



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Farklı Zemin Koşullarında Tasarlanan Kazıklı Radye Temel Sistemlerinin Oturma Tabanlı Optimizasyonu

 Ömür ÇİMEN<sup>a,\*</sup>,  Uğur OSMANOĞLU<sup>a</sup>

<sup>a</sup> İnşaat Müh. Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: omurcimen@sdu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.884812

### Öz

Kıbrıs Adası'nda son yıllarda sanayileşme ile nüfusun kentlerde yoğunlaşması, turizm amaçlı sahil bölgelerine yüksek katlı otel projelerinin yapılması ülkede yüksek katlı yapıların artmasına yol açmıştır. Yapıların kat yüksekliği arttıkça temellere aktarılan yükler de artmaktadır. Temeller, üstyapıdan kendilerine aktarılan yükleri emniyetli bir şekilde taşımaları ve izin verilen oturma değerlerini aşmamalıdır. Bu çalışmada, Kıbrıs Adası'nın farklı zemin gruplarında, taşıma gücü ve oturma problemlerinden dolayı tasarlanmış olan kazıklı radye temel sistemlerinin oturma tabanlı optimizasyonu yapılmıştır. Kazıklı radye temel sistemlerinde değişken parametreler olarak; kazık sayısı, kazık çapı ve kazık uzunluğu değerleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda her iki zemin grubunda da oturma tabanlı optimum kazık sayısı, kazık çapı ve kazık uzunluğu değerleri saptanmıştır. Optimum değerler saptanırken ekonomi de göz önünde tutulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Kazıklı radye temel, Oturma, Optimizasyon

## Settlement Based Optimization of Piled Raft Foundation Systems Designed in Different Soil Conditions

### ABSTRACT

Industrialization in the Cyprus Island in recent years, concentration of the population in cities, construction of high rise hotel projects in coastal areas for tourism purposes have led to increase of high rise buildings on the country. As the floor height of the buildings increases, the loads transferred to the foundations also increase. Foundations must safely bear the loads transmitted to them from the upper structure and must not exceed the allowable settlement values. In this study, settlement based optimization of piled raft foundation systems which were designed due to bearing capacity and settlement problems in different soil groups of Cyprus Island has been made. Pile number, pile diameter and pile length values were used as variable parameters in piled raft foundation systems. As a result of the study, settlement based optimum pile number, pile diameter and pile length values were determined in both soil groups. While determining the optimum values, economy was also taken into consideration.

**Keywords:** Piled raft foundation, Settlement, Optimization

# I. GİRİŞ

Dünya genelinde hızla artan nüfus oranı ve inşaat teknolojilerindeki gelişmeler, günümüzde mühendislik tasarımlarının sınırlarının zorlanmasına neden olmaktadır. Özellikle büyük şehirlerde arazi teminindeki sıkıntılardan dolayı, yüksek katlı yapılar tercih edilmeye başlanmıştır. Ulaşım problemlerini beraberinde getiren bu durum, geniş açıklıklı sanat yapılarına (karayolu ve demiryolu köprüleri, viyadükler, üst geçitler v.b.) olan ihtiyacı da arttırmaktadır. Bu sebeplerden dolayı, üstyapı yüklerinde meydana gelen artışların çeşitli temel uygulamaları vasıtasıyla güvenli şekilde zeminlere taşıtılması, geoteknik mühendisliği açısından son derece önemlidir [1].

Temeller, üstyapı yükünü zemine emniyetli bir şekilde aktaran yapı elemanlarıdır. Üstyapı yükünün yüzeysel temel vasıtasıyla emniyetli bir şekilde taşınmadığı veya yüzeysel temel teşkil edilmesi halinde aşırı oturmaların beklendiği durumlarda kazıklı temeller kullanılır. Kazıklı temeller üstyapıdan gelen yükleri zeminin gevşek veya yumuşak tabakalarını geçerek daha derin tabakalarına aktarır. Genel kural olarak kazıklar, zeminin taşıma kapasitesinin artırılması ve zeminde oluşacak oturmaları azaltma amacı ile kullanılırlar [2]. Yüksek maliyetlerine rağmen, kazıkların kullanımı genellikle yapısal güvenliği sağlamak için gereklidir [3].

Bir kazık grubunun tasarımı genellikle, kazıklar arasında sabit aralıklarla düzenli bir ızgara deseni üzerine yerleştirilmiş, aynı çap ve kazık uzunluğuna sahip özdeş kazıkları içerir. Bu kısmen, inşaatı kolaylaştırmak ve imalat süreçleri sırasında hata riskini azaltmak içindir. Ayrıca, bazı yaygın kazık grubu tasarım yaklaşımları yalnızca aynı uzunluktaki kazıkların analizine izin verir [4]. Kazıklı temellerin tasarımında, göçmeye karşı güvenliğin bulunduğu, ayrıca, servis yüklerinin meydana getireceği oturmaların kabul edilebilir bir sınırı aşmadığı gösterilmelidir [5]. Aşırı oturmalar genellikle yapısal bütünlük veya hizmete elverişlilik sorunlarına yol açar [6].

Son yıllarda özellikle yüksek yapı projelerinde kazıklı radye temel sistemlerinin kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Kazıklı radye temel sistemlerinin kullanımına olan yüksek talep nedeniyle araştırmacılar bu sistemin statik ve dinamik koşullar altındaki davranışını deneysel ve nümerik olarak incelemişlerdir. Nikoloaou vd. (2001) tarafından yapılan çalışmada; bir kazığa ait deformasyon değerleri kinematik burulma momentleri oluşturularak elde edilmiştir. Bu momentlerin, gevşek ve sıkı zemin tabakalarının yüzeyinde yoğunlaştığı gösterilmiştir. Çalışmalarını, kinematik biçimde kazığın yüklenmesi, homojen ve tabakalı zeminlerdeki kazıkların analitik çözümü ve saha deneyleri olarak üç şekilde ele almışlardır. Çalışmada Winkler temel modeli uygulanmış ve kazıklara gelen dinamik tepkiler belirlenmiştir. Kinematik momentlerin büyüklüğünün zemin tabakaları arasındaki rijitliğe bağlı olduğu gösterilmiştir. İki kazık arasındaki altı noktada burulma ve eksenel yükler elde edilerek saha deney sonuçları ve sayısal çözümler mukayese edilmiştir [7].

Basu vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada; çok katmanlı bir zemin ortamına gömülü dikdörtgen kesitli eksenel olarak yüklenmiş kazıklar için bir oturma analizi yöntemi sunulmuştur. Çalışmada zemin elastik olarak kabul edilmiştir. Analizler için girdi parametreleri olarak kazık geometrisi, kazık elastik sabitleri ve zemin elastik sabitleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda kazık sistemindeki deformasyon değerleri elde edilmiştir [8].

Alver ve Özden (2015) tarafından yapılan çalışmada; bir kazıklı radye temelin eksenel yük altındaki oturması eşdeğer radye yöntemi, Randolph yöntemi ve üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Oturma değerlerinin kazık sayısına ve kazık uzunluğuna bağlı değişimi gösterilmiştir. Çalışmanın esas amacı bir kazıklı radye temelin oturma esaslı tasarım ilkeleri ile optimizasyonudur. Çalışmada kazık sayısı ve kazık uzunluğu değişken olarak kullanılarak oturmaların değişimi gösterilmiştir. Buna göre kazık sayısı artarken, oturma değeri belirli bir kazık sayısından sonra azalmamaktadır. Oturmanın daha fazla azalmadığı kazık sayısı ilk aşama için optimum çözüm kabul edilmiştir. İkinci aşamada kazık sayısı sabit tutularak kazık uzunluğu değiştirilmiştir. Bu durumda, kazık uzunluğu arttıkça temel davranışı iyileşmiştir [9].

Yeğit ve Zorluer (2019) tarafından yapılan çalışmada; farklı çap, derinlik ve sayıdaki kazık gruplarının, aynı yapı yükleri ve aynı zemin içindeki performansı el ile hesaplanarak, SAP2000 ve Plaxis 3D Foundation programları kullanılarak incelenmiş, kazık sayısı optimize edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada, kazık sayısındaki artışın kazık grubundaki verimliliği düşürdüğü, kazık çapının büyük seçilmesinin yine kazıklar arası mesafenin azalmasından dolayı verimi düşürdüğü, kazık oturmalarında kazık ucunun oturduğu zeminin oturmayı etkilediği sonuçlarına ulaşılmıştır [10].

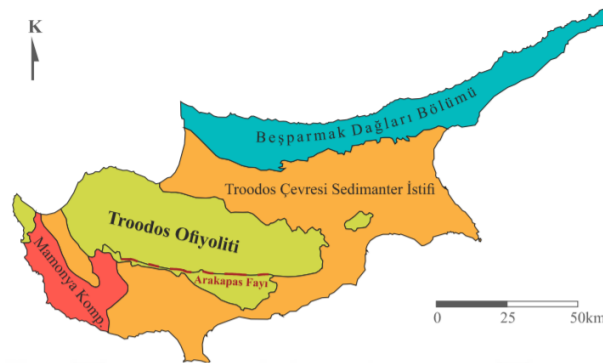
Bozkurt ve Demiröz (2020) tarafından yapılan çalışmada; kazık uzunluğu, kazık çapı ve kazık sayısının kazıklı radye temellerdeki oturma davranışı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Geliştirilen örnek bir matematik model dikkate alınarak, Randolph metodu esaslı bir hesap kodu yazılmış, boyutlandırma değişimine bağlı olarak maksimum oturma ve farklı oturma değerleri analiz edilmiştir. Analiz sonuçları grafiksel olarak sunulmuştur. Çalışma sonucunda, optimum çözümün kazık boyunun ve çapının artırılmasına bağlı olduğu gösterilmiştir. Ayrıca kazık sayısı ve lokasyonunun oturma davranışına etkisi araştırılmıştır [11].

Bu çalışmada Kıbrıs Adası'nın farklı zemin koşullarında taşıma gücü ve oturma problemlerinden dolayı tasarlanmış olan kazıklı radye temel sistemlerinin oturma tabanlı optimizasyonu yapılmıştır. Bu amaçla, kazıklı radye temel sisteminde oturmayı minimum tutarak maksimum ekonomiyi sağlayacak kazıklı temel sistemleri Plaxis 2D programı kullanılarak modellenmiştir. Kazıklı radye temel sistemlerinin modellerinde değişken parametreler olarak kazık sayısı, kazık çapı ve kazık uzunluğu değerleri kullanılmıştır. Yapılan tasarım ve modellemeler neticesinde farklı zemin gruplarında tasarlanan kazıklı radye temel sistemlerinde oturma tabanlı optimum kazık sayısı, kazık çapı ve kazık uzunluğu değerleri kazık hacmi göz önünde tutularak saptanmıştır.

## II. ZEMİNLERİN TANITILMASI

### **A. KIBRIS ADASI'NIN GENEL JEOLJİSİ**

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 zon veya istifte ele alınır. Bunlar, Trodos Ofiyoliti, Mamonia Bölgesi, Beşparmak Dağları Bölümü, Trodos Çevresi Sedimanter İstifi veya Pliyo-Kuvaterner istifidir [12]. Kıbrıs Adası'nın başlıca tektonik bölümleri Şekil 1'de verilmiştir. Hem killi zemin alanı hem de kumlu zemin alanı Trodos Çevresi Sedimanter İstifi üzerinde yer almaktadır.



**Şekil 1.** Kıbrıs Adası'nın başlıca tektonik bölümleri [13]

## A. 1. Killi Zemin Alanının Tanıtılması

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 ile +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 [12].

Killi zemin alanında 9 adet sondaj kuyusu açılarak her 1.5m derinlik arasıyla yapılan Standart penetrasyon testi (SPT) ve zemin profilinin çeşitli derinliklerinden alınan numunelerde yapılan laboratuvar deneyleri neticesinde tespit edilen mühendislik parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

*Tablo 1. Killi zemin profilindeki tabakaların mühendislik parametreleri [12]*

Tabaka	Kot (m)	Doğal birim hacim ağırlığı (KN/m <sup>3</sup> )	Ortalama SPT darbe sayısı	Elastisite modülü (MPa)	Drenajsız kohezyon (kPa)
Katı kil	±0-(-20)	18	5-12	6	50
Çok katı kil	-20-(-40)	19	15-30	15	100-140
Sert kil	-40-(-70)	20	35-50	24	180-200

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 edilebilecektir [12]. Zeminin suya doygun olmasından dolayı tüm tabakaların içsel sürtünme açısı 0 olarak alınmıştır.

## A. 2. Kumlu Zemin Alanının Tanıtılması

Kumlu zemin alanının lokasyonu, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nin Lefke ilçesinde yer almaktadır. Kumlu zemin alanında 3 adet sondaj kuyusu açılarak her 1.5 m derinlik arasıyla Standart penetrasyon testi (SPT) yapılmıştır.

Kumlu zeminin mühendislik parametreleri, literatürde yer alan SPT darbe sayısı ile zeminin mühendislik parametreleri arasındaki korelasyonlardan faydalanılarak hesaplanmıştır [14],[15]. Bu hesaplamalarda, efektif düşey gerilmeyi de dikkate alan korelasyonların seçilmesine özen gösterilmiştir. Kumlu zemin profilinin mühendislik parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

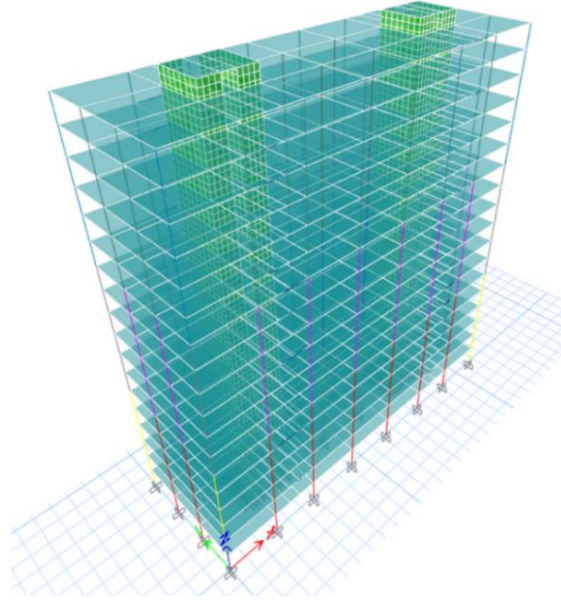
*Tablo 2. Kumlu zemin profilindeki tabakanın mühendislik parametreleri*

Tabaka	Kot (m)	Doğal birim hacim ağırlığı (KN/m <sup>3</sup> )	Ortalama SPT darbe sayısı	Elastisite modülü (MPa)	İçsel sürtünme açısı (°)	İzafi sıklık (%)
Orta sıkı/sıkı kum/çakıl	±0-(-30)	20	40	25	37	82

Kumlu zemin alanında yapılan zemin araştırma sondajlarında yer altı suyuna rastlanmamıştır [16].

### **III. BULGULAR**

Killi ve kumlu zemin gruplarında tasarımı yapılacak olan temel tipinin doğru bir şekilde belirlenmesi için üstyapıdan temele aktarılan eksenel 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. Arazi şartlarından dolayı betonarme binanın oturma alanı dikdörtgen şeklinde ve 18x54 m boyutlarında seçilmiştir. Modelin 3 boyutlu görseli Şekil 2’de verilmiştir. Betonarme bina modeli ilgili yönetmelik ve standartlara uygun olarak yapılmıştır [17]-[20].



*Şekil 2. Etabs 3D üstyapı modeli*

Üstyapının modellenmesi sonucunda farklı yük kombinasyonları için temele aktarılan eksenel yük değerleri Tablo 3’de verilmiştir. Kombinasyonlarda G zati yükü, Q ise hareketli yükü simgelemektedir. Tablo 3’ten görüleceği üzere farklı yük kombinasyonları için temele aktarılan en büyük eksenel yük değeri 430924 KN mertebesindedir.

*Tablo 3. Farklı yük kombinasyonları için temele aktarılan eksenel yük değerleri*

	<b>1,4G+1,6Q</b>	<b>G+Q</b>	<b>Depremlilikombinasyon (maksimum değer)</b>	<b>Rüzgarlıkombinasyon (maksimum değer)</b>
Temele aktarılan eksenel yük değeri (KN)	374709	262628	430924	308423

Temel tasarımında dikkate alınan üstyapı yük değeri 430924 KN mertebesindedir. 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. Her iki zemin grubunda da radye temelin, üstyapıdan kendisine aktarılan yükü güvenli bir şekilde taşıyıp taşımadığı ve izin verilen oturma değerini aşıp aşmadığı kontrolleri yapılmıştır. Killi ve kumlu zeminlerdeki radye temellerin taşıma gücü, oturma ve temel taban gerilmesi değerleri Tablo 4’de verilmiştir.

Killi zeminde radye temelin oturma hesapları Eş. 1 kullanılarak yapılmıştır. Eş. 1'de  $s_c$  konsolidasyon oturmasını,  $m_v$  hacimsel sıkışma katsayısını,  $\Delta\sigma'$  hesaplama yapılacak kil tabakasının orta noktasındaki toplam düşey gerilme artışını,  $H$  ise konsolide olabilir kil tabakasının kalınlığını simgelemektedir. Kum zeminde radye temelin oturma hesapları Eş. 2'ye göre yapılmıştır. Eş. 2'de  $s_e$  elastik oturmayı,  $q_t$  radye temel emniyetli taşıma gücünü,  $N_{60}$  ise ortalama SPT darbe sayısını simgelemektedir [21].

$$s_c = m_v \cdot \Delta\sigma' \cdot H \quad (1)$$

$$s_e = \frac{2q_t}{N_{60}} \quad (2)$$

**Tablo 4.** Killi ve kumlu zemin gruplarında radye temel taşıma gücü, oturma ve temel taban gerilmesi değerleri

Zemin türü	Radye temel taban gerilmesi (kPa)	Radye temel emniyetli taşıma gücü değeri (kPa)	Radye temel oturma değeri (cm)	İzin verilen oturma değeri (cm)
Killi zemin	390	204	33	5
Kumlu zemin	410	12496	62	

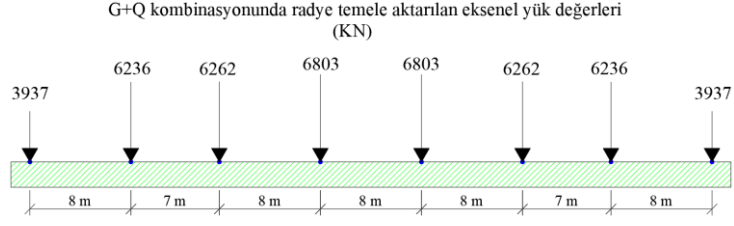
Tablo 4'den görüleceği üzere killi zeminde taşıma gücü ve oturma, kumlu zeminde ise oturma problemlerinden dolayı radye temel tasarımları yetersiz kalmıştır. Zemin gruplarında taşıma gücü ve oturma problemlerinden dolayı radye temel tasarımı uygun görülmemiş ve kazıklı radye temel tasarımına gidilmiştir. Kazıklı radye temel tasarımlarında radye temel derinliği 2 m alınmıştır.

Killi ve kumlu zeminlerdeki kazık gruplarının kapasitesi statik taşıma gücü formüllerinden hesaplanmıştır [22]. Kazık grubundaki kazık sayısı, statik taşıma gücü formüllerinden hesaplanan tek bir kazığa ait çap, boy değerleri ve kazık grubunun kapasite değerleri Tablo 5'de verilmiştir. Tablo 5'de verilen kazık tasarım parametreleri (kazık sayısı, kazık çapı, kazık uzunluğu) referans parametreler, bu parametrelerle yapılan tasarım ise referans tasarım olarak isimlendirilmiştir.

**Tablo 5.** Killi ve kumlu zeminlerde tasarlanan kazıkların sayı, çap, boy ve kapasite değerleri

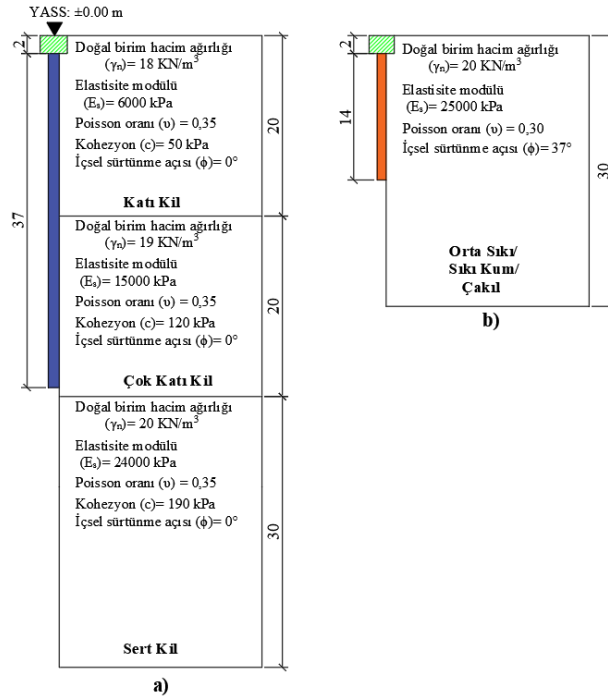
Zemin türü	Gruptaki kazık sayısı	Kazık çapı (cm)	Kazık boyu (m)	Kazık grubunun kapasitesi (ton)
Killi zemin	105 (15x7)	120	37	49350
Kumlu zemin		100	14	

Her iki zeminde de tasarlanan kazıklı radye temel sistemlerinin oturma değerleri çalışma yükünde hesaplanmıştır. Bir başka deyişle kazıklı radye temel sistemlerinin oturma değerleri üstyapıdan G+Q kombinasyonunda radye temele aktarılan eksenel yüklerin etkisinde hesaplanmıştır. Üstyapıdan G+Q kombinasyonunda radye temele aktarılan eksenel yük değerleri Şekil 3'de verilmiştir.

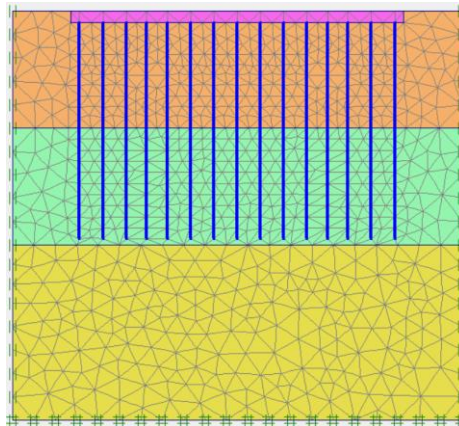


**Şekil 3.** Üstyapıdan G+Q kombinasyonunda radye temele aktarılan aksel yük değerleri

Killi ve kumlu zeminlerdeki kazıklı radye temel model profilleri Şekil 4’de verilmiştir. Şekilde verilen ölçüler m cinsindedir. Killi ve kumlu zeminlerdeki kazıklı radye temel sistemlerinin oturma analizleri Plaxis 2D programında gerçekleştirilmiştir. Modelleme ve analizlerde hem killi hem de kumlu zemin için malzeme modeli olarak Mohr-Coulomb modeli seçilmiştir. Killi zeminin malzeme tipi drenajsız, kumlu zeminin malzeme tipi ise drenajlı olarak ayarlanmıştır. Kazıklı radye temel örnek Plaxis modeli Şekil 5’de verilmiştir.



**Şekil 4.** (a) Killi zeminde kazıklı radye temel model profili (b) Kumlu zeminde kazıklı radye temel model profili



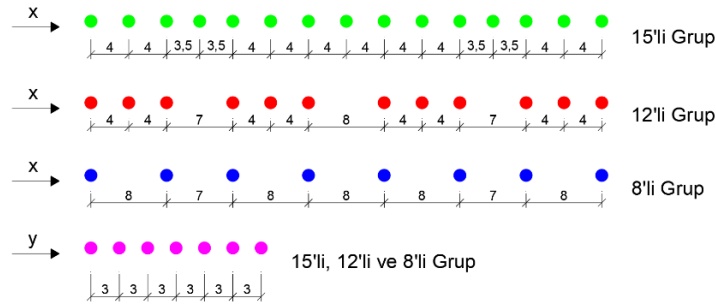
**Şekil 5.** Kazıklı radye temel örnek Plaxis modeli

Referans parametreler ile tasarlanan kazıklı radye temel sistemlerinin oturma değerleri Plaxis 2D programında hesaplanmış ve hesap sonuçları Tablo 6'da verilmiştir. Killi zeminde konsolidasyon oturması, kumlu zeminde ise elastik oturma hesaplanmıştır.

**Tablo 6.** Referans parametrelerle tasarlanan kazıklı radye temel sistemlerinin oturma değerleri

Zemin türü	Gruptaki kazık sayısı	Kazık çapı (cm)	Kazık boyu (m)	Kazık grubunun kapasitesi (ton)	Oturma (cm)
Killi zemin	105 (15x7)	120	37	49350	12
Kumlu zemin		100	14		18

Killi ve kumlu zeminlerde kazık sayısı, çapı ve uzunluğunun oturma değerine etkilerinin araştırılması için kazık grupları farklı sayılarda, çaplarda, uzunluklarda ve aynı grup kapasitesine sahip olacak şekilde tasarlanmışlardır. Referans kazık tasarımında grup kesitindeki kazık sayısı 15 iken, grup kesitindeki kazık sayısı 12 ve 8 olarak ayrıca çözüm yapılmıştır. 15'li grup kesitinde 105, 12'li grup kesitinde 84, 8'li grup kesitinde ise 56 adet kazık mevcuttur. 15'li, 12'li ve 8'li gruplar halinde tasarlanan kazıkların x ve y yönlerindeki eksen mesafeleri Şekil 6'da verilmiştir. Şekilde verilen ölçüler m cinsindedir.



**Şekil 6.** Kazık gruplarının eksen mesafeleri

Kazıkların çap ve uzunluklarının oturma değerine etkilerinin araştırılması için referans parametrelere göre ilk önce kazıkların çapları sabit tutulup uzunlukları artırılmış, daha sonra uzunlukları sabit tutulup çapları artırılmıştır. Çapları sabit tutulup uzunlukları artırılan kazık parametreleri ve bu parametrelerle tasarlanan kazıklı radye temel sisteminin oturma değerleri Tablo 7'de, uzunlukları sabit tutulup çapları artırılan kazık parametreleri ve bu parametrelerle tasarlanan kazıklı radye temel sisteminin oturma değerleri Tablo 8'de verilmiştir.

**Tablo 7.** Çapları sabit tutulup uzunlukları artırılan kazık parametreleri ve oturma değerleri

Zemin türü	Gruptaki kazık sayısı	Kazık çapı (cm)	Kazık boyu (m)	Kazık grubunun kapasitesi (ton)	Oturma (cm)
Killi zemin	84 (12x7)	120	43	49350	8,5
	56 (8x7)	120	61		4
Kumlu zemin	84 (12x7)	100	19	49350	13,5
	56 (8x7)	100	26		7,5



**Tablo 8.** Uzunlukları sabit tutulup çapları artırılan kazık parametreleri ve oturma değerleri

Zemin türü	Gruptaki kazık sayısı	Kazık çapı (cm)	Kazık boyu (m)	Kazık grubunun kapasitesi (ton)	Oturma (cm)
Killi zemin	84 (12x7)	150	37	49350	16
	56 (8x7)	200	37		25
Kumlu zemin	84 (12x7)	120	14	49350	19
	56 (8x7)	150	14		20

Killi ve kumlu zeminlerde farklı sayı, çap ve uzunluklarda tasarlanan kazıkların maliyet mukayeseleri amacıyla toplam hacim değerleri hesaplanmıştır. Killi zeminde tasarlanan kazıkların toplam hacim değerleri Tablo 9’da, kumlu zeminde tasarlanan kazıkların toplam hacim değerleri Tablo 10’da verilmiştir.

**Tablo 9.** Killi zeminde farklı sayı, çap ve uzunluklarda tasarlanan kazıkların toplam hacim değerleri

Zemin türü	Gruptaki kazık sayısı	Kazık çapı (cm)	Kazık boyu (m)	Toplam kazık hacmi (m <sup>3</sup> )
Killi zemin	105 (15x7)	120	37	4392
	84(12x7)	120	43	4083
	56 (8x7)	120	61	3861
	84 (12x7)	150	37	5490
	56 (8x7)	200	37	6506

**Tablo 10.** Kumlu zeminde farklı sayı, çap ve uzunluklarda tasarlanan kazıkların toplam hacim değerleri

Zemin türü	Gruptaki kazık sayısı	Kazık çapı (cm)	Kazık boyu (m)	Toplam kazık hacmi (m <sup>3</sup> )
Kumlu zemin	105 (15x7)	100	14	1154
	84(12x7)	100	19	1253
	56 (8x7)	100	26	1143
	84 (12x7)	120	14	1329
	56 (8x7)	150	14	1385

Killi ve kumlu zeminlerde yapılan kazıklı radye temel tasarım ve analizleri neticesinde oturma tabanlı optimizasyona göre seçilen kazık parametreleri Tablo 11’de verilmiştir.

**Tablo 11.** Oturma tabanlı optimizasyona göre seçilen kazık parametreleri

Zemin türü	Gruptaki kazık sayısı	Kazık çapı (cm)	Kazık boyu (m)
Killi zemin	56 (8x7)	120	61
Kumlu zemin	56 (8x7)	100	26

## **IV. SONUC**

Çalışma kapsamında farklı zemin gruplarında tasarlanan kazıklı radye temel sistemlerinin optimizasyonu amacıyla Etabs V18 programında 19 katlı 18x54 m<sup>2</sup> oturma alanına sahip betonarme bina modeli yapılmıştır. Betonarme bina modeli neticesinde temele aktarılan maksimum eksenel yük 430924 KN mertebesinde hesaplanmıştır. Her iki zemin grubunda da temel sisteminin radye temel olarak teşkil edilmesi halinde üstyapıdan temele aktarılan maksimum eksenel yükün emniyetli bir şekilde taşınmayacağı hesapla gösterilmiş ve kazıklı radye temel tasarımlarına gidilmiştir. Kazıklı radye temel sistemlerinin modellenmesi Plaxis 2D programında yapılmıştır.

Killi ve kumlu zeminlerde tasarlanan kazıklı radye temel sistemlerinde referans tasarıma göre gruptaki kazık sayısının düşürülmesiyle aynı grup kapasitesine erişebilmek için kazık çapları sabit tutulup kazık uzunlukları artırılmıştır. Böylelikle her iki zemin grubunda da gruptaki kazık sayısının düşürülmesi ve buna bağlı kazık uzunluğunun artırılmasıyla oturmaların azaldığı tespit edilmiştir.

Killi ve kumlu zeminlerde tasarlanan kazıklı radye temel sistemlerinde referans tasarıma göre gruptaki kazık sayısının düşürülmesiyle aynı grup kapasitesine erişebilmek için kazık uzunlukları sabit tutulup kazık çapları artırılmıştır. Böylelikle her iki zemin grubunda da gruptaki kazık çapının artırılması ve buna bağlı kazık sayısının azaltılmasıyla oturmaların arttığı tespit edilmiştir.

Her iki zemin grubunda da gruptaki kazık sayısının düşürülüp kazık uzunluklarının artırılmasıyla (çap sabit) oturma değerleri birbirine yakın oranlarda azalmıştır.

Gruptaki kazık sayısının düşürülüp kazık çaplarının artırılmasıyla (uzunluk sabit) oturma değerleri, killi zeminde kumlu zemine nazaran daha belirgin bir şekilde artmıştır.

Her iki zemin grubunda da oturma tabanlı optimizasyon, minimum oturma ve maksimum ekonomiyi veren kazıklı radye temel tasarımları seçilerek yapılmıştır. Ulaşılan sonuçlara bakıldığında her iki zemin grubunda da minimum oturma ve maksimum ekonomiyi veren tasarımların, kazık grubunun 8'li olarak (56 adet kazık) ve referans tasarıma göre kazıkların uzunluklarının artırılmasıyla yapılan tasarımlar olduğu saptanmıştır. Killi zeminde optimum kazık sayısı 56, optimum kazık çapı 120 cm, optimum kazık uzunluğu 61 m, kumlu zeminde ise optimum kazık sayısı 56, optimum kazık çapı 100 cm, optimum kazık uzunluğu 26 m olarak tespit edilmiştir.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] G. Salihi, Y. Yılmaz ve İ. Tonyalı, “Teorik ve ampirik yaklaşımlarla elde edilen kazık oturma değerlerinin arazi yükleme deneyi sonuçları ile kıyaslanması,” *VI. Geoteknik Sempozyumu*, Adana, Türkiye, 2015.
- [2] A. Önalp ve S.Sert, *Geoteknik Bilgisi III Bina Temelleri*, 3. baskı, İstanbul, Türkiye: Birsan Yayınevi, 2016.
- [3] M. Orhan, *Geoteknik Mühendisliği ve Temel İnşaatı*, Ankara, Türkiye: Gazi Kitabevi, 2019.
- [4] Y.F. Leung, A.Klar ve K.Soga, “Theoretical study on pile length optimization of pile groups and piled rafts,” *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol.136, pp. 319-320, 2010.
- [5] E. Toğrol ve O.Tan, *Kazıklı Temeller*, İstanbul, Türkiye: Birsan Yayınevi, 2009.

- [6] G. Stefanou, G. Pittos ve M. Papadarakakis, "Pile settlement analysis on spatially random soil," *11th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering*, 2011.
- [7] S. Nikolaou, G.Mylonakis, G.Gazetas ve T.Tazoh, "Kinematic pile bending during earthquakes: analysis and field measurements," *Geotechnique*, vol.51, no.5, pp. 425-440, 2001.
- [8] D. Basu, M.Prezzi, R.Salgado ve T.Chakraborty, "Settlement analysis of piles with rectangular cross sections in multi-layered soils," *Computers and Geotechnics*, vol.35, no.4, pp. 563-575, 2008.
- [9] O. Alver ve G. Özden, "Tabakalı zeminlerde kazıklı radye temellerin optimum tasarımı," *9 Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 17, s. 49, ss. 13-26, 2015.
- [10] M. Yeğit ve İ. Zorluer, "Aynı zemin koşullarında farklı kazık gruplarının performansı," *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 19, s. 2, ss. 410-418, 2019.
- [11] R. Bozkurt ve A. Demiröz, "Kazıklı radye temel boyutlarının oturma davranışı dikkate alınarak optimum tasarımı," *İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi*, c. 1, s. 2, ss. 123-129, 2020.
- [12] Enar Mühendislik Mimarlık ve Danışmanlık Ltd. Şti., "Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti İskele ilçesi konut projesine ait sondaja dayalı temel ve zemin etüd raporu," İskele, KKTC, Kasım 2018.
- [13] H.E. Yurtseven, "Lefke-Doğu (Lefke, KKTC) Kıbrıs tipi masif sülfid cevherleşmesinin jeolojisi, mineralojisi ve kökeni," Yüksek lisans tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2018.
- [14] J.K. Mitchell, F. Guzikowski ve C.B. Villet, "The measurement of soil properties in-situ," Dept. Civil. Eng., Lawrence Berkeley Laboratory University of California Berkeley, California, USA, March 1978.
- [15] H.J. Gibbs ve W.G. Holtz, "Research on determining the density of sands by spoon penetration testing," *4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 1957, pp. 35-39.
- [16] Geoteam Mühendislik Ltd. Şti., "Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti Lefke ilçesi konut projesine ait sondaja dayalı temel ve zemin etüd raporu," Lefke, KKTC, Aralık 2018.
- [17] *Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri*, Türk Standartları Enstitüsü TS 498, 1987.
- [18] *Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü TS 500, 2000.
- [19] *Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar*, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY), 2018.
- [20] *Yapılar Üzerindeki Etkiler- Bölüm 1-4: Genel Etkiler- Rüzgar Etkileri (Eurocode 1)*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 1991-1-4, 2007.
- [21] G.G. Meyerhof, "Shallow foundations," *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Divisions*, vol.91, pp. 21-31, 1965.
- [22] B. Das, *Principles of Foundation Engineering*, 7th edition, Stamford, United States of America: Cengage Learning, 2010.