilmiştir.

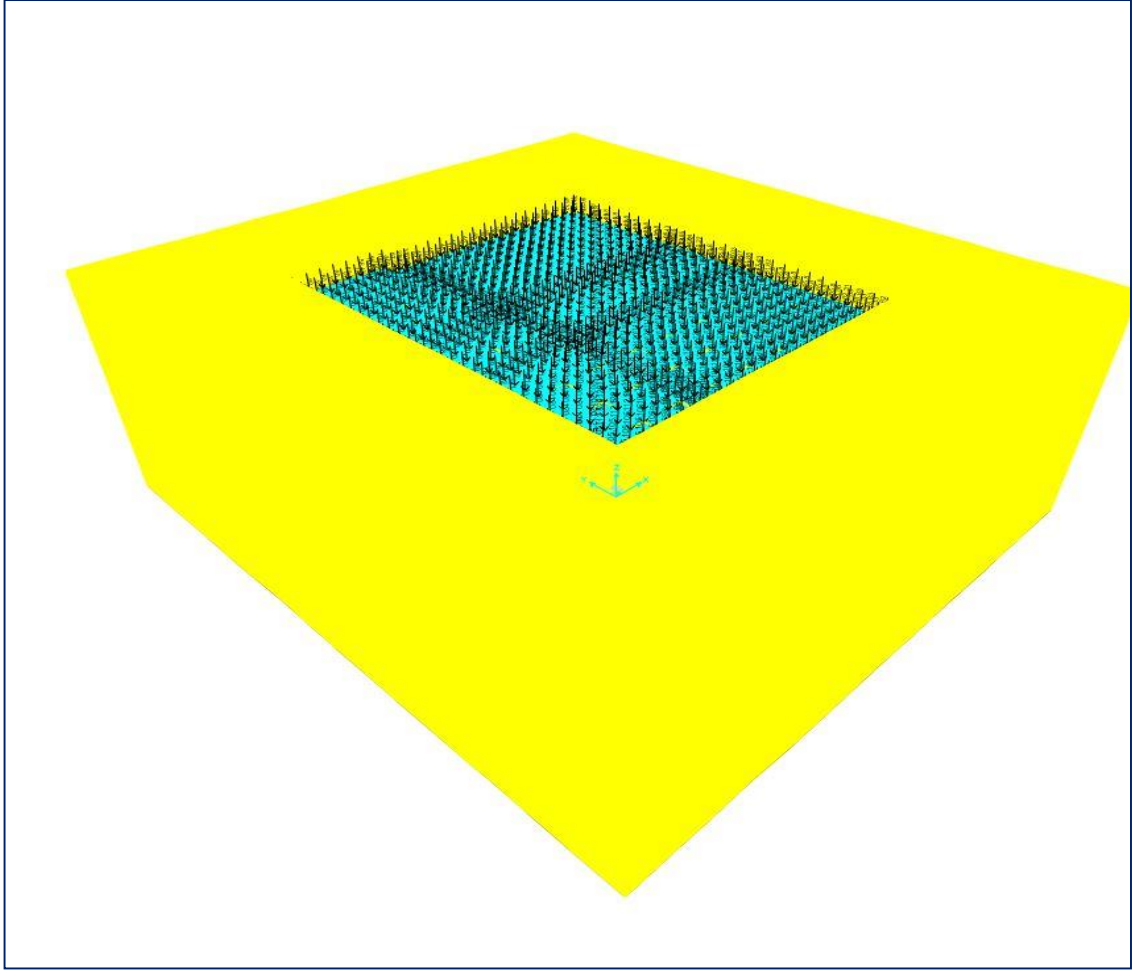


Şekil 4.38. Yay (springs) ve sabit mesnet ataması gösterimi

SAP2000 programı ile oluşturulan sonlu elemanlar modelinde zemin solid (katı) olarak modellenmiştir. Zeminin modellenmesinde Çizelge 4.10’da verilen zemine ait özellikleri kullanılmıştır. Kullanılan zemine ait özellikler şu şekildedir: Birim Hacim Ağırlık: 20 kN/m^3 , Elastisite Modülü: 5022 kN/m^2 , Poisson Oranı: 0,35, Kayma (Shear) modülü; 1860 kN/m^2 dir. Şekil 4.39’da zemin tabakası ve yayılı yükün tanımlanması gösterilmiştir.

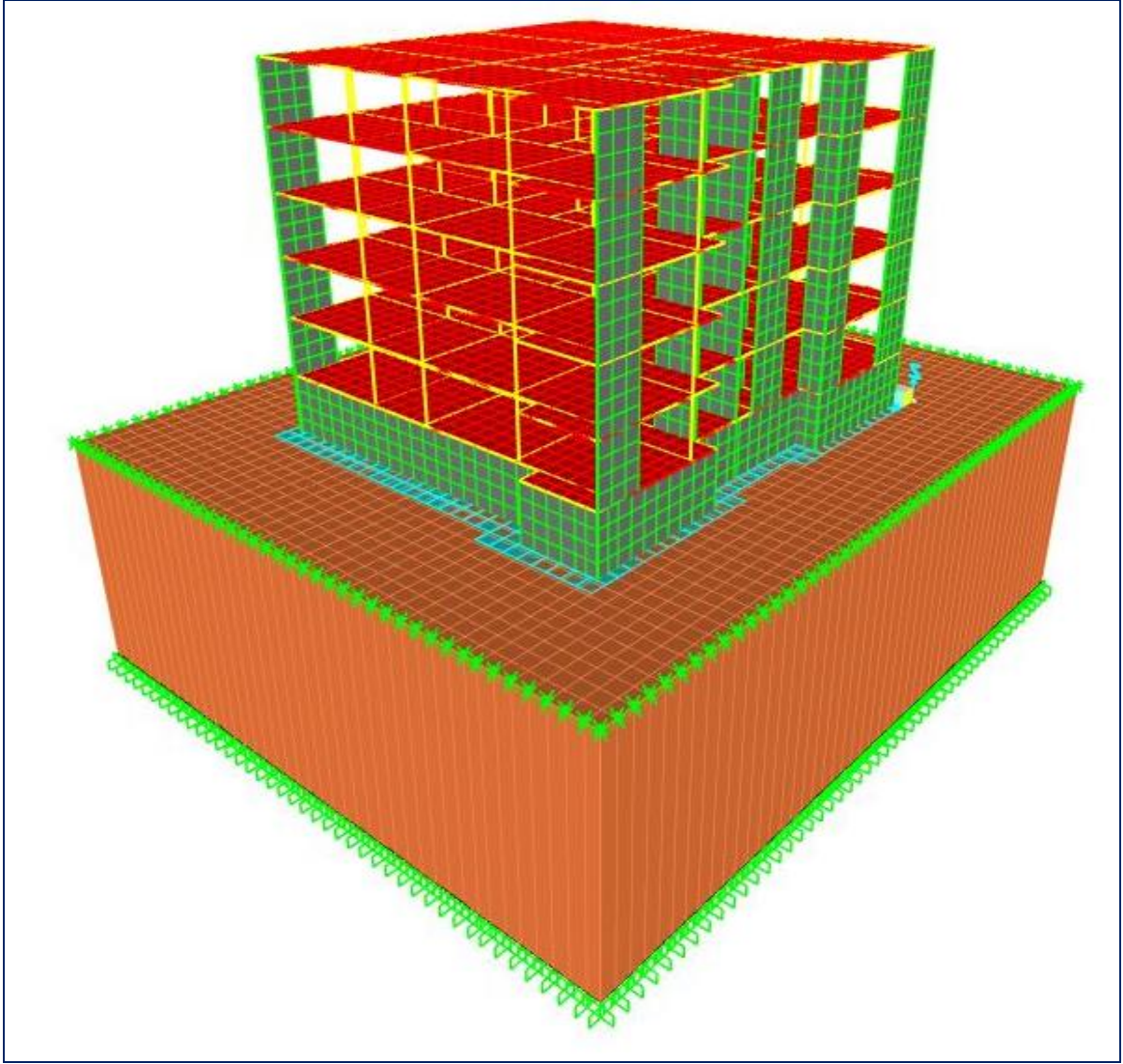
Çizelge 4.10. SAP2000 programı ile oluşturulan sonlu elemanlar modelinde zemin parametreleri

Parametreler	Değerler
İçsel sürtünme açısı (ϕ^0)	4
Birim hacim ağırlık (γ), kN/m^3	20
Zemin tipi	Kil
Kohezyon (c), kN/m^2	66
Elastisite modülü, (E), kN/m^2	5022
Poisson oranı (U)	0,35
Kayma (Shear) modülü (G), kN/m^2	1860



Şekil 4.39. Zemin tabakası ve yayılı yükün tanımlanması

Zemin katmanı oluşturulduktan sonra, zemin tabakasının kenarlarına x ve y yönünde mesnet ataması yapılarak, bu kenarda hareket sabitlenir. Son olarak zemin tabakasının en alt kısmında bulunan tüm noktalara ankastre mesnet ataması yapılmıştır. Şekil 4.40’da bu mesnet atamaları net bir şekilde görülmektedir. Programda, modelleme ile ilgili tüm aşamalar tamamlandıktan sonra, yük kombinasyonları yapılarak yapı yükü zemine aktarılarak analiz yapılır.



Şekil 4.40. Zemin mesnetlerinin atanması

4.7.1. SAP2000 analiz sonuçları

SAP2000 programı ile oluşturulan modellerde, radye ve kazıklarda meydana gelen deformasyonu ile birlikte yapının kendi ağırlığı (ölü) ve hareketli yükler altındaki (G+0,3Q) deplasman değerleri incelemek önem teşkil etmektedir. Bu nedenle radye temelin çeşitli noktalarında meydana gelen deformasyon değerleri SAP2000 programından Ms.Excel'e aktarılarak Şekil 4.41'de verilmiştir. Zeminde meydana gelen deformasyonlar x,y ve z olmak üzere üç eksende meydana gelmektedir. Bu eksenler Şekil 4.41'de verilen U1, U2 ve U3 değişkenlerine karşılık gelmektedir. Şekil 4.41'de verildiği üzere, düşeyde meydana gelen deformasyonlarda max düşey yer değiştirme olan $U3=0,02794$ m yaklaşık olarak 2,8 cm yer değiştirmeye karşılık gelmektedir. Şekil 4.42 incelendiğinde, farklı noktalar arasında yaklaşık 1 cm farklı oturma meydana geldiği

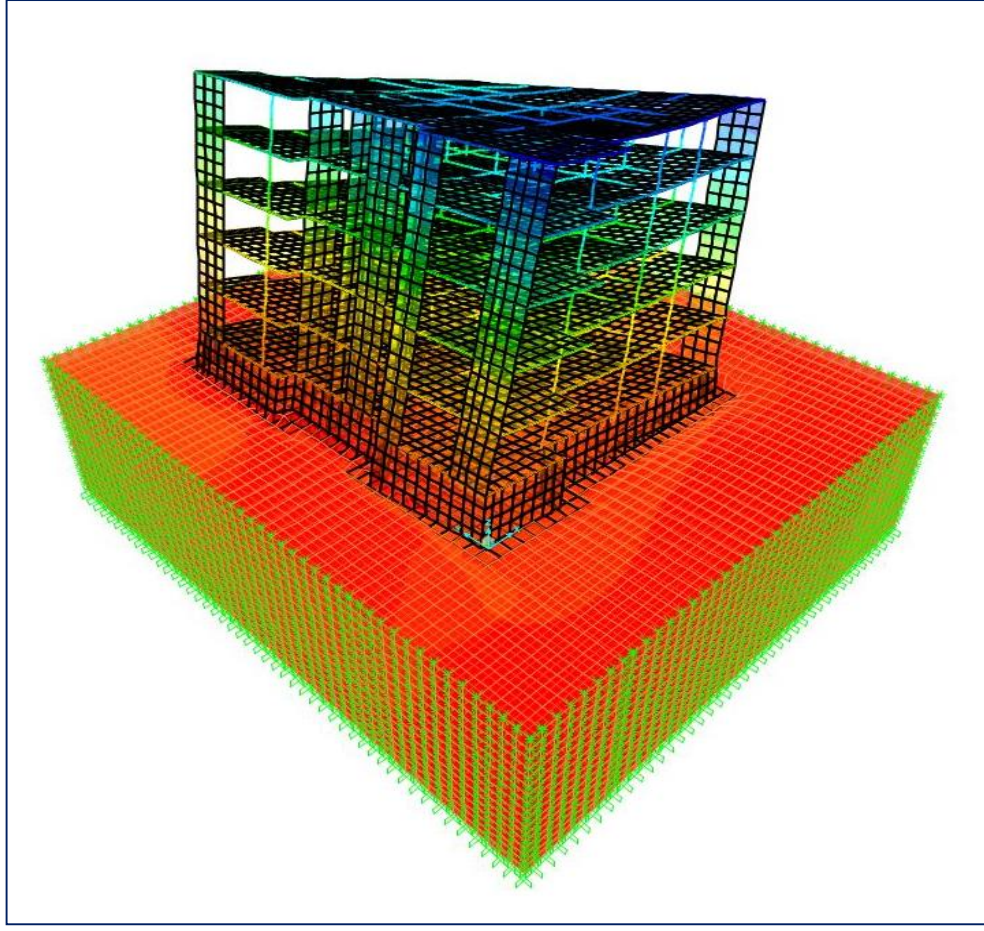
görülmektedir. SAP2000 programında bu deformasyonların hangi yönde gerçekleştiğini görmek için programdan deformasyonların abartılı gösterimi de Şekil 4.43'de gösterilmiştir.

1	TABLE: Joint Displacements								
2	Joint	OutputCa	CaseTy	U1	U2	U3	R1	R2	R3
104	1129	yapı	LinStatic	-0,00005	-0,000303	-0,025635	0,007662	0,002635	-0,000016
108	1133	yapı	LinStatic	0,000003315	-0,000345	-0,027339	0,008548	-0,000503	-0,000007908
112	1137	yapı	LinStatic	0,000058	-0,000308	-0,02581	0,0075	-0,001934	0,000029
546	2660	yapı	LinStatic	-0,00007	-0,000233	-0,019324	0,005706	0,003325	-0,000029
551	2665	yapı	LinStatic	-0,000062	-0,000271	-0,022545	0,006884	0,003143	-0,000044
556	2670	yapı	LinStatic	-0,000028	-0,000305	-0,018792	0,007714	0,002085	-0,000036
578	2692	yapı	LinStatic	-0,000034	-0,000326	-0,027722	0,008075	0,001141	-0,000028
579	2693	yapı	LinStatic	-0,000019	-0,000329	-0,020907	0,008304	0,000815	-0,000007458
583	2697	yapı	LinStatic	-0,000016	-0,00034	-0,027944	0,008475	-0,000258	-1,897E-07
584	2698	yapı	LinStatic	-0,000008413	-0,000343	-0,020409	0,008479	-0,000434	-0,000018
588	2702	yapı	LinStatic	0,000003458	-0,000348	-0,019824	0,008456	-0,000372	0,000007624
610	2724	yapı	LinStatic	0,000022	-0,000341	-0,02697	0,008445	-0,000224	0,000015
611	2725	yapı	LinStatic	0,000016	-0,000344	-0,019557	0,008328	-0,000154	0,000001837
615	2729	yapı	LinStatic	0,000041	-0,000328	-0,026823	0,008142	-0,00049	0,000011
616	2730	yapı	LinStatic	0,000027	-0,000331	-0,01958	0,008151	-0,00014	0,000021
620	2734	yapı	LinStatic	0,000038	-0,00031	-0,019488	0,007761	-0,001384	0,000018
642	2756	yapı	LinStatic	0,000072	-0,000279	-0,022889	0,006878	-0,003441	0,000026
643	2757	yapı	LinStatic	0,000047	-0,000281	-0,016759	0,00689	-0,00269	0,000034
647	2761	yapı	LinStatic	0,000084	-0,000244	-0,018971	0,005883	-0,00385	0,000041

Şekil 4.41.Yapının kendi ağırlığı (ölü) ve hareketli yükler (G+0,3Q) altındaki deplasman değerleri

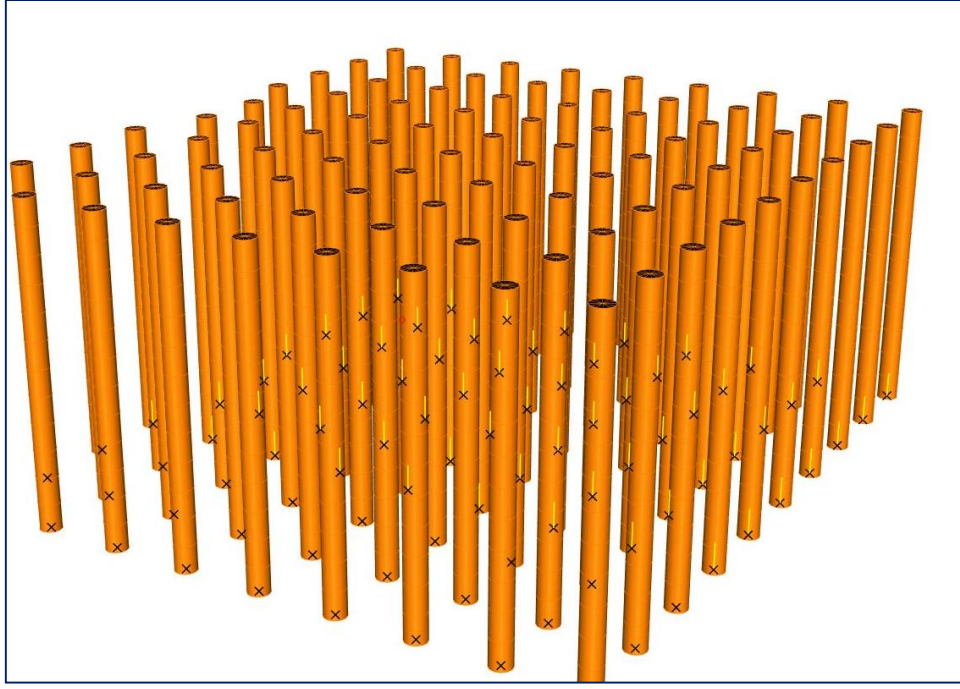
TABLE: Joint Displacements								
Joint	OutputCa	CaseTy	U1	U2	U3	R1	R2	R3
2697	yapı	LinStatic	-0,000016	-0,00034	-0,027944	0,008475	-0,000258	-1,897E-07

Şekil 4.42. Zeminde x, y,z eksenlerinde meydana gelen deformasyonlar



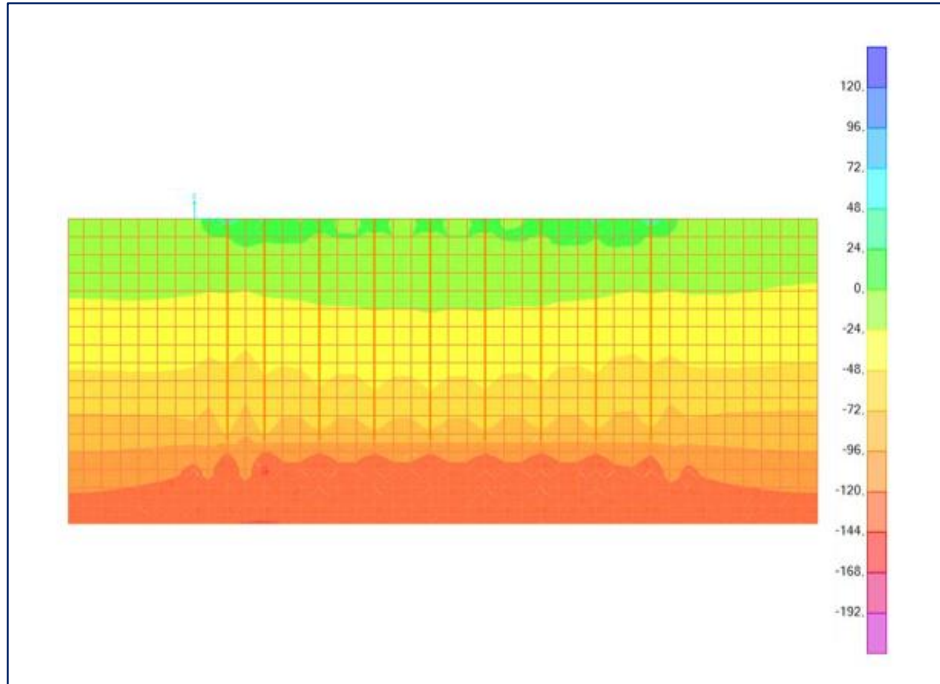
Şekil 4.43.Yapıdaki deformasyonların abartılı gösterimi

Kazık ve temel ağırlığı dahil olmak üzere yapının yaklaşık ağırlığı 12661 ton, kazıkların uç noktasındaki toplam düşey kuvvet 7772 ton olmakla birlikte, bu değer uç direnci ifade etmektedir (Şekil 4.44). Yapı ağırlığı sürtünme direnci+uç direnç tarafından taşınmaktadır. Toplam yapı ağırlığından uç direnci çıkardığımızda sürtünme direnci tarafından taşınan yük 4889 ton olarak elde edilir.



Şekil 4.44. Tüm kazıkların en alt noktasının seçimi

Zemindeki gerilmeler incelendiğinde,(Şekil 4.45) kazıkların alt noktalarında gerilmelerin max değerde olduğu görülmektedir. 120 kN/m^2 iken minimum gerilme değeri $-209,552 \text{ kN/m}^2$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.45. Kazıklardaki gerilmeler

PLAXIS 3D programında toplam deformasyon değeri 4,3 cm ve düşey deformasyon değeri 2,5 cm olarak hesaplanmıştır. SAP2000 programında elde edilen 2,8 cm düşey deformasyon değeri ile kıyaslandığında birbirine yakın değerler elde edilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde kazıklı temeller çok yaygın olarak zemin problemlerine sahip sahalarda kullanılmaktadırlar. Kazıklı temellerin güvenli ve ekonomik olarak optimum kriterlerde tasarlanması gerekmektedir. Bu optimum kriterlerin sağlanması amacıyla birçok sayısal modelleme ve deneysel çalışmalar yapılmaktadır. Bu tez çalışmasında, bir destek yöntemi olan fore kazıklarda, sonlu elemanlar yöntemine göre hesaplayan, deformasyon ve stabilite analizleri yapabilen PLAXIS 2D, PLAXIS FOUNDATION 3D ve SAP2000 bilgisayar yazılımları kullanılarak modeller oluşturulmuş, kazıkların yapı yükleri altındaki etkisi ve deformasyon değerleri ile analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte, yapı yüklerinin sürtünme direnci ve uç direnç tarafından taşındığı zemin güçlendirme yöntemlerinden olan kazıklı temellerin deformasyonlar üzerindeki etkileri değerlendirilerek yorumlanmıştır.

Çalışmada, zemin etüt incelemeleri, statik proje, mimari proje ve plan kote sonuçlarına göre, zemin profili oluşturulmuştur. Programda inşaa edilecek bitişik nizam 2 bloklu yapı kademeli olarak modellenmiştir. 2 farklı zemin katmanının değerleri girilmiş ve gerçek bina yükleri statik projeden alınıp modelde yayılı yük olarak girişi yapılmıştır. Modeller, 4,30 m yeraltı su seviyesinde iki tabakalı zemin üzerinde oluşturulmuştur. Temel altındaki üst tabaka için 0,00-0,50 arası dolgu malzeme, 0,50-20,00 m arası inorganik killer (düşük ila orta plastisitede), çakıllı kil, kumlu kil, siltli kilden oluşan zemin türleri ile analizler gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1-) PLAXIS 2D programı ile iyileştirme öncesi yapılan analizlerde, toplam deplasman değeri $70,33 \times 10^{-3}$ m ve düşey deplasman değeri ise $52,29 \times 10^{-3}$ m olarak hesaplanmıştır. Ortaya çıkan bu deplasmanların özellikle, radye temel altında hayli yoğunlaştığı ve yine yatay yer değiştirmelerin sadece temel altında olmayıp, temel çevresinde de yoğunlaştığı ve temel çevresinden uzaklaştıkça da azaldığı tespit edilmiştir.

2-) Kazıkların pasif olduğu yüklerin radye temel tarafından zemine aktarıldığı durum ile 12 metre fore kazıklar kullanarak zemine aktarıldığı durum kıyaslandığında, kazıklı temellerde yaklaşık olarak 3 cm daha az oturma meydana geldiği görülmüştür.

3-) PLAXIS 2D programı ile iyileştirme öncesi yapılan analizlerde; boşluk suyu basıncı $1,49 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$ olmakla birlikte, yeraltı suyu seviyesinden başlayarak doğrusal olarak artmaktadır. Yeraltı su seviyesinin düşmesi, deplasman değerlerinin azalmasını sağladığından, yeraltı su seviyesinin olduğu yerlerde deplasman değerlerinin yüksek olduğu belirlenmiştir.

4-) PLAXIS 2D programı kullanılarak iyileştirme sonrasında yapılan analizlerde; aktif boşluk suyu basıncı değeri $404,94 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Ortalama gerilmeler derinliğe bağlı olarak artış göstermekle birlikte, özellikle orta noktalarda da yoğunluk gösterdiği görülmüştür.

5-) Çalışma sahasında PLAXIS 2D programı kullanılarak iyileştirme sonrasında yapılan analizlerde; hesaplanan toplam deplasman değeri $43,48 \times 10^{-3} \text{ m}$ ve düşey deplasman değeri ise $25,68 \times 10^{-3} \text{ m}$ olarak hesaplanmıştır. Düşey yer değiştirmede, yapı yükleri kazık çevresi ve kazık uçları tarafından taşındığından max oturma da kazık çevresi ve kazık uçlarında meydana geldiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, yapı yüklerinden kaynaklı temel altındaki zeminde sıkışma meydana gelirken temel çevresindeki zeminlerde kısmen kabarmanın olduğu görülmüştür.

6-) PLAXIS 3D programı ile iyileştirme öncesi yapılan analizlerde; yapı yüklerinin radye temele aktarıldığı durumda zeminde 8,5 cm değerinde deformasyon meydana geldiği tespit edilmiştir.

7-) PLAXIS 3D programı ile iyileştirme sonrası yapılan analizler de; radye temel ile birlikte 80 cm çapında 12 m uzunluğunda 90 adet kazık yerleştirilerek hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda; oturma yaklaşık 4 cm azaldığı gözlemlenmiştir.

8-) Yapı yüklerinin, uç direnç ve sürtünme direnci tarafından taşındığı kazıklı temellerin, yapıda meydana gelebilecek deformasyonlar üzerinde ciddi oranda etkisi olduğu yapılan analizlerde görülmektedir.

9-) PLAXIS 3D programında toplam deformasyon değeri 4,3 cm olarak elde edilirken düşey deformasyon değeri 2,5 cm olarak hesaplanmıştır. SAP2000 programında elde edilen 2,8 cm düşey deformasyon değeri ile kıyaslandığında birbirine yakın değerler olduğu görülmektedir.

10-) PLAXIS 8.2 (2d), PLAXIS FOUNDATION (3d) ve SAP2000 programlarının düşey yer değiştirme değerleri kıyaslandığında, birbirine yakın değerler de olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu değerler programa doğru bir şekilde girilmediğinde birbirinden farklı ya da bağımsız sonuçlar elde edilebileceği görülmüştür.

11-) Zemin tipi, yapı yükü ve yapı alanı gibi parametrelere bağlı olarak projede seçilecek optimum kazık boyu, kazık çapı, kazık aralıkları değişkenlik göstermektedir. Proje için optimum kazık tipinin seçilmesi için birden fazla programın korele edilmesi sonucun doğruluğu açısından önemlidir. Zemine ait parametrelerin sahadan doğru bir şekilde elde edilmesinin yanı sıra programa doğru bir şekilde aktarılması da önemlidir. Yapı yükü ve zemin sınırları, mesh sıklığı programlarda dikkat edilmesi gereken başlıca hususlardır.

12-) Kazıklı temel projelendirme aşamasında seçilecek kazık çapı, kazık uzunluğu, kazıklar arası mesafe gibi parametreler taşıma gücüne etkisi oldukça fazladır. Optimum kazık parametrelerinin belirlenmesi taşıma gücü ve deformasyonlar üzerindeki etkisinin yanında ekonomik ve zamandan kazanç sağlamaktadır.

Geoteknik araştırmalarında yaygın olarak kullanılan sonlu elemanlar yöntemiyle kullanılan PLAXIS, SAP2000 vb. programlar, zemin ve yapıyı hızlıca modelleyip meydana gelebilecek deformasyon, gerilme, göçme gibi durumları önceden görmemizi sağlama açısından oldukça önemlidir. Bu programlar ile yapılan analizlerde, doğru ve güvenilir sonuç elde etmek için, arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen yapı ve zemine ait bilgilerin programa doğru bir şekilde aktarılması son derece önemlidir. Aksi takdirde elde edilen yanlış değerler farklı yorumlara ve değerlendirmelere yol açabilir. Dolayısıyla geoteknik araştırmalarda kullanılan bu programlarla yapılan analizlerde, elde

edilen modellerin yine farklı programlar ile korelasyonunu yaparak sonuçların kıyaslanmasının sonucun doğruluğunu ciddi oranda etkilediği söylenebilir.

KAYNAKLAR

- Ansal, A., 2004, (Ed.); Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation, *Kluwer Academic Publishers*, netherlans
- Ateş, B., Şadoğlu, E., 2021, Kum Zeminlerdeki Kazıklı Radye Temellerin Optimum Kazık Aralığının Deneysel Olarak İncelenmesi, *Teknik Dergi*, 2021 10477-10493, Yazı 599
- Basu, D., 2006, Analysis of Laterally Loaded Piles in Layered Soil. Doctora tedissertation, *Purdue University*
- Bozkurt, R., Demiröz, A., 2020. Kazıklı Radye Temel Boyutlarının Oturma Davranışı Dikkate Alınarak Optimum Tasarımı. *İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi*, 1 (2), 123-129
- Birand, A.A., Kazıklı Temeller, *Teknik Yayınevi*, Ankara, 2001
- Brinkgreve, R. B. J., Broere, W. and Waterman, D. 2004, Plaxis finite element code for soil and rock analysis, 2D –Version 8.6
- Brinkgreve RBJ, Kumarswamy S, Swolfs WM (2016) PLAXIS 2016, Finite element code for soil and rock analyses, user manual. Plaxis bv, Delft
- Cai F, Ugai K. 2000, Numerical analysis of the stability of a landslide reinforced with piles. *Soils and Foundations*, 40, (1), 73– 84.10.3208/sandf.40.73
- Celep, Z., Kumbasar, N., 2001. Betonarme Yapılar, *Beta Dağıtım*, ISBN 975-954053-3, İstanbul, 440-507
- Coduto, D.P., 2001, Foundation Design: Principles and Practices. Prentice Hall, New Jersey
- Coulomb, C. A., 1776, Essai sur une application desreglesdes maximi setminimis a quelques problemes destati quere latifs, a la architecture. Mem. Acad. Roy. Div. Sav.,vol. 7, 343-387
- CSI. SAP2000/NL-PUSH Software, Version 10 Eylül 2005, Computer and Structures, Inc., Berkeley, California, USA, (2006)

- Çimen, Ö., Osmanoğlu, U., 2021, Farklı Zemin Koşullarında Tasarlanan Kazıklı Radye Temel Sistemlerinin Oturma Tabanlı Optimizasyonu, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9 (2021) 1436-1446
- Çinicioğlu, S.F., 2005, Zeminlerde Statik ve Dinamik Yükler Altında Taşıma Gücü Anlayışı ve Hesabı, *Seminer-İMO İstanbul*, 2005, 25 sayfa
- Das, M. B., 2007, Principles of Foundation Engineering, SI, 7th Edition, *Cengage Learning*, 535-629
- Das, M. Braja, 2014. Principles of Foundation Engineering, *Cengage Learning*
- Erdemir, N., Okur, V., 2011, Kazık Gruplarının Sismik Etki Altındaki Performansı, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt:XXIV, Sayı:2011
- Eser, M., 2004, Elastik zemine oturan ince plakların sonlu elemanlar metodu ile eğilme hesabı, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- Gündoğdu, O., Özçep, F., 2003, Jeofizikte Zemin Davranışı, İstanbul Üniversitesi, Jeofizik Müh. Böl., (Ders Notları), 978 Sayfa; İstanbul
- Griffiths, Lane D.V. Griffiths, P.A. Lane 1999, Slope stability analysis by finite elements *Geotechnique* 1999; pp. 387-403
- Khan, A.N., Ahmad, I., 2002, Modeling of pile-soil interaction in a standard finite element based program (SAP2000), *Journal of Engineering and Applied Sciences (Peshawar)*; ISSN 1023-862X; Worldcat; v. 21(2); p. 83-90
- Kramer, S.L., 1996, Geotechnical Earthquake Engineering. *Prentice-Hall*, Inc. New Jersey
- Ling H, Ling HI. Kawabata T. (2014) Revisiting Nigawa landslide of the 1995 Kobe earthquake; *Geotechnique* 64:400–404
- Mamuk, F., 2010, Üç Boyutlu Dinamik Zemin-Yapı Etkileşimi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü* Yüksek Lisans Tezi, Haziran, 2010, İstanbul

- Ornek, M., Laman, M., Demir, A., & Yildiz, A. (2012). Numerical analysis of circular footings on natural clay stabilized with a granular fill. *Acta geotechnica slovenica*, 9(1), 61-75
- Önalp, A., Sert, S., 2010, “Geoteknik Bilgisi III Bina Temelleri”, *Birsen Yayınevi*, 277-342, İstanbul, 2010.
- Özdemir O. U., 2006, Kazıklı radye temellerde taban basıncı değişiminin incelenmesi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Poulos. H.G.. Davis. E.H.. 1980, Pile foundation analysis and design. *John Wiley and Sons*.
- Plaxis. (2011) 2D- 2011 Material Models Manual. R. B. J. Brinkgreve, W. Broere, and D. Waterman, eds., Delft, the Netherlands
- Plaxis. (2012a): Plaxis 2D - Reference Manual 2012. Plaxis B.V, Delft, Netherlands
- Plaxis. (2012b): Plaxis 2D - Material Models Manual 2012. Plaxis B.V, Delft, Netherlands
- Plaxis 3D Foundation V2 Material Manual. 2007, Delft University of Technology & Plaxis bv, Delft, Netherlands
- SAP2000 “Structural Analysis Program, Nonlinear Version 7.12”, Computers and Structure, Inc. Berkeley, CA, USA, 2000
- Savage WZ, Baum RL, Morrissey MM, Arndt BPi 2000, Finite element analysis of the Woodway landslide; Washington. U.S. *Geological Survey Bulletin* 2180
- Schanz, T., 1998, Zur Modellierung des Mechanischen Verhaltens von Reibungsmaterialien. Habilitation. Stuttgart University
- Schanz, T., Vermmer, P. A., 1999, The hardening soil model: Formulation and verification. Beyond 2000 in Computational Geotechnics-10 Years of Plaxis
- Small, J. H., 2008, Time-Settlement Behaviour Of Piled Raft Foundations Using Infinite Elements. *Computers And Geotechnics*, 187-195

- Terzaghi, K. 1943, Theoretical Soil Mechanics, *John Wiley & Sons*, New York
- Toğrol, E. ve Tan, O., 2003, Kazıklı Temeller, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, s.142
- Tomlinson, M., J., 2004, Pile Design and Construction Practice, *Chapman and Hall*, London, UK
- Tschebotarioff, G. P., 1951, Foundations, Retaining and Earth Structures, *McGraw-Hill*, New York
- TS 3168 EN 1536, 2001, Özel Jeoteknik Uygulamalar: Delme (Fore)-Kazıklar (Yerinde Dökme Betonarme Kazıklar), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- Uzuner, B. A. 1996, Temel Mühendisliğine Giriş, *Derya Kitabevi*
- Uzuner, B.A., 2016, Temel Mühendisliğine Giriş (6. Baskı). Trabzon: *Derya Kitabevi*.
- Uzuner, B.A., 2019, Temel Mühendisliğine Giriş. *Derya Kitabevi*, 7. Basım Trabzon, 187-219
- Vesic, A.S., 1977, Design of Pile Foundations, *Washington, DC*, United States
- Watcharasawe, K., Kitiyodom, P., Jongpradist, P., 2015, Numerical Analyses of Piled Raft Foundation in Soft Soil Using 3D-FEM, *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA*, 46, 1, ISSN 0046-5828
- Wulandari P, S., Tjandra D, 2015., Analysis of Piled Raft Foundation on Soft Soil Using PLAXIS 2D, *Procedia Engineering*, Volume 125, 2015, Pages 363-367, ISSN 1877-7058, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.083>
- Yıldırım, S., 2004, Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı, *Birsen Yayınevi*, İstanbul
- Yeğit, M., Zorluer, İ., 2019. Aynı Zemin Koşullarında Farklı Kazık Gruplarının Performansı. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19 (2), 410-418
- Zienkiewicz, O.C., 1977, The Finite-Element Method 3rd ed., New York, *McGraw- Hill Book Co.*, 787p.
- <https://www.roniak.com.au/service/bored-piles/>
- <https://www.temelteknik.com.tr/en/dikmen-project-bored-pile-works/>

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mevlüt KAÇMAZ

Uyruğu : T.C.