



SUYA DOYGUN KİLLİ ZEMİNDE TASARLANAN KAZIKLI RADYE TEMEL SİSTEMLERİNİN DEFORMASYONA DAYALI OPTİMİZASYONU: KIBRIS ADASI ÖRNEĞİ

Ömür ÇİMEN*, Uğur OSMANOĞLU

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler Öz

*Suya Doymun Killi,
Kazıklı Radye Temel,
Deformasyon,
Optimizasyon.*

Bu çalışmada, Kıbrıs Adası'nın İskele ilçesindeki Long Beach bölgesinde yer alan suya doymun killi zeminde taşıma gücü probleminden dolayı tasarlanan kazıklı radye temel sistemlerinin deformasyona dayalı optimizasyonu yapılmıştır. Çalışmada, temele aktarılan yüklerin tespit edilmesi amacıyla, taşıyıcı sistemi perde+çerçeve olan 60,5 m yüksekliğinde 19 katlı betonarme bina modeli yapılmıştır. Temel tipi ilk olarak radye temel seçilmiştir. Radye temelin üstyapıdan gelen yükü güvenli bir şekilde taşımadığı hesapla gösterilmiş ve ardından kazıklı radye temel tasarımlarına geçilmiştir. Kazıklı radye temel sistemlerinde, değişken parametreler olarak kazık sayısı, kazık çapı ve kazık uzunluğu değerleri kullanılarak, 20 farklı kazıklı radye temel modeli yapılmıştır. Çalışma sonucunda, suya doymun killi zeminde kazık sayısı, kazık çapı ve kazık uzunluğu parametrelerinin oturma ve yanıl deformasyon değerlerini nasıl etkilediği saptanarak deformasyona dayalı optimum model seçilmiştir. Optimum model seçilirken, tasarım maliyetleri de göz önünde bulundurulmuştur.

DEFORMATION BASED OPTIMIZATION OF PILED RAFT FOUNDATION SYSTEMS DESIGNED ON SATURATED CLAY SOIL: THE EXAMPLE OF CYPRUS ISLAND

Keywords

*Saturated Clay,
Piled Raft Foundation,
Deformation,
Optimization.*

Abstract

In this study, optimization based on deformation of piled raft foundation systems designed due to bearing capacity problem in saturated clayey soil in Long Beach region of Iskele district of Cyprus Island has been made. In the study, in order to determine loads transferred to the foundation, a 60,5 m high, 19 storey reinforced concrete building model, whose carrier system is shear wall+frame was made. The foundation type was selected as raft foundation firstly. It has been shown by calculation that the raft foundation does not safely carry the load from the superstructure, and then piled raft foundation designs were adopted. In the pile raft foundation designs, 20 different piled raft foundation models were made by using number of the piles, diameter of the piles and length of the piles as variable parameters. As a result of the study, optimum model based on deformation was selected by determining how number of the piles, diameter of the piles and length of the piles affect the values of settlement and lateral deformation in saturated clayey soil. While selection of optimum model, design costs were also taken into consideration.

Alıntı / Cite

Çimen, Ö., Osmanoğlu, U., (2021). Suya Doymun Killi Zeminde Tasarlanan Kazıklı Radye Temel Sistemlerinin Deformasyona Dayalı Optimizasyonu: Kıbrıs Adası Örneği, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(2), 641-654.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Ö. Çimen, 0000-0002-6138-6029
U. Osmanoğlu, 0000-0002-9434-8504

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	02.04.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	16.04.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	03.05.2021
Yayın Tarihi / Published Date	20.06.2021

* İlgili yazar / Corresponding author: omurcimen@sdu.edu.tr, +90-246-211-1202

1. Giriş (Introduction)

Tüm mühendislik yapıları, temel adı verilen bir tür arayüz elemanı tarafından taşınmalıdır. Temel terimi, bir yapıyı zemine bağlayan yapısal bir elemanı tanımlar (Coduto, 2001). Temellerin işlevi, üstyapı yükünü güvenli ve ekonomik bir şekilde zemine iletmek, yapının güvenilirliğini ve hizmet verebilirliğini sağlamaktır (Sinha ve Hanna, 2017).

Kazıklı radye temel sistemi son zamanlarda birçok yapı, özellikle yüksek binalar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Kazıklı radye temel sisteminde, kazıklar deformasyonların azaltılmasında önemli bir rol oynar ve böylece yapının güvenliğinden ödün vermeden ekonomik bir tasarıma yol açabilir (Nguyen vd., 2013).

Kazıkların betonarme tipler önde olmak üzere üstyapıya güçlü bir şekilde bağlanabilmeleri, böylece taşıyıcı sistemin ayrılmaz bir parçası olarak işlev görmeleri ilginç ve olumlu yanlarıdır. Ancak, kazığın belki de en önemli özelliği, uzunluğu ne olursa olsun sağlam tabakaya oturma gibi bir koşula bağlı olmaması, yani ortamda yüzelebilmeleri nedeniyle geniş bir uygulama alanı bulmaları olarak gösterilebilir. Genel kural olarak kazıklar, aldıkları eksenel yüklerle binada taşıma gücünün artırılması ve binanın olası toplam ve farklı oturumlarını önleme amacı ile kullanılır (Önalp ve Sert, 2016).

Kazıklı radye temeller, hem radye hem de kazık bileşenlerinin taşıma kapasitesi dikkate alındığında, ağır yapısal yüklerle başa çıkabilen en ekonomik temel sistemleri olarak kabul edilmiştir (Akbari vd., 2021). Stratejik olarak yerleştirilmiş sınırlı sayıda kazık kullanılması, hem nihai yük kapasitesini hem de kazıklı radye temel sisteminin deformasyon performansını iyileştirebilir (Poulos, 2001). Uygulamada, kazıklı radye temellerin tasarımı, kazıkların tüm üstyapı yükünü taşıyacağı kabulü ve başlığın, üstyapıdan gelen yükü kazıkların üzerlerine dağıtmak için rijit bir platform olduğu fikrine dayanmaktadır (Sinha ve Hanna, 2017). Kazık gruplarının tasarımı genellikle, aralarında eşit aks mesafeleri olan aynı çap ve uzunluğa sahip kazıkları içerir. Tasarımın bu şekilde yapılmasının sebebi, imalatı kolaylaştırmak ve imalat sırasında oluşabilecek hataları minimuma indirmektir (Leung vd., 2010). Kazık tasarımındaki geleneksel uygulama, radye zemine gömülü olsa bile, radye ile kazık arasındaki yük paylaşımını göz ardı eden kapasite temelli tasarım yaklaşımıdır (Varghese vd., 2019).

Köprüler, yüksek binalar, santral istasyonları, açık deniz platformları ve müzeler gibi yüksek önem taşıyan yapıları desteklemek için kazıklı temellerin önemi göz önüne alındığında, performans ve ekonomi açısından en iyi kazıklı temel tasarımını bulmak bir zorunluluk haline gelmektedir. Gerekli kazık sayısı yüzleri hatta binleri aşabilirken kazıklı temel maliyeti üstyapının inşaat maliyetinin % 20'sini aşabilir (Letsios vd., 2014).

Bu çalışmada, Kıbrıs Adası'nın İskele ilçesinde yer alan suya doymuş killi zeminde tasarlanan kazıklı radye temel sistemlerinin deformasyona dayalı optimizasyonu yapılmıştır. Optimizasyon amacıyla kazıklı radye temel sistemlerinde değişken olarak kazık sayısı, kazık çapı ve kazık uzunluğu değerleri kullanılarak 20 farklı tasarım yapılmıştır. Her bir değişkenin deformasyonu nasıl etkilediğinin araştırılması amacıyla ilk önce kazık sayısı sabit tutulup kazık çapı ve kazık uzunluğu değiştirilmiş, daha sonra kazık çapı sabit tutulup kazık sayısı ve kazık uzunluğu değiştirilmiş, son olarak kazık uzunluğu sabit tutulup kazık sayısı ve kazık çapı değiştirilmiştir. Burada kazık sayısı, kazık uzunluğu ve kazık çapı parametrelerinin sabit tutulması için referans değerlere ihtiyaç vardır. Çalışma kapsamında referans kazık sayısı 105, referans kazık uzunluğu 37 m, referans kazık çapı ise 120 cm olarak seçilmiştir. Çalışmada kazık gruplarının sadece bir eksenindeki kazık sayıları değiştirildiği için 2 boyutlu analiz programı kullanılmıştır. Yapılan 20 farklı tasarım Plaxis 2D isimli sonlu elemanlar analiz programında modellenmiş, analiz edilmiş ve temel sistemlerinde oluşan oturma ve yanal deformasyon değerlerine bakılmıştır. Tasarım ve analizlerden sonra her bir modelin maliyet değerleri hesaplanmıştır. Yapılan tasarımlar, modellemeler, analizler ve maliyet hesapları neticesinde suya doymuş killi zeminde deformasyona dayalı optimum kazıklı radye temel tasarımı saptanmıştır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Kazıklı radye temel sistemlerinin kullanımına olan yüksek talep nedeniyle, araştırmacılar bu sistemin statik ve dinamik yüklemeye altındaki davranışını deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir (Baziar vd., 2018). Alver ve Özden (2015) yapmış oldukları çalışmada kazıklı radye temelin eksenel yük altındaki oturmasını üç boyutlu sonlu elemanlar metodu, Randolph metodu ve eşdeğer radye metodu kullanarak hesaplamışlardır. Çalışmalarında oturmanın kazık uzunluğu ve kazık sayısı parametrelerine göre değişimini göstermişlerdir. Çalışmada kazık uzunluğu ve kazık sayısını değişken parametreler olarak kullanmışlar ve bu değişken parametrelere göre oturumların değişimini göstermişlerdir. Yapılan hesap ve analizlere göre kazık sayısı artarken, oturma değeri belirli bir kazık sayısından sonra azalmamıştır. Oturmanın azalmadığı kazık sayısı ilk durum için ideal çözüm kabul edilmiştir. İkinci durumda ise kazık miktarı sabit tutulmuş kazık uzunluğu ve kazık sayısı değiştirilmiştir. İkinci durumda, kazık uzunluğu arttıkça kazıklı radye temel oturması iyileşmiştir.

Yeğit ve Zorluer (2019) yapmış oldukları çalışmada farklı kazık sayısı, kazık uzunluğu ve kazık çapına sahip kazık gruplarının, aynı üstü yapı yükü ve aynı zemin profili içindeki performansını ampirik formüllerle hesaplayarak, SAP2000 yapı analiz programını ve Plaxis'in 3 boyutlu modelleme ve analiz yapan programını kullanarak incelemişlerdir. Çalışmalarında, kazık sayısındaki artışın kazık grubundaki verimliliği düşürdüğü, kazık çapının artırılmasının (büyük kazık çapları seçilmesinin) yine verimi düşürdüğü, kazık gruplarının yapmış olduğu oturmalarda kazık tabanının temas ettiği zeminin oturmayı etkilediği sonuçlarına ulaşmışlardır.

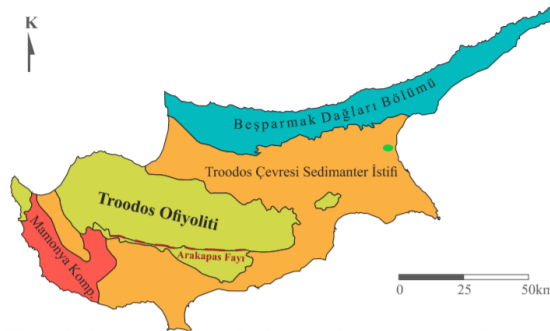
Bozkurt ve Demiröz (2020) yapmış oldukları çalışmada kazık sayısı, uzunluğu ve çapının kazıklı radye temel sistemlerinde oluşan oturma (düşey deformasyon) üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, geliştirilmiş olan örnek bir nümerik model dikkate alınarak, Randolph yöntemine dayanan hesap kodu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

Kardoğan ve Işık (2020) yapmış oldukları çalışmada sıvılaştıran zemindeki yanal yüklü kazık davranışının analiz sonuçları ile literatürden alınan santrifüj deney sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Sayısal analizler FLAC 2D sonlu farklar programı kullanılarak yapılmış elde edilen sonuçlar santrifüj deney sonuçları ile kontrol edilmiştir. Sonuçların birbirleriyle uyumlu olduğunu göstermişlerdir.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Çalışma Alanının Tanıtılması (The Introducing of Study Area)

Kıbrıs Adası'nın karmaşık jeolojisi ile ilgili çalışmalar 1900'lü yılların başlarında başlamış olup çok sayıda araştırmaya konu olmuştur. Kıbrıs Adası'nın jeolojisi, dört ana zonda ele alınır. Bunlar, Trodos Ofiyoliti, Mamonia Bölgesi, Beşparmak Dağları Bölümü, Trodos Çevresi Sedimanter İstifi veya Pliyo-Kuvaterner istifidir (Enar, 2018). Kıbrıs Adası'nın başlıca tektonik bölümleri Şekil 1'de verilmiştir. Çalışma alanı, Şekil 1'de Trodos Çevresi Sedimanter İstifi üzerinde yer alan yeşil nokta ile gösterilen bölgedir.



Şekil 1. Kıbrıs Adası'nın Tektonik Bölümleri (Yurtseven, 2018) (Tectonic Zones of The Island of Cyprus)

Killi zemin alanının lokasyonu, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nin İskele ilçesi sınırları içerisinde bulunan Long Beach bölgesidir. Gazimağusa - Karpaz karayolunun batısında yer alan killi zemin alanının denize olan mesafesi yaklaşık 600 m'dir. Trodos ve Girne Dağları'ndan aşınarak taşınan malzemenin çökmesiyle oluşan Mesarya Ovası'nda yer alan killi zemin alanı düz bir topografyaya sahip olup saha kotları +2.0 m ila +4.0 m arasında değişmektedir. Kuzey ve Doğu cepheleri boş parseller ile çevrelenmiş olan killi zemin alanının Batı ve Güney cepheleri Akdeniz'e dökülen aktif dere yatağı tarafından sınırlanmaktadır. Killi zemin alanında 9 adet zemin araştırma sondajı yapılmıştır. Sondajlara dayanan elde edilen bulgulardan hareketle oluşturulan zemin profili esas olarak tek bir birimden oluşmaktadır (Enar, 2018).

Zemin araştırma sondajlarında her 1.5 m'de bir Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapılmış ve penetrasyon dirençleri kaydedilmiştir. Sondajlara ait bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

Killi zemin alanında yapılan zemin araştırma sondajlarında yer altı suyu ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde sondaj kuyularında 2.0 m - 4.0 m derinlikte su ile karşılaşmıştır. Sondajlarda karşılaşılan yer altı suyu seviyesi deniz tarafından kontrol edilmektedir. Diğer bir deyişle, killi zemin alanında yer altı suyu seviyesi deniz suyu seviyesi (± 0.00 m) olarak kabul edilmiştir (Enar, 2018).

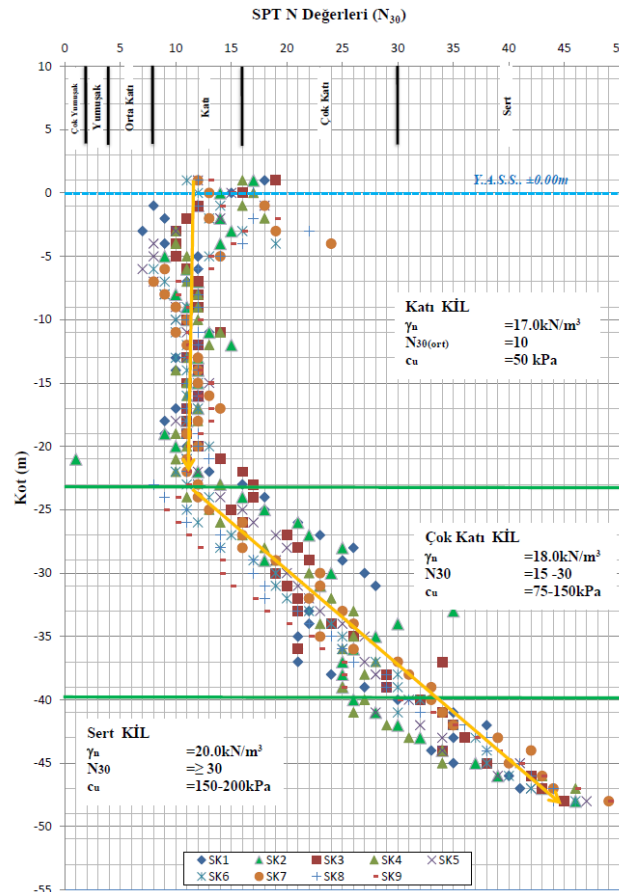
Tablo 1. Sondajlara Ait Bilgiler (Enar, 2018) (Informations About Soundings)

Sondaj No	Derinlik (m)	Ağız Kotu (m)	Taban Kotu (m)	Yer Altı Suyu Kotu (m)
SK1	50.00	2.00	-48.00	±0.00
SK2	50.00	2.00	-48.00	
SK3	50.00	2.00	-48.00	
SK4	50.00	2.00	-48.00	
SK5	50.00	2.00	-48.00	
SK6	50.00	2.00	-48.00	
SK7	50.00	2.00	-48.00	
SK8	50.00	2.00	-48.00	
SK9	50.00	2.00	-48.00	

Zemin araştırma sondajlarında saha yüzeyinden itibaren karşılaşılan siltli kil birim içerisinde yapılan SPT deneylerinde -24.0 m kotuna kadar kaydedilen SPT-N darbe sayıları $N_{30}=8-12$ arası değişmekte olup, bu veriler doğrultusunda siltli kil birimin "katı" kıvama sahip olduğu değerlendirilmiştir (Sivrikaya ve Toğrol, 2019).

Aynı birim daha alt seviyelerinde (-24.0 m ila -40.0 m arası) yapılan SPT deneylerinde elde edilen darbe sayıları ise $N_{30}=15-30$ arasında değişmektedir. Bu darbe sayıları uyarınca siltli kil birimin bu seviyelerinin "çok katı" kıvama sahip olduğu saptanmıştır (Sivrikaya ve Toğrol, 2019). Çok katı kıvama sahip siltli kil birimin altında ise, -40.0 m kotundan itibaren, sert kıvama sahip, sarımsı-açık kahve renkli kil birime girilmiş ve sondajlar bu birim içerisinde sonlandırılmıştır. Bu birim içerisinde elde edilen standart penetrasyon deneyi (SPT) darbe sayıları $N_{30} \geq 30$ mertebesindedir (Enar, 2018).

Sondajlarda karşılaşılan kil tabakaları içerisinde yapılan SPT deneylerinde kaydedilen N_{30} değerlerinin derinliğe bağlı dağılımını gösteren grafik, Şekil 2'de verilmiştir.

**Şekil 2.** SPT-Derinlik Dağılım Grafiği (Enar, 2018) (SPT-Depth Distribution Graph)

3.1.1. Zemin Tabakalarının Mekanik Özellikleri (Mechanical Properties of Soil Layers)

Killi zemin profilini oluşturan kil tabakalarından alınmış olan örselenmemiş zemin numuneleri üzerinde, serbest basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Zemin numuneleri üzerinde yapılan tek eksenli basınç mukavemeti deneylerinden elde edilen, serbest basınç mukavemeti (q_u) ve kohezyon (c_u) değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Serbest Basınç Deney Sonuçları (Enar, 2018) (Unconfined Pressure Test Results)

Sondaj No	Derinlik (m)	Serbest Basınç Deneyi		Sondaj No	Derinlik (m)	Serbest Basınç Deneyi	
		q_u (kPa)	c_u (kPa)			q_u (kPa)	c_u (kPa)
SK1	2,70	145,30	72,65	SK5	33,50	192,50	96,25
SK1	4,50	93,43	46,72	SK5	36,50	239,62	119,81
SK1	43,50	463,54	231,77	SK5	39,50	278,73	139,37
SK1	45,50	233,33	116,67	SK5	42,50	377,24	188,62
SK1	46,50	301,94	150,97	SK5	44,50	416,50	208,25
SK1	48,50	455,64	227,82	SK5	46,50	434,57	217,29
SK1	49,25	511,01	255,51	SK5	49,25	494,73	247,37
SK2	37,50	269,68	134,84	SK6	35,50	259,45	129,73
SK2	41,50	330,88	165,44	SK6	38,50	323,19	161,60
SK2	43,50	398,88	199,44	SK6	41,50	339,38	169,69
SK2	45,50	430,64	215,32	SK6	44,50	402,74	201,37
SK2	47,50	491,37	245,69	SK6	47,50	460,95	230,48
SK2	49,50	499,80	249,90	SK6	49,50	495,22	247,61
SK3	32,50	136,20	68,10	SK7	37,50	165,64	82,82
SK3	37,50	251,66	125,83	SK7	40,50	302,59	151,30
SK3	40,50	312,42	156,21	SK7	43,50	389,53	194,77
SK3	42,50	392,85	196,43	SK7	46,50	424,07	212,04
SK3	44,50	399,83	199,92	SK7	49,50	459,24	229,62
SK3	47,50	446,41	223,21	SK8	45,50	340,17	170,09
SK4	30,50	306,94	153,47	SK8	47,50	359,83	179,92
SK4	32,50	263,37	131,69	SK8	48,50	418,95	209,48
SK4	35,50	272,76	136,38	SK8	49,50	488,07	244,04
SK4	38,50	302,43	151,22	SK9	45,50	365,81	182,91
SK4	40,50	333,70	166,85	SK9	46,50	399,20	199,60
SK4	42,50	400,56	200,28	SK9	48,50	444,42	222,21
SK4	45,50	402,46	201,23	SK9	49,50	504,76	252,38
SK4	48,50	481,86	240,93				

Tablo 2’den görüldüğü üzere killi zemin alanı zemin profilinde yer alan sarımsı-açık kahve renkli kil birimin -35.0 m ila -40.0 m kotları arasında yer alan çok katı kıvamlı seviyeleri için kohezyon değeri $c_u = 110-150$ kPa, -40.0 m kotundan sonra karşılaşılan sert kıvamlı seviyeleri için kohezyon değeri ise $c_u = >180$ kPa’dır (Enar, 2018).

3.1.2. Zemin Tabakalarının Mühendislik Özellikleri (Engineering Properties of Soil Layers)

Killi zemin alanının zemin profili içerisinde yer alan tabakalar için seçilmiş olan mühendislik parametreleri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Zemin Profilindeki Tabakaların Mühendislik Özellikleri (Enar, 2018) (Engineering Properties of The Layers in The Soil Profile)

Tabaka	Katı Kil	Çok Katı Kil	Sert Kil
Kot (m)	±0.00-(-20.00)	-20.0-(-40.0)	-40.0-devamı
Doğal Birim Hacim Ağırlığı (γ_n) (KN/m ³)	18	19	20
Ortalama SPT Darbe Sayısı (N_{60})	5-12	15-30	35-50
Elastisite Modülü (E_s) (kPa)	6000	15000	24000
İçsel Sürtünme Açısı	-	-	-
Drenajsız Kohezyon (c_u) (kPa)	50	100-140	180-200

3.2. Kullanılan Programların Tanıtılması (The Introducing of Programs Used)

3.2.1. Plaxis 2D (Plaxis 2D)

Plaxis programı ilk olarak 1986 yılında, Hollanda da bulunan Delft Teknik Üniversitesi ve Hollanda Ulaştırma Bakanlığının ortak çalışması ile geliştirilmiştir. Program, sonlu elemanlar yöntemini geoteknik problemlerinde kullanmak amacı ile geliştirilmiştir. Plaxis tüm sistemi “mesh” adı verilen elemanlara böler. Her eleman tercihe göre 6 veya 15 düğüm noktasından oluşturulur. Zeminin gerilme-şekil değiştirme davranışını tespit edebilmek için sonlu elemanlar analizi içerisinde sayısal malzeme modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerin amacı zemin davranışlarını, zemin-yapı etkileşimini gösterebilecek benzer ortam sunmaktır. Modeller, gerilme-şekil değiştirme arasındaki ilişkiyi açıklayabilmek için elastisite ve plastisite teorilerine dayanan matematiksel tanımlar içerir. (Kabakçı, 2017).

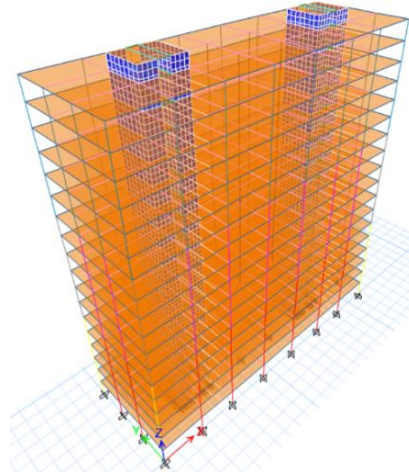
3.2.2. Etabs (Etabs)

Etabs programı 1975 yılında kurulan ve yazılımları 2008 yılından itibaren ISO 9001 kalite sertifikasına sahip CSI firmasının bir yazılımı olup birçok üniversiteden kullandığı yöntemlerin ve sonuçların güvenilirliği bakımından onay almış olması nedeniyle referans yazılım olarak kullanılmaktadır. Bina türü yapıların 3 boyutlu statik analizi ve tasarımı için tasarlanmıştır. Etabs programında bütün yapı sistemleri için analiz ve dizayn imkanı bütün farklı analiz yöntemlerinin kullanımına da imkan verecek şekilde, çubuk elemanlarda matris deplasman, kabuk elemanlarda sonlu elemanlar metodunu kullanmaktadır. Çizim modülü diğer programlara nazaran daha sınırlı kullanılmaktadır (Özden, 2020).

4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

4.1. Üstyapı Modellemesi ve Temele Aktarılan Gerilmeler (Superstructure Modeling and Stresses Transferred to The Foundation)

Suya doymun killi zeminde tasarımı yapılacak temel tipinin doğru bir şekilde belirlenmesi için üstyapıdan temele aktarılacak aksenal yük değerine ihtiyaç vardır. Bu sebepten dolayı Etabs V18 programında taşıyıcı sistemi perde+çerçeve olan 19 katlı 60,5 m yüksekliğinde betonarme bina modeli yapılmıştır. Betonarme binanın oturma alanı dikdörtgen şeklinde olup 18x54 m boyutlarındadır. Betonarme bina modelinde kullanılan hareketli yük ve kar yükü değerleri TS 498 (1987)'den, rüzgar yükü parametreleri ise TS EN 1991-1-4, (2007)'den alınmıştır. Betonarme bina modeli TS 500 (2000) standardına ve TBDY (2018) yönetmeliğine uygun olarak yapılmıştır. Modelin 3 boyutlu görseli Şekil 3'te verilmiştir. Betonarme bina modelinde en büyük yer ivmesi olarak 0,455g değeri kullanılmıştır.



Şekil 3. Üstyapı 3D Modeli (Superstructure 3D Model)

Betonarme binanın modellenmesi ve analizi sonucunda farklı yük kombinasyonları için temele aktarılan eksenel yük değerleri Tablo 4’de verilmiştir. Kombinasyonlarda G zati yükü, Q ise hareketli yükü simgelemektedir. Tablo 4’den görüleceği üzere farklı yük kombinasyonları için temele aktarılan en büyük eksenel yük değeri 430924 KN mertebesindedir.

Tablo 4. Farklı Yük Kombinasyonları İçin Temele Aktarılan Eksenel Yük Değerleri (Axial Load Values Transferred to The Foundation For Different Load Combinations)

Kombinasyon	Eksenel Yük (KN)
1,4G+1,6Q	374709
G+Q	262628
Depremli Kombinasyonlar (En Büyük Değer)	430924
Rüzgarlı Kombinasyonlar (En Büyük Değer)	308423

Temel tasarımında dikkate alınan üstyapı yük değeri 430924 KN’dir. Temel tipi olarak ilk önce radye temel sistemi seçilmiştir. Üstyapının plan boyutları dikkate alınarak radye temelin plan boyutları 21x57 m ebatlarında derinliği ise 2 m olarak belirlenmiştir. Suya doymun killi zeminde radye temelin taşıma gücü hesabı Eşitlik (1)’e göre yapılmıştır (Orhan, 2020). Eşitlik (1)’de q_k radye temel taşıma gücünü, c zeminin drenajsız kohezyonunu, B radye temelin genişliğini, L radye temelin uzunluğunu, D_f ise radye temelin derinliğini simgelemektedir. Yapılan hesapta radye temel taşıma gücü güvenlik katsayısı 1.4 olarak alınmıştır. Radye temel taban basıncı Eşitlik (2)’ye göre hesaplanmıştır (Orhan, 2020). Eşitlik (2)’de q_t radye temel taban basıncını, P üstyapıdan temele aktarılan maksimum eksenel yükü, W_f radye temel ağırlığını, U_D ise temel derinliğindeki boşluk suyu basıncını simgelemektedir.

$$q_k = 5.14 \times c \times \left(1 + \frac{0.195 \times B}{L}\right) \times \left(1 + 0.4 \times \frac{D_f}{B}\right) \quad (1)$$

$$q_t = \left(\frac{P + W_f}{B \times L}\right) - U_D \quad (2)$$

Yapılan hesaplar neticesinde suya doymun killi zeminde radye temel taban basıncı 390 kPa mertebesinde iken, radye temel emniyetli taşıma gücü ($q_k/1.4$) 204 kPa mertebesinde bulunmuştur. Suya doymun killi zeminin, üstyapıdan gelen yükü yüzeysel temel vasıtasıyla emniyetli bir şekilde taşıyamadığı hesapla gösterilmiştir. Bu durumda, taşıma gücü probleminden dolayı radye temel tasarımı yetersiz görülmüş ve derin temel tasarımına gidilmiştir.

4.2. Kazıklı Radye Temel Tasarımları (Piled Raft Foundation Designs)

Bu çalışma kapsamında kazık parametlerinin (kazık sayısı, kazık çapı ve kazık uzunluğu) kazıklı radye temel sisteminde oluşan deformasyon (oturma ve yanal deformasyon) değerlerine etkilerinin incelenmesi amacıyla

kazıklar farklı sayı, çap ve uzunluklarda, üstyapıdan temele aktarılan maksimum eksenel yükü taşıyacak şekilde tasarlanmışlardır. Kazıklı radye temel tasarımlarında bütün yükün kazıklar tarafından taşındığı kabulü yapılmıştır. Kazıklar kombine kazık olarak tasarlanmışlardır. Kazık kapasite değerleri statik taşıma gücü formüllerinden faydalanılarak hesaplanmıştır (Das, 2010). Kazık uç direnci hesapları Eşitlik (3)'e göre, kazık sürtünme direnci hesapları ise Eşitlik (4)'e göre yapılmıştır. Eşitlik (3)'te Q_k kazık uç direncini, c_u kazık ucunun altındaki zeminin drenajsız kohezyonunu, A_p ise kazık ucundaki enkesit alanını simgelemektedir. Eşitlik (4)'de Q_s kazık sürtünme direncini, α yapışma-adezyon faktörünü, c_u drenajsız kohezyonu, p kazık kesitinin çevresini, ΔL ise zemin tabakasındaki kazık uzunluğunu simgelemektedir.

$$Q_k = 9.c_u.A_p \quad (3)$$

$$Q_s = \sum_{L=0}^{L=L_1} \alpha.c_u.p.\Delta L \quad (4)$$

Kazık sayısı, kazık çapı ve kazık uzunluğu değerlerinin deformasyonlara etkilerinin araştırılması için kazık tasarımlarında öncelikle kazık sayısı sabit tutulup kazık çapı ve uzunluğu değiştirilmiş, daha sonra kazık çapı sabit tutulup kazık sayısı ve uzunluğu değiştirilmiş, son olarak da kazık uzunluğu sabit tutulup kazık sayısı ve çapı değiştirilmiştir. Burada kazık sayısı, kazık uzunluğu ve kazık çapı parametrelerinin sabit tutulması için referans değerlere ihtiyaç vardır. Referans kazık parametre değerleri Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Referans Kazık Parametre Değerleri (Reference Pile Parameter Values)

Kazık Sayısı	Kazık Uzunluğu (m)	Kazık Çapı (cm)
15x7 (105)	37	120

Kazık sayısının sabit tutulup kazık çapı ve kazık uzunluğunun değiştirilmesiyle oluşturulan modellere ait parametreler Tablo 6'da, kazık çapının sabit tutulup kazık uzunluğu ve kazık sayısının değiştirilmesiyle oluşturulan modellere ait parametreler Tablo 7'de, kazık uzunluğunun sabit tutulup kazık çapı ve kazık sayısının değiştirilmesiyle oluşturulan modellere ait parametreler ise Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 6. Kazık Sayısının Sabit Tutulup, Kazık Çapı ve Kazık Uzunluğunun Değiştirilmesiyle Oluşturulan Modellere Ait Parametreler (Parameters Belonging to Models Created by Keeping The Number of Piles Constant and Changing The Pile Diameter and Pile Length)

Model	Kazık Sayısı	Kazık Uzunluğu (m)	Kazık Çapı (cm)	Kazık Grubunun Kapasitesi (KN)	Üstyapı+Radye Temel Ağırlığı (KN)
Model 1	15x7 (105)	29	150	493135	490774
Model 2	15x7 (105)	32	140	507664	
Model 3	15x7 (105)	33	135	501181	
Model 4	15x7 (105)	34	130	493833	
Model 5	15x7 (105)	35	125	491423	
Model 6	15x7 (105)	36	125	505222	
Model 7	15x7 (105)	37	120	495144	
Model 8	15x7 (105)	38,5	115	496273	
Model 9	15x7 (105)	39,5	110	501058	
Model 10	15x7 (105)	42,5	100	496049	

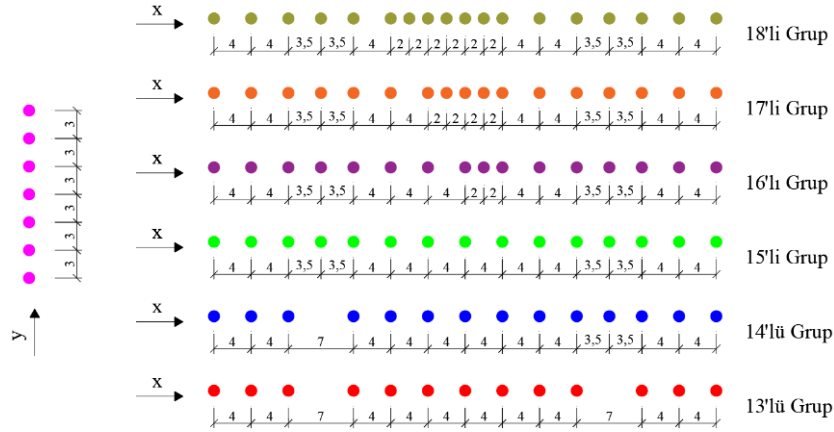
Tablo 7. Kazık Çapının Sabit Tutulup, Kazık Uzunluğu ve Kazık Sayısının Değiştirilmesiyle Oluşturulan Modellere Ait Parametreler (Parameters Belonging to Models Created by Keeping The Pile Diameter Constant and Changing The Pile Length and Number of Piles)

Model	Kazık Sayısı	Kazık Uzunluğu (m)	Kazık Çapı (cm)	Kazık Grubunun Kapasitesi (KN)	Üstyapı+Radye Temel Ağırlığı (KN)
Model 11	18x7 (126)	31,5	120	493914	490774
Model 12	17x7 (119)	33,5	120	496502	
Model 13	16x7 (112)	35	120	494192	
Model 14	14x7 (98)	39	120	498907	
Model 15	13x7 (91)	40,5	120	495038	

Tablo 8. Kazık Uzunluğunun Sabit Tutulup, Kazık Çapı ve Kazık Sayısının Değiştirilmesiyle Oluşturulan Modellere Ait Parametreler (Parameters Belonging to Models Created by Keeping The Pile Length Constant and Changing The Pile Diameter and Number of Piles)

Model	Kazık Sayısı	Kazık Uzunluğu (m)	Kazık Çapı (cm)	Kazık Grubunun Kapasitesi (KN)	Üstyapı+Radye Temel Ağırlığı (KN)
Model 16	18x7 (126)	37	105	510082	490774
Model 17	17x7 (119)	37	110	507922	
Model 18	16x7 (112)	37	115	502960	
Model 19	14x7 (98)	37	130	506948	
Model 20	13x7 (91)	37	135	491883	

Yapılan tasarımlarda gruptaki değişken kazık sayıları 18'li (18x7=126 adet), 17'li (17x7=119 adet), 16'lı (16x7=112 adet), 15'li (15x7=105 adet), 14'lü (14x7=98 adet) ve 13'lü (13x7=91 adet) olarak seçilmiştir. 18'li, 17'li, 16'lı, 15'li, 14'lü ve 13'lü kazık içeren gruptaki kazıkların eksen mesafeleri Şekil 4'de verilmiştir. Şekilde verilen ölçüler m cinsindedir. Tüm tasarımlarda kazıkların y eksenindeki eksen mesafeleri aynıdır.



Şekil 4. Farklı Tasarım Gruplarındaki Kazıkların Eksen Mesafeleri (Axis Distances of Piles in Different Design Groups)

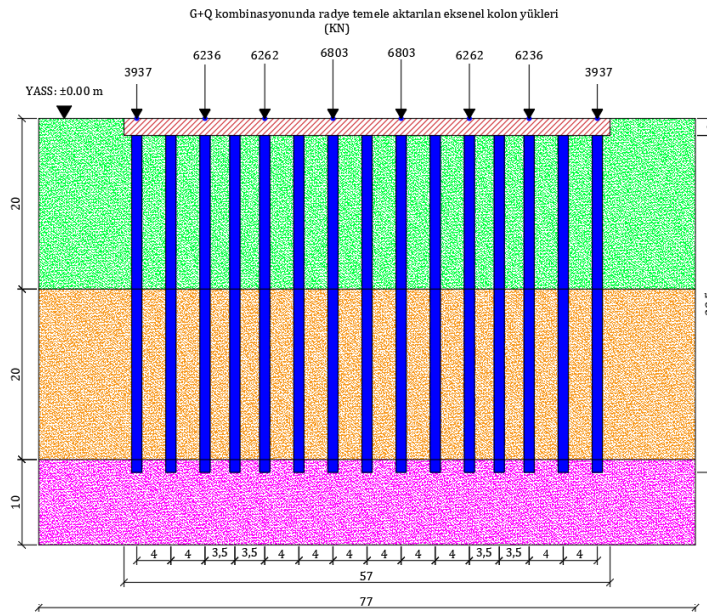
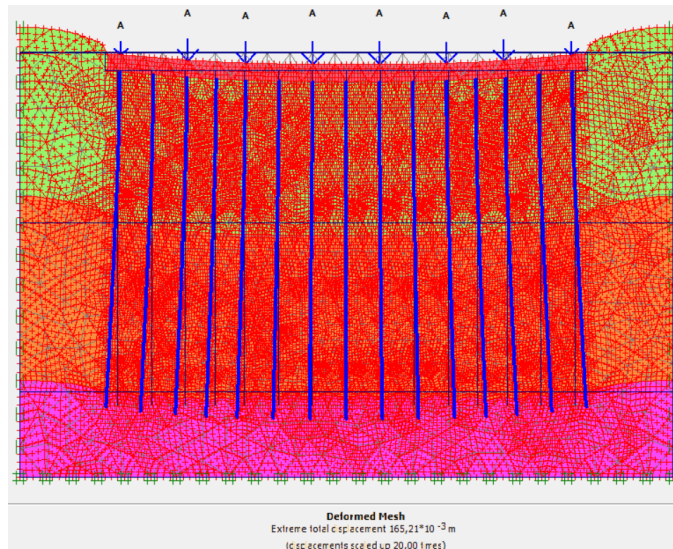
4.3. Kazıklı Radye Temel Modelleme ve Analizleri (Piled Raft Foundation Modeling and Analyses)

Bu çalışma kapsamında suya doymuş killi zemin ortamında tasarlanan 20 farklı kazıklı radye temel tasarımının modelleme ve analizleri Plaxis 2D isimli sonlu elemanlar analiz programında gerçekleştirilmiştir. Modelleme ve analizlerde kullanılan killi zemin tabakalarına ait mühendislik parametreleri Tablo 9'da verilmiştir. Poisson oranı değerleri literatürde yer alan bilgilerden alınmıştır (Orhan, 2020).

Tablo 9. Killi Zemin Tabakalarına Ait Mühendislik Parametreleri (Engineering Parameters of Clayey Soil Layers)

Parametre	Katı Kil tabakası ±0.00 m-(-20.00 m)	Çok Katı Kil Tabakası -20.00 m-(-40.00 m)	Sert Kil Tabakası -40.00 m-(-50.00 m)
Malzeme Modeli	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Malzeme Tipi	Drenajsız	Drenajsız	Drenajsız
Birim Hacim Ağırlık γ_n (KN/m ³)	18	19	20
Elastisite Modülü (KN/m ²)	6000	15000	24000
Poisson Oranı (ν)	0,35	0,35	0,35
Kohezyon (kPa)	50	120	190
İçsel Sürtünme Açısı	-	-	-

Plaxis 2D modellerinde kazıklı radye temel sistemlerinin deformasyon değerleri, çalışma yükünde (üstyapıdan G+Q kombinasyonunda temele aktarılan eksenel yük değerleri) hesap edilmiştir. Örnek model geometrisi Şekil 5'de, örnek modelin Plaxis programında analizi sonucu elde edilen deforme olmuş geometrisi ise Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 5'de verilen uzunluk ölçüleri m cinsindedir.

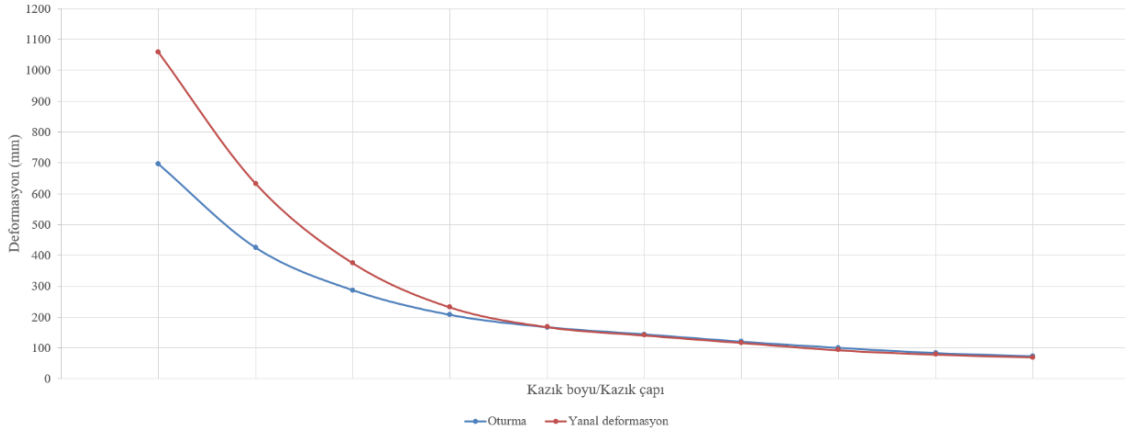
**Şekil 5.** Örnek Model Geometrisi (Sample Model Geometry)**Şekil 6.** Örnek Modelin Deforme Olmuş Geometrisi (Deformed Geometry of The Sample Model)

Kazık sayısının sabit tutulup kazık çapı ve kazık uzunluğunun değiştirilmesiyle oluşturulan modellere ait deformasyon değerleri (oturma ve yanal deformasyon) Tablo 10'da ve bu değişkenlere göre deformasyon

değerlerinin değişimini gösteren grafik Şekil 7’de, kazık çapının sabit tutulup kazık uzunluğu ve kazık sayısının değiştirilmesiyle oluşturulan modellere ait deformasyon değerleri Tablo 11’de ve bu değişkenlere göre deformasyon değerlerinin değişimini gösteren grafik Şekil 8’de, kazık uzunluğunun sabit tutulup kazık çapı ve kazık sayısının değiştirilmesiyle oluşturulan modellere ait deformasyon değerleri Tablo 12’de ve bu değişkenlere göre deformasyon değerlerinin değişimini gösteren grafik Şekil 9’da verilmiştir. Yapılan modelleme ve analizler neticesinde en düşük oturma ve yanal deformasyon değerleri Model 10’da bulunmuştur.

Tablo 10. Kazık Sayısının Sabit Tutulup, Kazık Çapı ve Kazık Uzunluğunun Değiştirilmesiyle Oluşturulan Modellere Ait Deformasyon Değerleri (Deformation Values Belonging to Models Created by Keeping The Number of Piles Constant and Changing The Pile Diameter and Pile Length)

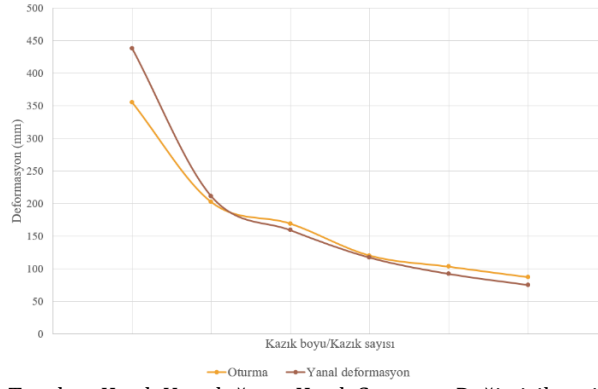
Model	Kazık Sayısı	Kazık Uzunluğu (m)	Kazık Çapı (cm)	Oturma (mm)	Yanal Deformasyon (mm)
Model 1	15x7 (105)	29	150	696	1058
Model 2	15x7 (105)	32	140	425	633
Model 3	15x7 (105)	33	135	287	375
Model 4	15x7 (105)	34	130	207	232
Model 5	15x7 (105)	35	125	167	168
Model 6	15x7 (105)	36	125	144	141
Model 7	15x7 (105)	37	120	120	117
Model 8	15x7 (105)	38,5	115	100	93
Model 9	15x7 (105)	39,5	110	83	79
Model 10	15x7 (105)	42,5	100	73	70



Şekil 7. Kazık Sayısının Sabit Tutulup, Kazık Çapı ve Kazık Uzunluğunun Değiştirilmesiyle Oluşturulan Modellere Ait Deformasyon Değerlerinin Değişimi (Change of Deformation Values Belonging to Models Created by Keeping The Number of Piles Constant and Changing The Pile Diameter and Pile Length)

Tablo 11. Kazık Çapının Sabit Tutulup, Kazık Uzunluğu ve Kazık Sayısının Değiştirilmesiyle Oluşturulan Modellere Ait Deformasyon Değerleri (Deformation Values Belonging to Models Created by Keeping The Pile Diameter Constant and Changing The Pile Length and Number of Piles)

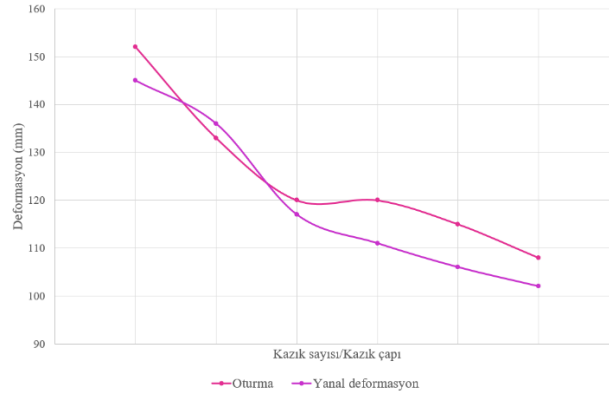
Model	Kazık Sayısı	Kazık Uzunluğu (m)	Kazık Çapı (cm)	Oturma (mm)	Yanal Deformasyon (mm)
Model 11	18x7 (126)	31,5	120	355	438
Model 12	17x7 (119)	33,5	120	202	211
Model 13	16x7 (112)	35	120	169	159
Model 14	14x7 (98)	39	120	103	92
Model 15	13x7 (91)	40,5	120	87	75



Şekil 8. Kazık Çapının Sabit Tutulup, Kazık Uzunluğu ve Kazık Sayısının Değiştirilmesiyle Oluşturulan Modellere Ait Deformasyon Değerlerinin Değişimi (Change of Deformation Values Belonging to Models Created by Keeping The Pile Diameter Constant and Changing The Pile Length and Number of Piles)

Tablo 12. Kazık Uzunluğunun Sabit Tutulup, Kazık Çapı ve Kazık Sayısının Değiştirilmesiyle Oluşturulan Modellere Ait Deformasyon Değerleri (Deformation Values Belonging to Models Created by Keeping The Pile Length Constant and Changing The Pile Diameter and Number of Piles)

Model	Kazık Sayısı	Kazık Uzunluğu (m)	Kazık Çapı (cm)	Oturma (mm)	Yanal Deformasyon (mm)
Model 16	18x7 (126)	37	105	108	102
Model 17	17x7 (119)	37	110	115	106
Model 18	16x7 (112)	37	115	120	111
Model 19	14x7 (98)	37	130	133	136
Model 20	13x7 (91)	37	135	152	145



Şekil 9. Kazık Uzunluğunun Sabit Tutulup, Kazık Çapı ve Kazık Sayısının Değiştirilmesiyle Oluşturulan Modellere Ait Deformasyon Değerlerinin Değişimi (Change of Deformation Values Belonging to Models Created by Keeping The Pile Length Constant and Changing The Pile Diameter and Number of Piles)

4.4. Kazık Maliyet Hesapları (Pile Cost Calculations)

Suya doymun killi zeminde tasarlanan fore kazıkların maliyet hesapları T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı 2020 inşaat birim fiyat tarifleri eki fiyat listesi esas alınarak yapılmıştır. Fore kazık işlerine ait birim fiyat listesi Tablo 13'te verilmiştir. Buradaki maliyet hesaplarında foraj ve beton bedeli dahil, demir bedeli hariçtir.

Tablo 13. Fore Kazık Birim Fiyat Listesi (Bored Pile Unit Price List)

Birim Fiyat (TL/m)	
Kazık Çapı (cm)	Kazık Uzunluğu 18-36 m Arası, 36 m Dahil
80	408,55
100	623,74
120	862,09
165	1460,16

Suya doymun killi zeminde çapları 100 ile 150 cm arasında değişen farklı çapta kazıklar tasarlanmıştır. Ayrıca uzunluğu 36 m'yi aşan kazıklar da mevcuttur.

Çalışma kapsamında tasarlanan kazıkların birim fiyat listesi, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı 2020 inşaat birim fiyat tarifleri eki fore kazık işleri fiyat listesindeki değerlerin (Tablo 13) ortalamaları alınarak hazırlanmıştır. Kazıkların birim fiyat listesi Tablo 14’de, modellere ait maliyet ve toplam deformasyon (oturma+yanal deformasyon) değerleri ise Tablo 15’de verilmiştir. Yapılan maliyet hesapları neticesinde en düşük maliyet Model 10’da, en yüksek maliyet ise Model 19’da bulunmuştur.

Tablo 14. Çalışma Kapsamında Tasarlanan Kazıklara Ait Birim Fiyat Listesi (Unit Price List of Piles Designed Within Scope of The Study)

Birim Fiyat (TL/m)		
Kazık Çapı (cm)	Kazık Uzunluğu 18-36 m Arası, 36 m Dahil	Kazık Uzunluğu 36 m Sonrası
100	623,74	692,94
105	683,3275	759,94
110	742,915	826,94
115	802,5025	893,94
120	862,09	960,94
125	928,5422	1038,3756
130	994,9944	1115,8112
135	1061,4466	1193,2468
140	1127,8988	1270,6824
150	1260,8032	1425,5536

Tablo 15. Modellere Ait Maliyet ve Toplam Deformasyon Değerleri (Cost and Total Deformation Values of Models)

Model	Kazık Sayısı	Kazık Uzunluğu (m)	Kazık Çapı (cm)	Birim Fiyat (TL/m)	Maliyet (TL)	Toplam Deformasyon (mm) (Oturma+Yanal Deformasyon)
Model 1	105	29	150	1260,8032	3839146	1754
Model 2	105	32	140	1127,8988	3789740	1058
Model 3	105	33	135	1061,4466	3677912	662
Model 4	105	34	130	994,9944	3552130	439
Model 5	105	35	125	928,5422	3412393	335
Model 6	105	36	125	928,5422	3509890	285
Model 7	105	37	120	960,94	3733252	237
Model 8	105	38,5	115	893,94	3613752	193
Model 9	105	39,5	110	826,94	3429734	162
Model 10	105	42,5	100	692,94	3092245	143
Model 11	126	31,5	120	862,09	3421635	793
Model 12	119	33,5	120	862,09	3436722	413
Model 13	112	35	120	862,09	3379393	328
Model 14	98	39	120	960,94	3672713	195
Model 15	91	40,5	120	960,94	3541544	162
Model 16	126	37	105	759,94	3542840	210
Model 17	119	37	110	826,94	3641017	221
Model 18	112	37	115	893,94	3704487	231
Model 19	98	37	130	1115,8112	4045931	269
Model 20	91	37	135	1193,2468	4017662	297

5. Sonuç (Result)

Bu çalışmada, Kıbrıs Adası'nın İskele ilçesinde yer alan suya doygun killi zeminde taşıma gücü probleminden dolayı tasarlanan kazıklı radye temel sistemlerinin deformasyona (oturma ve yanal deformasyon) dayalı optimizasyonu yapılmıştır. Çalışmada 20 farklı kazıklı radye temel modeli yapılmış ve bu modellerde değişken parametreler olarak kazık sayısı, kazık çapı ve kazık uzunluğu değerleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda

maddeler halinde verilmiştir.

- Suyu doymuş killi zeminde, kazık sayısı sabit iken kazık uzunluğu artırılıp kazık çapı azaltıldıkça oturma ve yanal deformasyon değerlerinin belirgin bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir. Yanal deformasyon, oturmaya nazaran daha da belirgin bir şekilde azalmıştır.
- Suyu doymuş killi zeminde, kazık çapı sabit iken kazık uzunluğu artırılıp kazık sayısı azaltıldıkça oturma ve yanal deformasyon değerlerinin belirgin bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir.
- Suyu doymuş killi zeminde, kazık uzunluğu sabit iken kazık sayısı artırılıp kazık çapı azaltıldıkça oturma ve yanal deformasyon değerlerinin doğrusala yakın bir biçimde azaldığı tespit edilmiştir.
- Suyu doymuş killi zeminde tasarlanan kazıklı radye temel sistemlerinde deformasyonları azaltmanın en iyi yolunun kazık uzunluğunu artırmak olduğu tespit edilmiştir.
- Suyu doymuş killi zeminde tasarlanan 20 farklı kazıklı radye temel modelinin maliyet ve toplam deformasyon değerleri hesaplanmış ve yapılan hesaplar neticesinde deformasyon tabanlı optimum tasarım "Model 10" seçilmiştir. "Model 10" için kazık sayısı 105, kazık çapı 100 cm, kazık uzunluğu ise 42,5 m'dir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Akbari, A., Eslami, A., Nikookar, M., 2021. Influence of Soil Stiffness on The Response of Piled Raft Foundations Under Earthquake Loading. *Transportation Infrastructure Geotechnology*.
- Alver, O., Özden, G., 2015. Tabakalı Zeminlerde Kazıklı Radye Temellerin Optimum Tasarımı. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 17 (49), 13-26.
- Baziar, M.H., Rafiee, F., Lee, C.J., Azizkandi, A.S., 2018. Effect of Superstructure on The Dynamic Response of Nonconnected Piled Raft Foundation Using Centrifuge Modeling. *International Journal of Geomechanics*, 18 (10).
- 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.
- Coduto, D.P., 2001. *Foundation Design: Principles and Practices*. New Jersey: Prentice Hall.
- Das, B., 2010. *Principles of Foundation Engineering*. Stamford, United States of America: Cengage Learning.
- Enar Mühendislik Mimarlık ve Danışmanlık Ltd. Şti., 2018. "Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti İskele İlçesi Konut Projesine Ait Sondaja Dayalı Temel ve Zemin Etüd Raporu" İskele, KKTC.
- Kabakçı, İ., 2017. Zemin Çivili Duvarların Tasarım İlkeleri ve Snap-2, Snailz, Plaxis, Slide Programları ile İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kardoğan, P.S.Ö., Işık, N.S., 2020. A Verification Analysis for Piles in Liquefiable Soil. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8 (3), 712-719.
- Letsios, C., Lagaros, N.D., Papadarakakis, M., 2014. Optimum Design Methodologies for Pile Foundations in London. *Case Studies in Structural Engineering*, 2, 24-32.
- Leung, Y.F., Klar, A., Soga, K., 2010. Theoretical Study on Pile Length Optimization of Pile Groups and Piled Rafts. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 136, 319-320.
- Nguyen, D.D.C., Jo, S.B., Kim, D.S., 2013. Design Method of Piled-Raft Foundations Under Vertical Load Considering Interaction Effects. *Computers and Geotechnics*, 47, 16-27.
- Orhan, M., 2020. *Geoteknik Mühendisliği ve Temel İnşaatı I*. Ankara: Gazi Kitabevi.
- Önalp, A., Sert, S., 2016. *Geoteknik Bilgisi III Bina Temelleri*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Özden, C., 2020. Statik Betonarme Projeleri Ulusal Yapı Analiz Programları ile Yapılan Dolgulu Dişli Döşemeli Binaların Etabs Analiz Programı ile İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- Poulos, H.G., 2001. Piled Raft Foundations: Design and Applications. *Geotechnique*, 51 (2), 95-113.
- Sinha, A., Hanna, A.M., 2017. 3D Numerical Model for Piled Raft Foundation. *International Journal of Geomechanics*, 17 (2).
- Sivrikaya, O., Toğrol, E., 2019. *Arazi Deneyleri ve Geoteknik Tasarımda Kullanımları*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- TBDY, (2018), "Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar, AFAD", Ankara, Türkiye.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı, (2020), "İnşaat Birim Fiyatlarına Esas İşçilik-Araç ve Gereç Rayiç Listeleri", Ankara, Türkiye.
- TS 498, (1987), "Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, TSE", Ankara, Türkiye.
- TS 500, (2000), "Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, TSE", Ankara, Türkiye.
- TS EN 1991-1-4, (2007), "Yapılar Üzerindeki Etkiler- Bölüm 1-4: Genel Etkiler- Rüzgar Etkileri (Eurocode 1), TSE", Ankara, Türkiye.
- Varghese, R., Boominathan, A., Banerjee, S., 2019. Seismic Response Characteristics of a Piled Raft in Clay. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 13 (1), 1-28.
- Yeğit, M., Zorluoer, İ., 2019. Aynı Zemin Koşullarında Farklı Kazık Gruplarının Performansı. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19 (2), 410-418.
- Yurtseven, H.E., 2018. Lefke-Doğu (Lefke, KKTC) Kıbrıs Tipi Masif Sülfid Cevherleşmesinin Jeolojisi, Mineralojisi ve Kökeni. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.