



KUMLU ZEMİNDE TEŞKİL EDİLEN KAZIKLI RADYE TEMEL SİSTEMLERİNİN DİNAMİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ: KKTC-LEFKE ÖRNEĞİ

¹Ömür ÇİMEN , ²Uğur OSMANOĞLU 

^{1,2}Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, TÜRKİYE
¹omurcimen@sdu.edu.tr, ²ugurosmanoglu98@gmail.com

(Geliş/Received: 09.04.2021; Kabul/Accepted in Revised Form: 07.07.2021)

ÖZ: Bu çalışmada, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nin Lefke ilçesinde yer alan kumlu bir zeminde oturma probleminin dolayı tasarlanan kazıklı radye temel sistemlerinin dinamik davranışları incelenmiştir. Tasarım ve analizler için, öncelikle Etabs programında 19 katlı 60,5 m yüksekliğinde betonarme bina modellenmiştir. Kumlu zeminde radye temel teşkil edilmesi halinde üstyapıdan temele aktarılan maksimum aksel yükün oturma probleminin dolayı güvenilir bir şekilde taşınmadığı hesapla gösterilmiş ve ardından kazıklı radye temel tasarımlarına gidilmiştir. Kazık tasarımlarında sistemin değişken parametreleri olarak kazık sayısı, kazık çapı ve kazık uzunluğu değerleri kullanılmıştır. Bu bağlamda, 18 farklı kazıklı radye temel tasarımı yapılmış ve bu tasarımların her biri Plaxis 2D programında modellenerek dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Dinamik analizler sonucunda, temel sistemlerinde oluşan oturma ve yanal deformasyon değerleri incelenmiştir. Bu çalışmanın sonucu olarak, kazık sayısı, kazık çapı ve kazık uzunluğunun, kumlu zeminde tasarlanan kazıklı radye temel sistemlerinde dinamik etki altında oluşan deformasyonları nasıl etkilediği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kumlu zemin, Kazıklı radye temel, Dinamik analiz, Deformasyon

An Investigation of the Dynamic Behavior of Piled Raft Foundation Systems Constituted on Sandy Soil: The Example of TRNC-Lefke

ABSTRACT: In this study, dynamic behavior of piled raft foundation systems designed due to settlement problem on a sandy soil in Lefke district of the Turkish Republic of Northern Cyprus has been investigated. For design and analysis, firstly a 19 storey 60.5 m high reinforced concrete building was modeled in the Etabs program. In case of raft foundation on sandy soil, it has been shown by calculation that the maximum axial load transferred from the superstructure to the foundation is not reliably carried due to the settlement problem, and then piled raft foundation designs have been made. In the pile designs, number of piles, diameter of piles and length of piles were used as variable parameters of the system. In this context, 18 different piled raft foundation designs were made and dynamic analysis were carried out by modelling of each of these designs in Plaxis 2D program. As a result of the dynamic analysis, the settlement and lateral deformation values in the foundation systems were examined. As a result of this study, it was determined how number of piles, diameter of piles and length of piles affect the deformations that formed under dynamic effect in piled raft foundation systems designed on sandy soil.

Key Words: Sandy soil, Piled raft foundation, Dynamic analysis, Deformation

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yüzeeye yakın kötü zemin koşulları geoteknik mühendisleri için bazı zorlukları ortaya çıkarır. Çoğu durumda, yüzeysel temel teşkil edilmesi halinde taşıma gücü veya oturma problemi oluşacak zeminlerde pratik temel seçeneği olarak derin temel sistemleri (kazıklar) kullanılır (Taha ve diğ., 2015). Kazıklı radye temeller, üstyapı yükünü, yüzeeye yakın zayıf zemin tabakalarını aşarak daha derindeki sağlam zemin tabakalarına aktarmak için kullanılır, bu da taşıma gücünü artırmayı ve zeminde oluşacak deformasyonları azaltmayı amaçlamaktadır (Zhan ve diğ., 2012).

Kazıklı radye temeller, önemli yanal yüklere direnç göstermelerinin beklendiği sismik olarak aktif alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. (Taha ve diğ., 2015). Kazıklı radye temellerin deprem yüklemesi altındaki davranışı, yapıların performansını büyük ölçüde etkileyen önemli bir konudur (Rahmani ve Pak, 2012). Deprem bölgelerinde teşkil edilen binaların oturduğu zeminler, deprem sırasında aşırı deformasyon yaparlarsa bu durum üstyapıda aşırı deplasmanların oluşmasına, taşıyıcı elemanların özelliklerini kaybetmesine, yıkımlara ve can kayıplarına sebebiyet verebilir. Bu sebepten dolayı temel zemininin doğru bir şekilde tanımlanması ve temel tasarımının doğru yapılması inşaat projeleri için fevkalade önem arz etmektedir (Chourasia ve diğ., 2018).

Kazıklı radye temeller, zeminde taşıma gücünü artıran ve deformasyonları azaltan önemli yapı elemanlarıdır. Bu özelliklerinden dolayı kazıklı radye temellerin imalatları son yıllarda artmıştır (Ha ve diğ., 2018). Kazıklı radye temel sistemlerinin kullanımına olan yüksek talep nedeniyle, araştırmacılar bu sistemin statik ve dinamik yükleme altındaki davranışını deneysel ve nümerik olarak incelemişlerdir (Baziar ve diğ., 2018). Sadek ve Shahrour yaptıkları çalışmada kazıkların baş ve ucundaki bağlantı koşullarının sismik yüklemeye tepkileri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışma, tamamen üç boyutlu bir sonlu eleman modellemesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Rayleigh sönümlenmesi ile zeminin elastik olduğu varsayılmış, üstyapı ise konsantre bir kütle ve bir kolondan oluşan tek serbestlik dereceli bir sistemle modellenmiştir. Çalışma hem dikey hem de eğimli kazıklar için yapılmıştır. Kazıkların dinamik etkiler ve sismik kuvvetler etkisi altındaki davranışlarını inceleyerek sismik yük etkisiyle makaslama kuvvetlerinde ve burulma momentlerinde azalma olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca, kazıkların ucunun sert bir alt katmana gömülmesinin, kazıklardaki iç kuvvetlerde aşırı artışa yol açtığını göstermişlerdir (Sadek ve Shahrour, 2006).

Ordu ve Özkan yaptıkları çalışmada katman dayanımları arasında ani değişimler bulunan iki farklı zemin profili içerisinde aynı kazık yapısını sonlu elemanlar yöntemi ile modelleyip incelemişlerdir. Çalışmalarında değişik zemin ve yapı koşullarını temsil eden bir model üzerinde, uç ve sürtünme kazıklarının kullanıldığı iki farklı durum için 0.3 g büyüklüğünde bir deprem kaydı kullanarak analizler yapmışlardır. Farklı katmanlardan oluşan zemin profillerinde deprem etkisindeki kazıklarda, makaslama kuvvetleri ile momentlerin büyüklüğü ve dağılımının, zemin şartları ile deprem yüklerine bağlı olduğunu göstermişlerdir (Ordu ve Özkan, 2006).

Uzuoka ve arkadaşları yaptıkları çalışmada sıvılaşmış bir zeminde grup kazıkların deprem davranışını üç boyutlu olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında 1995 Kobe depremi sırasında meydana gelen ciddi kazık hasarı nedeniyle eğilen beş katlı bir binayı analiz etmişlerdir. Analizler, kazıkların, binanın yatay yer değiştirmesi 10 cm'ye ulaştığında, tam sıvılaşmadan hemen önce aktığını göstermiştir (Uzuoka ve diğ., 2007).

Alsaleh ve Shahrour yaptıkları çalışmada kazık-zemin-yapı ilişkisini sismik durum altında üç boyutlu olarak araştırmışlardır. Zemin, Mohr-Coulomb kriteri kullanarak modellenmişlerdir. Çalışmada hem harmonik yükleme hem de kaydedilen deprem hareketleri için analizler yaparak zemin ve kazığın doğrusal olmayan davranışını incelemişlerdir. Zamana bağlı olarak deplasman değerlerini, kazıklardaki en elverişsiz durumdaki aksel kuvvet ve burulma momenti değerlerini, elastik ve elasto-plastik durumlar için elde etmişlerdir. Zeminin plastikliğin, üstyapıya enerji geçişini azalttığı ve atalet kuvvetlerindeki artışın önemli olduğunu göstermişlerdir (Alsaleh ve Shahrour, 2009).

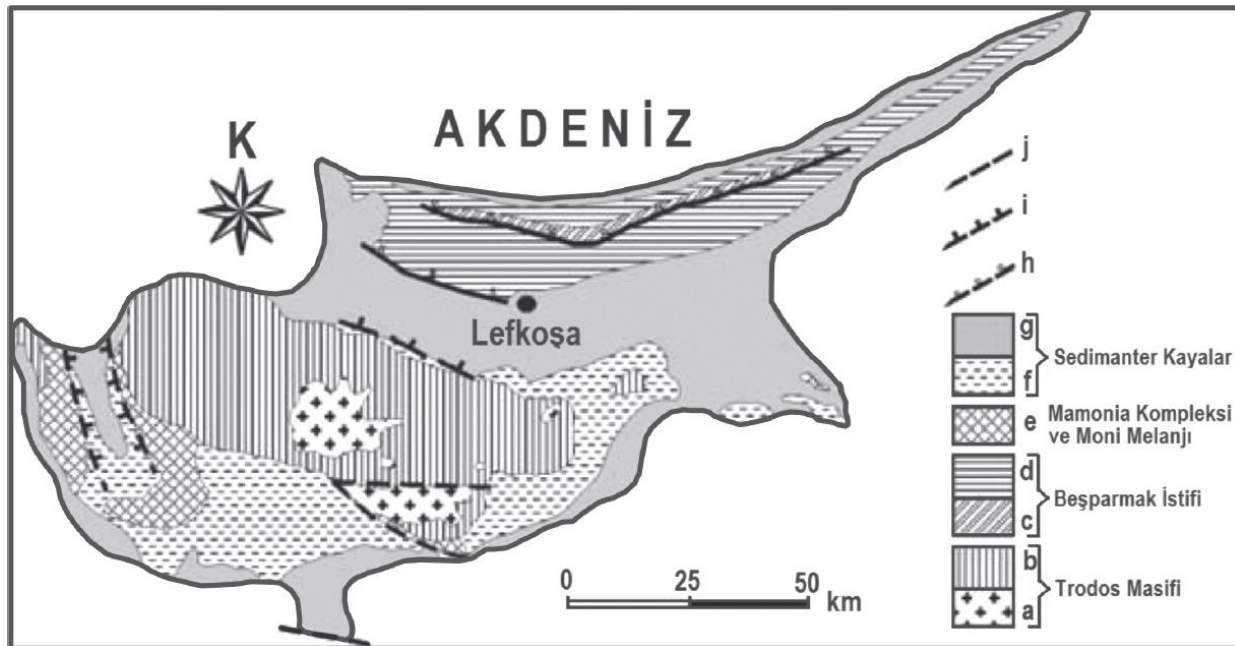
Osmanoğlu yaptığı çalışmada farklı zemin gruplarında (killi ve kumlu) tasarlanan kazıklı radye temel sistemlerinin statik ve dinamik koşullar altında deformasyon tabanlı optimizasyonunu yapmıştır. Kazıklı radye temel sistemlerinde değişken parametreler olarak kazık sayısı, kazık çapı ve kazık uzunluğu

değerlerini kullanmıştır. Yapılan tasarımlar, statik analizler, dinamik analizler ve maliyet hesapları neticesinde her iki zemin grubunda da deformasyon tabanlı optimum kazık sayısı, kazık çapı ve kazık uzunluğu değerleri saptanmıştır. Optimum değerler saptanırken ekonomi de göz önünde tutulmuştur (Osmanoğlu, 2021).

Bu çalışmada, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nin Lefke ilçesinde yer alan kumlu zeminde oturma probleminin dolayı tasarlanan kazıklı radye temel sistemlerinin dinamik davranışları incelenmiştir. Bu bağlamda kazıklı radye temel sistemlerinde değişken parametreler olarak kazık sayısı, kazık çapı ve kazık uzunluğu değerleri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında 18 farklı kazıklı radye temel tasarımı yapılmış, bu tasarımlar Plaxis 2D programında modellenmiş ve dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Dinamik analizler neticesinde kumlu zeminde oluşan oturma ve yanal deformasyon değerlerine bakılarak, kazık sayısı, çap ve uzunluk değerlerinin dinamik durumda oluşan deformasyonları nasıl etkilediği saptanmaya çalışılmıştır.

KIBRIS ADASI'NIN GENEL JEOLJİSİ VE DEPREMSELLİĞİ (THE GENERAL GEOLOGY AND SEISMICITY OF CYPRUS ISLAND)

Kıbrıs Adası; Beşparmak Dağları, Trodos Ofiyoliti ve Mamonia Kompleksi olmak üzere üç tektonik bölgeden oluşur. Ada'nın yapısal birimleri Şekil 1'de verilmiştir. Ada'daki tektonik bölümlerin her biri Doğu Akdeniz'de Neotetis okyanus havzalarının kapanmasıyla sonuçlanan levha hareketlerinin ve çok çeşitli paleo-ortamların ürünleridir (Hakyemez, 2004).

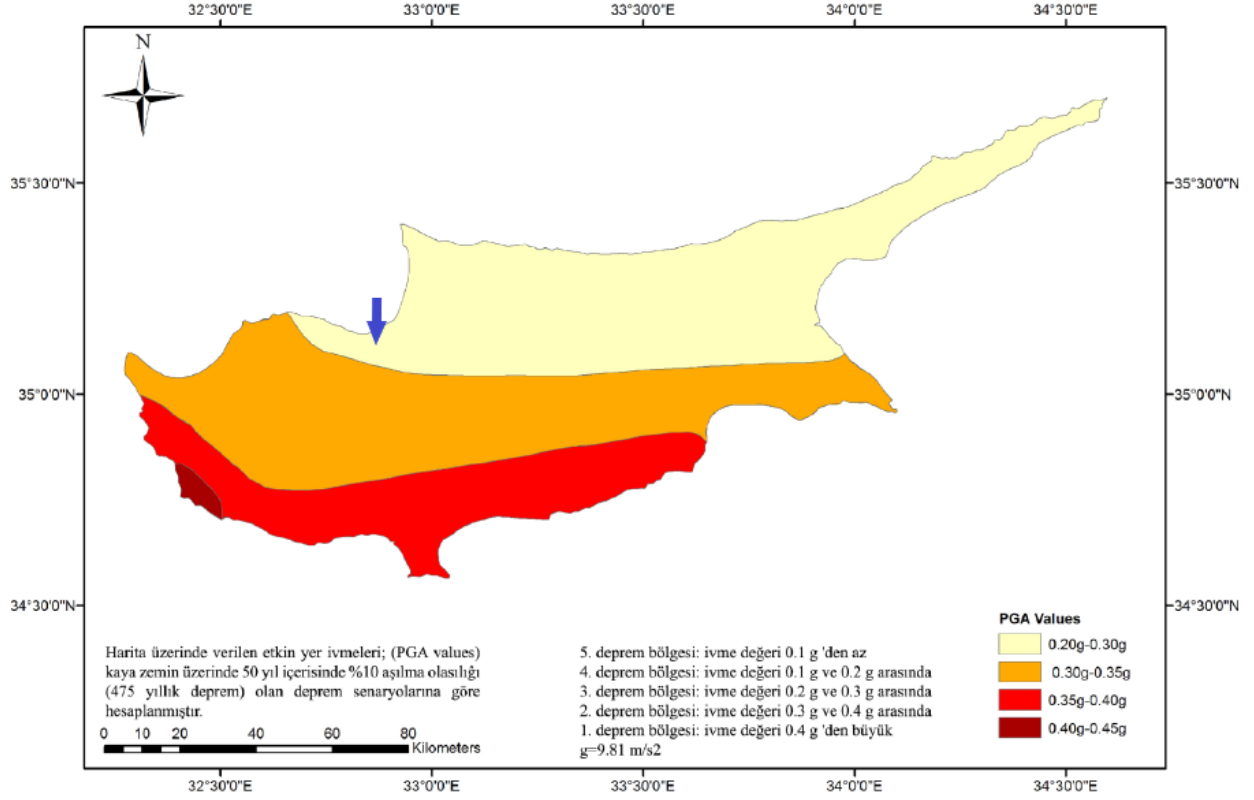


Şekil 1. Kıbrıs Adası'nın yapısal birimleri. a: plütonik kompleks, b: ekstrüzyonlar ve levha daykları, c: Mesozoyik-Eosen, d: Oligosen-Miyosen, e: Mamonia kompleksi ve Moni melanjı, f: Kretase- Miyosen, g: Pliyosen-güncel, h:bindirme, i: normal fay, j: tektonik hat (Elmas, 2018)

Figure 1. Structural units of Cyprus island. a: plutonic complex, b: extruders and plate dykes, c: Mesozoic-Eocene, d: Oligocene-Miocene, e: Mamonia complex and Moni-melange, f: Cretaceous-Miocene, g: Pliocene-current, h:overlap, i: normal fault, j: tectonic line (Elmas, 2018)

Kıbrıs Adası, Dünya'daki sismik hareketlerin yaklaşık %15'inin meydana geldiği Alp-Himalaya deprem kuşağında yer alır. Kıbrıs'taki depremlerin oluşmasına yol açtığı düşünülen "Kıbrıs Yayı" Kıbrıs'ın yer aldığı bölgede, Afrika ile Avrasya Litosferik Levhaları arasındaki tektonik sınırı oluşturmaktadır. Bu "Yay" Kıbrıs'ın güney ve batısında deniz içerisinde yer alır. Depremlerin pek çoğunun bu yay üzerinde ortaya çıkması bu yay boyunca tektonik hareketlerin oluştuğunu ve bunun da

depremlere yol açtığını göstermektedir (Dindar ve diğ., 2015). Kıbrıs Adası'nın deprem haritası Şekil 2'de verilmiştir. İnceleme alanı Şekil 2'de verilen mavi ok ile gösterilen bölgedir.

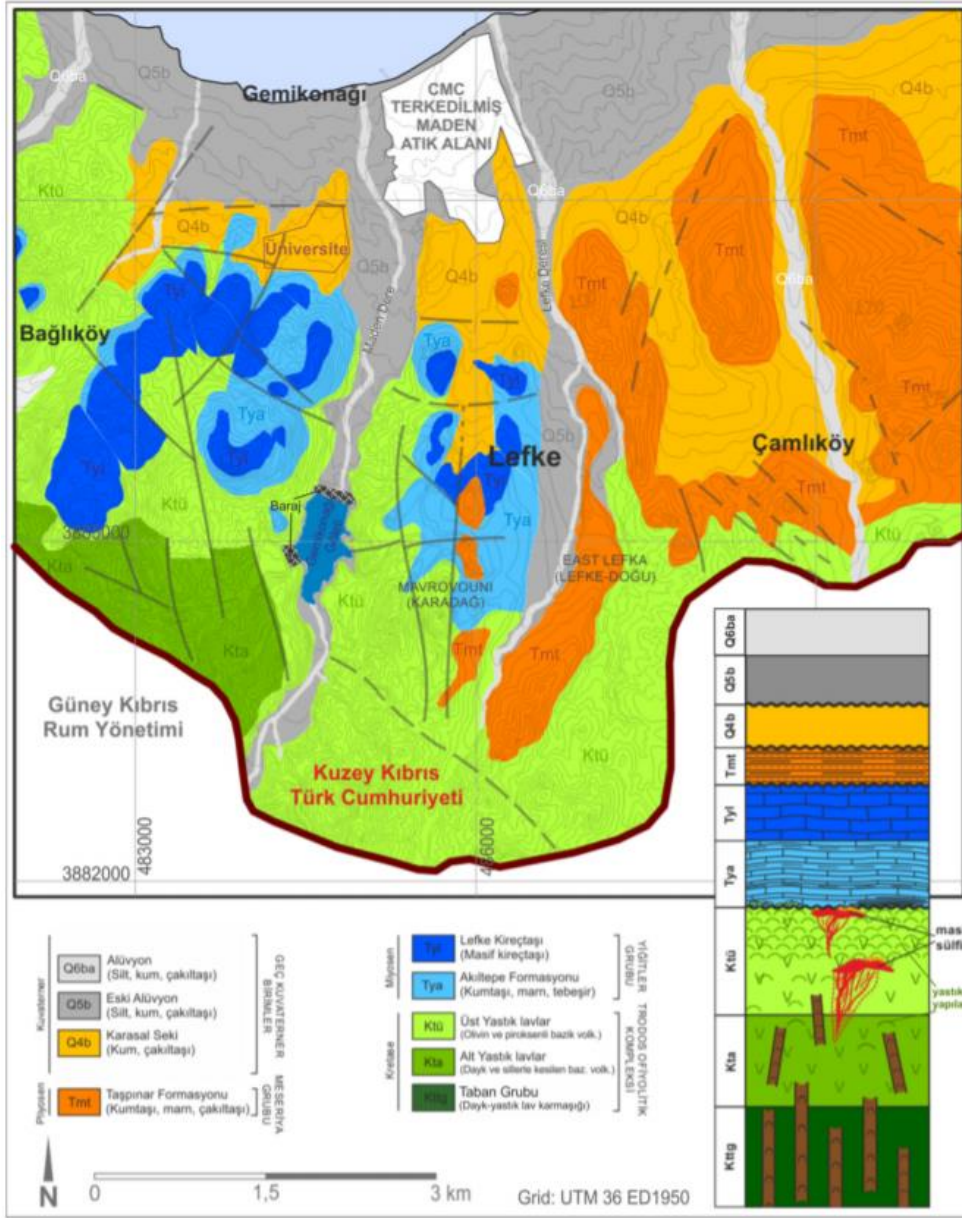


Şekil 2. Kıbrıs Adası deprem haritası (KKTC DBYBHY, 2015)

Figure 2. The earthquake map of Cyprus Island (KKTC DBYBHY, 2015)

İnceleme Alanının Tanıtılması (Introducing of Investigation Area)

İnceleme alanı, Kıbrıs Adası'nın Lefke ilçesinde yer almaktadır. İnceleme alanının bağlı olduğu Lefke bölgesine ait jeoloji haritası ve ölçeksiz stratigrafi kesiti Şekil 3'te verilmiştir. İnceleme alanı Şekil 3'teki haritaya göre Geç Kuvaterner Birimleri içerisinde "Karasal Seki (Kum, çakıltası)" kuvaterneridir.



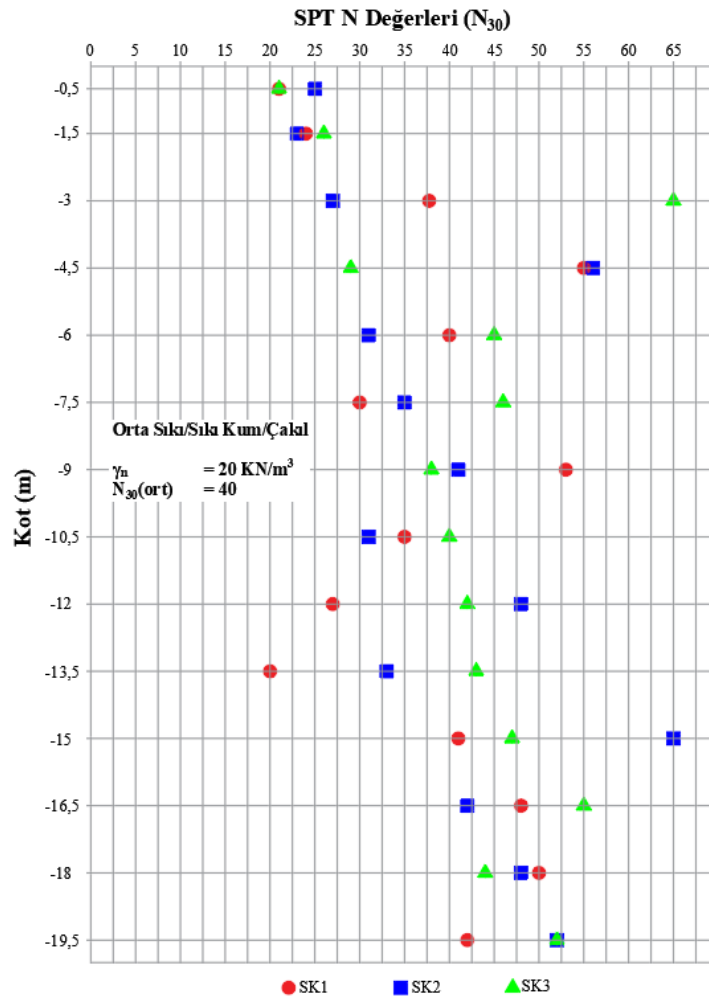
Şekil 3. Lefke bölgesi jeoloji haritası ve ölçeksiz stratigrafi kesiti (Yurtseven, 2018)

Figure 3. Lefke region geological map and unscaled stratigraphic section (Yurtseven, 2018)

İnceleme alanında saha araştırması amacıyla 3 adet sondaj kuyusu açılmış ve bütün kuyularda 20 m derinliğe kadar, her 1.5 m'de bir Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapılmış ve penetrasyon dirençleri (N_{30}) kaydedilmiştir.

İnceleme alanında yapılmış olan SPT deneylerinden elde edilen verilere göre 20 m'lik derinlikte kaydedilen ortalama standart penetrasyon darbe sayısı 40'tır (Geoteam, 2018). Her 3 kuyuda da 0.00 m – (-20.00) m aralığındaki zeminin tanımlaması "Grimsi-beyaz renkli, az killi, kötü yuvarlanmış, köşeli üst düzeyler ince-orta daneli, alt düzeyler orta-iri daneli, yer yer volkanik kökenli çakıltı blokları içeren "Orta Sıkı / Sıkı Kum / Çakıl" şeklindedir. Bu verilerden yola çıkarak 20 m'lik zemin tabakası, tek bir tabaka olarak düşünülmüştür. Yapılan sondajlarda yer altı suyunun rastlanmamıştır (Geoteam, 2018).

Sondajlarda karşılaşılan zemin içerisinde yapılan SPT deneylerinde kaydedilen N_{30} değerlerinin derinliğe bağlı dağılımını gösteren grafik Şekil 4'de verilmiştir.



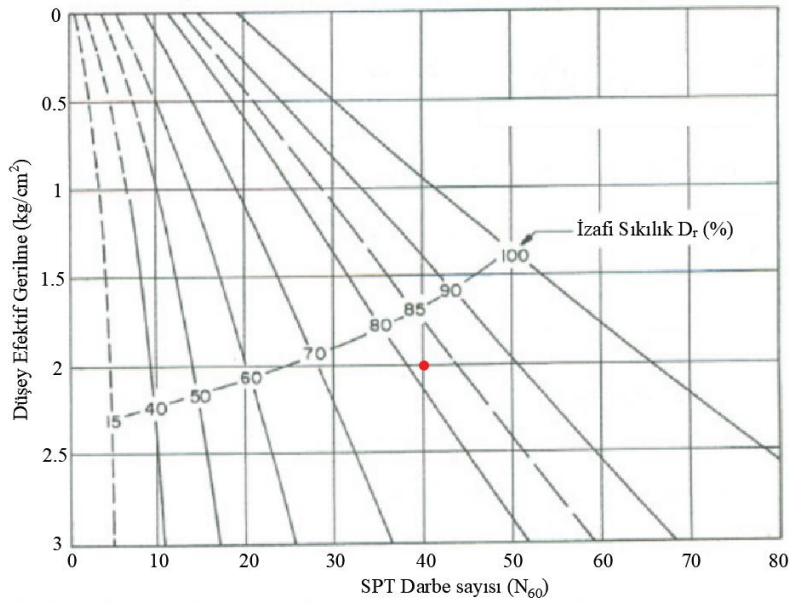
Şekil 4. SPT-Derinlik dağılım grafiği (Geoteam, 2018)

Figure 4. SPT-Depth distribution graph (Geoteam, 2018)

Kumlu zeminin mühendislik parametreleri, literatürde yer alan SPT darbe sayısı ile zeminin mühendislik parametreleri arasındaki korelasyonlardan faydalanılarak hesaplanmıştır. Hesaplarda kullanılan korelasyonların seçiminde efektif gerilmeyi de dikkate alan korelasyonun seçilmesine özen gösterilmiştir. Kumlu zeminin içsel sürtünme açısı Denklem 1'e göre hesaplanmıştır. Denklem 1'de ϕ içsel sürtünme açısını, N SPT darbe sayısını, σ'_0 ise düşey efektif gerilmeyi simgelemektedir (OCDI, 2002).

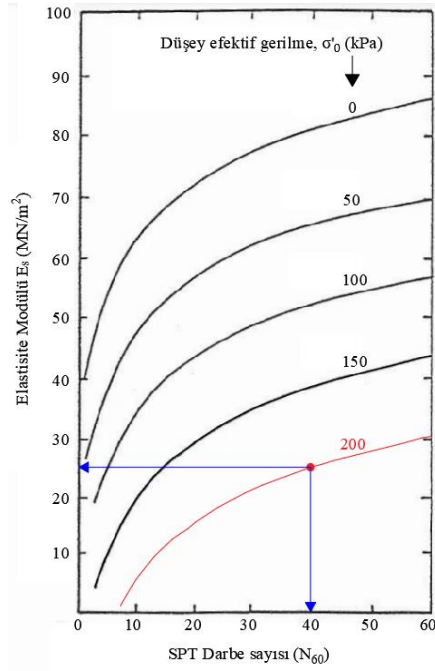
$$\phi = 25 + 3,2x \sqrt{\frac{100.N}{70+\sigma'_0}} \quad (1)$$

Kumlu zeminin izafi sıklığı Şekil 5'deki korelasyona göre, elastisite modülü ise Şekil 6'daki korelasyona göre hesaplanmıştır. Yapılan hesaplar neticesinde kumlu zemin profilinin mühendislik parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 5. SPT darbe sayısı ve izafi sıklık arasındaki korelasyon (Gibbs ve Holtz, 1957)

Figure 5. Correlation between SPT blow count and relative density (Gibbs and Holtz, 1957)



Şekil 6. Granüler zeminler için SPT darbe sayısı ve elastisite modülü arasındaki korelasyon (Menzenbach, 1967)

Figure 6. Correlation between SPT blow count and modulus of elasticity for granular soils (Menzenbach, 1967)

Çizelge 1. Kumlu zemin profilindeki tabakanın mühendislik parametreleri

Table 1. Engineering parameters of layer in sandy soil profile

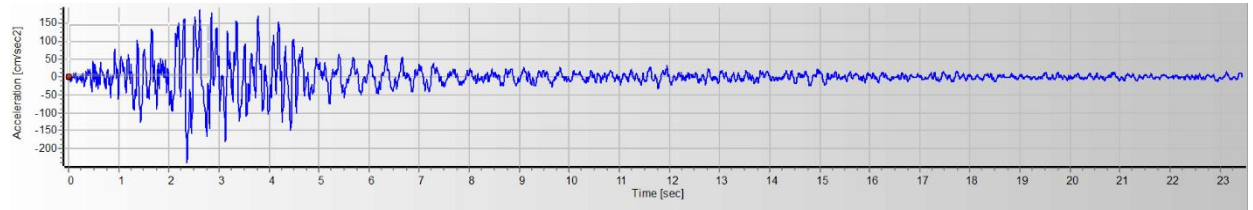
Tabaka	Kot (m)	Doğal Birim Hacim Ağırlığı (KN/m ³)	Ortalama SPT Darbe Sayısı	Elastisite Modülü (kPa)	İçsel Sürtünme Açısı (°)	İzafi Sıklık (%)
Orta sıkı/sıkı kum/çakıl	±0.0-(-20.0)	20	40	25000	37	82

Çalışma kapsamındaki dinamik analizler için kullanılan deprem ivme kaydına ait bilgiler Çizelge 2’de, kaydın ivme-zaman fonksiyonu ise Şekil 7’de verilmiştir. Yapılan modellemelerde dinamik analiz süresi 10 sn olarak ayarlanmıştır.

Çizelge 2. Deprem ivme kaydına ait bilgiler

Table 2. Informations on earthquake acceleration record

Deprem Adı	Deprem Gerçekleştiği Yıl	Deprem Büyüklüğü (ML)	Maksimum Yer İvmesi (cm/sn ²)
Upland California	1990	5,4	239,9



Şekil 7. Deprem kaydına ait ivme-zaman fonksiyonu

Figure 7. Acceleration-time function of earthquake record

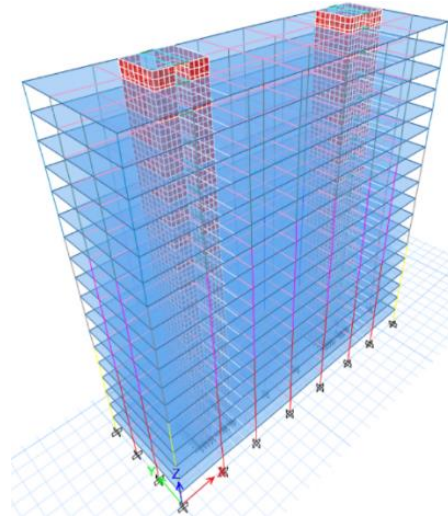
ARAŞTIRMA BULGULARI (RESEARCH FINDINGS)

Kumlu zeminde tasarımı yapılacak olan temel tipinin belirlenmesi için üstyapıdan temele aktarılacak aksel yük değerine ihtiyaç vardır. Bu sebepten dolayı Etabs V18 programında betonarme bina modeli yapılmıştır. Betonarme bina modeline ait bilgiler Çizelge 3’te verilmiştir. Betonarme bina modelinde kullanılan hareketli yük ve kar yükü değerleri TS498 1987 standardından, rüzgar yükü parametreleri ise TS EN 1991-1-4 2007 standardından alınmıştır. Betonarme bina modeli TS500 2000 standardına ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018’e uygun olarak yapılmıştır. Betonarme bina modelinin 3 boyutlu görseli Şekil 8’de verilmiştir.

Çizelge 3. Üstyapıya ait bilgiler

Table 3. Informations of superstructure

Taşıyıcı Sistem	Yapı Yüksekliği (m)	Kat Adedi	Kat Yüksekliği (m)	Yapı Oturma Alanı Geometrisi	Yapı Oturma Alanı (m ²)
Perde + çerçeve	60,5	19	3,25	Dikdörtgen	18x54



Şekil 8. Bina 3D modeli
Figure 8. Building 3D model

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

Çizelge 4. Farklı yük kombinasyonları için temele aktarılan eksenel yük değerleri

Table 4. Axial load values transferred to the foundation for different load combinations

Kombinasyon	1,4G+1,6Q	G+Q	Depremler kombinasyonlar (maksimum değer)	Rüzgarlı kombinasyonlar (maksimum değer)
Eksenel Yük (KN)	374709	262628	430924	308423

Temel tasarımında dikkate alınan maksimum eksenel yük değeri 430924 KN’dir. Temel tipi olarak ilk önce radye temel sistemi seçilmiştir. Üstyapının plan ebatları referans alınarak radye temelin plan ebatları 21x57 m kalınlığı ise 2 m olarak belirlenmiştir. Radye temelin, üstyapıdan kendisine aktarılan yükü güvenli bir şekilde taşıyıp taşımadığı ve izin verilen oturma değerini aşp aşmadığı kontrolleri yapılmıştır.

Radye temel taşıma gücü hesabı Denklem 2’ye göre yapılmıştır. Denklem 2’de q_k radye temel taşıma gücünü, q temel derinliğindeki efektif gerilmeyi, N_q, N_γ taşıma gücü faktörlerini, γ zeminin birim hacim ağırlığını, B' radye temelin genişliğini, s_q, s_γ şekil katsayılarını, d_q, d_γ ise derinlik katsayılarını simgelemektedir (TBDY, 2018).

$$q_k = q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \quad (2)$$

Radye temel oturma hesabı Denklem 3’e göre yapılmıştır. Denklem 3’te s_e elastik oturmaya, q_t radye temel emniyetli taşıma gücünü, N ise SPT darbe sayısını simgelemektedir (Meyerhof, 1965).

$$s_e = \frac{2q_t}{N} \quad (3)$$

Kumlu zeminde radye temelin temel taban basıncı, emniyetli taşıma gücü, oturma ve izin verilen oturma değerleri Çizelge 5’de verilmiştir.

Çizelge 5. Radye temel için temel taban basıncı, emniyetli taşıma gücü, oturma ve izin verilen oturma değerleri

Table 5. Foundation base pressure, safe bearing capacity, settlement and allowable settlement values for raft foundation

Radye Temel Taban Basıncı (kPa)	Radye Temel Emniyetli Taşıma Gücü (kPa)	Radye Temel Oturma Değeri (cm)	İzin Verilen Oturma Değeri (cm)
410	12524	62	5

Çizelge 5’den görüleceği üzere kumlu zeminde oturma probleminden dolayı radye temel tasarımının emniyetsiz olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Kumlu zeminde oturma probleminden dolayı radye temel tasarımı uygun görülmemiş ve kazıklı radye temel tasarımına gidilmiştir. Kazıklı radye temel tasarımlarında radye temelin ebat uzunlukları 21x57x2 m olarak alınmıştır.

Kumlu zeminde kazık gruplarının eksenel yük kapasitesi statik taşıma gücü formüllerinden hesaplanmıştır.

Kazık uç direnci Denklem 4’e göre hesaplanmıştır. Denklem 4’de Q_p kazık uç direncini, A_p kazık taban alanını, p_a atmosferik basıncı, N_q taşıma gücü faktörünü, ϕ ise taşıyıcı tabakanın efektif içsel sürtünme açısını simgelemektedir (Das, 2010).

$$Q_p = A_p \cdot 0,5 \cdot p_a \cdot N_q \cdot \tan\phi \quad (4)$$

Kazık sürtünme direnci Denklem 5’e göre hesaplanmıştır. Denklem 5’de Q_s kazık sürtünme direncini, p kazık kesitinin çevresini, L kazık uzunluğunu, K efektif toprak basınç katsayısını, σ'_0 dikkate alınan derinlikteki düşey efektif gerilmeyi, δ ise zemin-kazık sürtünme açısını simgelemektedir (Das, 2010).

$$Q_s = p \cdot L \cdot K \cdot \sigma'_0 \cdot \tan\delta \quad (5)$$

Çalışma kapsamında kazık sayısı, kazık uzunluğu ve kazık çapı parametrelerinin temel sistemlerinde dinamik (deprem) durumda oluşan deformasyon değerlerine etkilerinin incelenmesi maksadıyla kazıklar farklı sayı, uzunluk ve çaplarda tasarlanmıştır. Tasarlanan bütün modeller üstyapıdan gelen maksimum eksenel yükü taşıyacak şekilde tasarlanmıştır. Yapılan tasarımlarda bütün yükün kazıklar tarafından taşındığı kabulü yapılmıştır.

Kazık tasarımlarında öncelikle kazık sayısı sabit tutularak kazık uzunluğu ve çapı değiştirilmiş, daha sonra kazık çapı sabit tutularak kazık uzunluğu ve sayısı değiştirilmiş, son olarak kazık uzunluğu sabit tutularak kazık çapı ve sayısı değiştirilmiştir. Kazık sayısı, kazık uzunluğu ve kazık çapı parametrelerinin sabit tutulabilmesi için referans değerlere ihtiyaç vardır. Referans kazık parametre değerleri Çizelge 6’da verilmiştir.

Çizelge 6. Referans kazık parametre değerleri

Table 6. Reference pile parameter values

Kazık Sayısı	Kazık Uzunluğu (m)	Kazık Çapı (cm)
15x7 (105)	14	100

Kazık sayısının sabit tutularak kazık uzunluğu ve kazık çapının değiştirilmesiyle oluşturulan modellere ait parametreler Çizelge 7’de, kazık çapının sabit tutularak kazık sayısı ve kazık uzunluğunun değiştirilmesiyle oluşturulan modellere ait parametreler Çizelge 8’de, kazık uzunluğunun sabit tutularak kazık sayısı ve kazık çapının değiştirilmesiyle oluşturulan modellere ait parametreler ise Çizelge 9’da verilmiştir.

Çizelge 7. Kazık sayısının sabit tutulduğu modellere ait parametreler*Table 7. Parameters belonging to the models in which the number of piles is kept constant*

Model	Kazık Sayısı	Kazık Uzunluğu (m)	Kazık Çapı (cm)
Model A	15x7 (105)	4	125
Model B	15x7 (105)	7	120
Model C	15x7 (105)	9	115
Model D	15x7 (105)	11	110
Model E	15x7 (105)	12,5	105
Model F	15x7 (105)	14	100
Model G	15x7 (105)	15,5	95
Model H	15x7 (105)	17	90

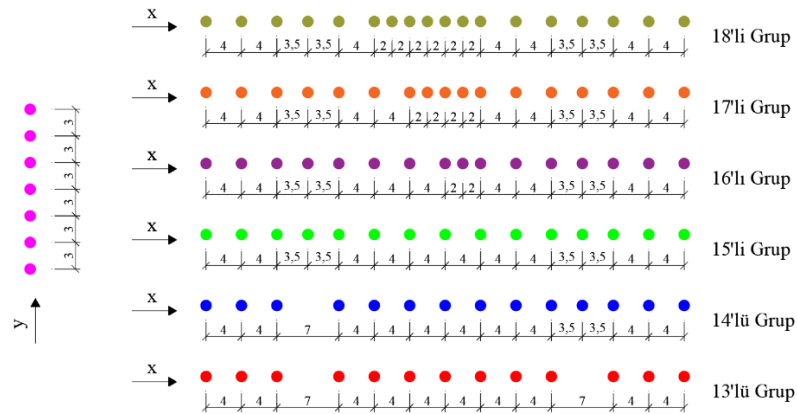
Çizelge 8. Kazık çapının sabit tutulduğu modellere ait parametreler*Table 8. Parameters belonging to the models in which the pile diameter is kept constant*

Model	Kazık Sayısı	Kazık Uzunluğu (m)	Kazık Çapı (cm)
Model I	18x7 (126)	10,5	100
Model J	17x7 (119)	11,5	100
Model K	16x7 (112)	13	100
Model L	14x7 (98)	15,5	100
Model M	13x7 (91)	17	100

Çizelge 9. Kazık uzunluğunun sabit tutulduğu modellere ait parametreler*Table 9. Parameters belonging to the models in which the pile length is kept constant*

Model	Kazık Sayısı	Kazık Uzunluğu (m)	Kazık Çapı (cm)
Model N	18x7 (126)	14	90
Model O	17x7 (119)	14	95
Model P	16x7 (112)	14	100
Model R	14x7 (98)	14	105
Model S	13x7 (91)	14	110

Çalışma kapsamında yapılan kazık tasarımlarında grup kesitindeki değişken kazık sayıları 18'li, 17'li, 16'lı, 15'li, 14'lü ve 13'lü olarak seçilmiştir. 18'li grupta 126, 17'li grupta 119, 16'lı grupta 112, 15'li grupta 105, 14'lü grupta 98, 13'lü grupta ise 91 adet kazık mevcuttur. Farklı gruplardaki kazıkların eksen mesafeleri Şekil 9'da verilmiştir. Şekilde verilen ölçüler m cinsindedir. Tüm modellerde kazıkların y eksenindeki eksen mesafeleri eşit ve 3 m'dir.



Şekil 9. Farklı gruplardaki kazıkların eksen mesafeleri

Figure 9. Axis distances of piles in different groups

Çalışma kapsamında tasarlanan 18 farklı kazıklı radye temel tasarımının modelleme ve dinamik (deprem) analizleri Plaxis 2D sonlu elemanlar analiz programında yapılmıştır. Kumlu zemine ait modelleme parametreleri Çizelge 10'da verilmiştir.

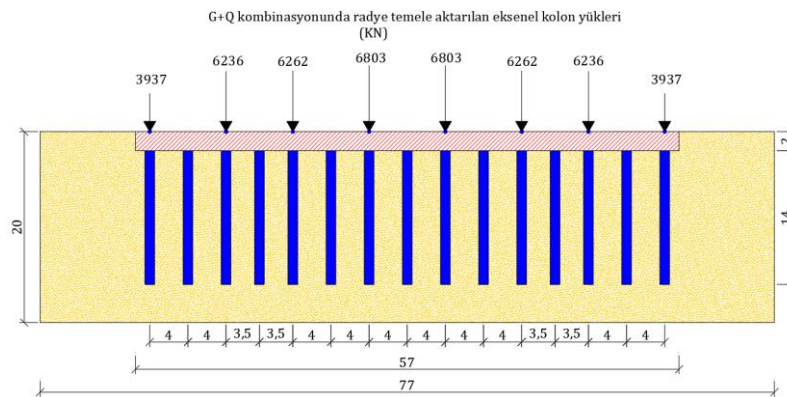
Çizelge 10. Modelleme parametreleri

Table 10. Modeling parameters

Tabaka	Malzeme Modeli	Malzeme Tipi	Birim Hacim Ağırlık γ_n (KN/m ³)	Elastisite Modülü (KN/m ²)	Poisson Oranı (ν)	İçsel Sürtünme Açısı (°)
Orta Sıkı/Sıkı Kum/Çakıl ± 0.0 -(-20.0)	Mohr-Coulomb	Drenajlı	20	25000	0,30	37

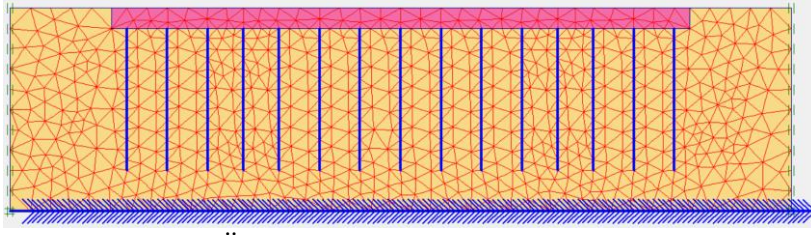
Çalışma kapsamında yapılan dinamik analizlerde düşey yük olarak üstyapıdan G+Q kombinasyonunda radye temele aktarılan eksenel yük değerleri kullanılmıştır (Şekil 10).

Kumlu zeminde tasarlanan kazıklı radye temel sistemleri için örnek model geometrisi Şekil 10'da örnek modelin Plaxis sonlu elemanlar ağı ise Şekil 11'de verilmiştir. Şekil 10'da verilen uzunluk ölçüleri m cinsindedir.



Şekil 10. Örnek model geometrisi

Figure 10. Sample model geometry



Şekil 11. Örnek modelin Plaxis sonlu elemanlar ağı

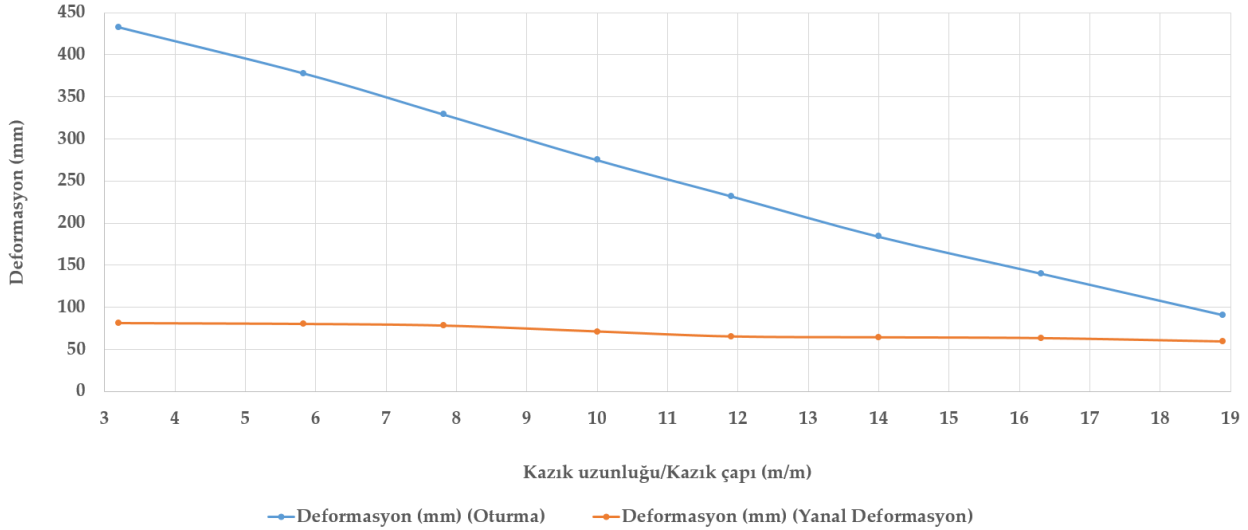
Figure 11. Plaxis finite element mesh for sample model

Kazık sayısının sabit tutulduğu modellere ait deformasyon değerleri (oturma ve yanal deformasyon) Çizelge 11’de ve bu modellerdeki deformasyon değerlerinin değişimini gösteren grafik Şekil 12’de, kazık çapının sabit tutulduğu modellere ait deformasyon değerleri Çizelge 12’de ve bu modellerdeki deformasyon değerlerinin değişimini gösteren grafik Şekil 13’te, kazık uzunluğunun sabit tutulduğu modellere ait deformasyon değerleri Çizelge 13’te ve bu modellerdeki deformasyon değerlerinin değişimini gösteren grafik Şekil 14’de verilmiştir.

Çizelge 11. Kazık sayısının sabit tutulduğu modellere ait deformasyon değerleri

Table 11. Deformation values belonging to the models in which the number of piles is kept constant

Model	Kazık Sayısı	Kazık Uzunluğu (m)	Kazık Çapı (cm)	Oturma (mm)	Yanal Deformasyon (mm)	Kazık Uzunluğu/Kazık Çapı (m/m)
Model A	15x7 (105)	4	125	433	81	3,20
Model B	15x7 (105)	7	120	378	80	5,83
Model C	15x7 (105)	9	115	329	78	7,83
Model D	15x7 (105)	11	110	275	71	10
Model E	15x7 (105)	12,5	105	232	65	11,90
Model F	15x7 (105)	14	100	184	64	14
Model G	15x7 (105)	15,5	95	140	63	16,32
Model H	15x7 (105)	17	90	91	59	18,89

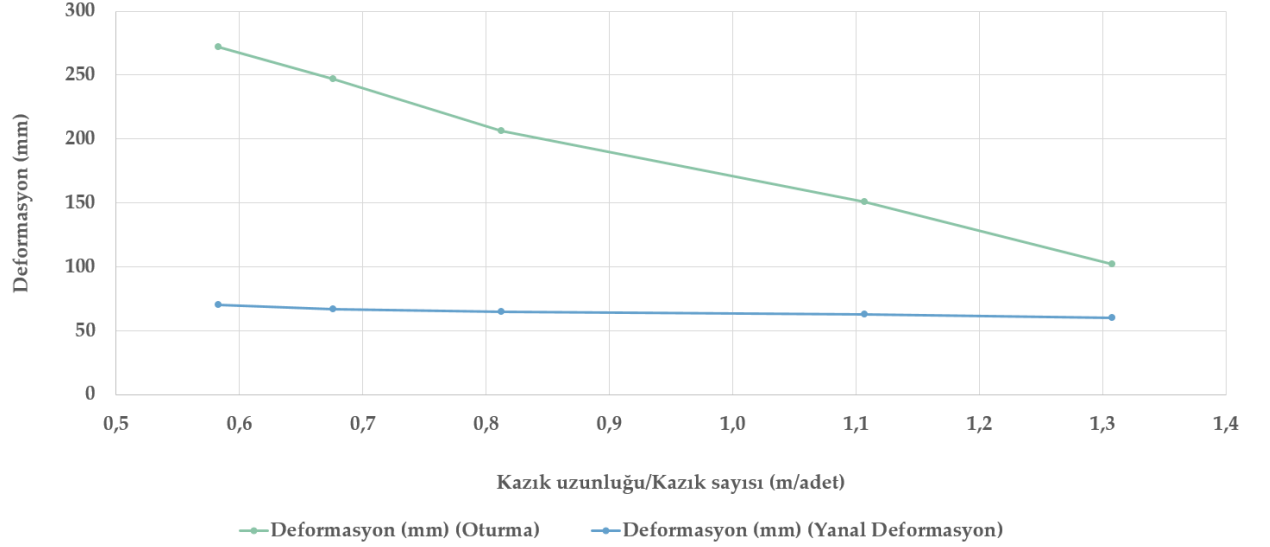


Şekil 12. Kazık sayısının sabit tutulduğu modellere ait deformasyon değerlerinin değişimi

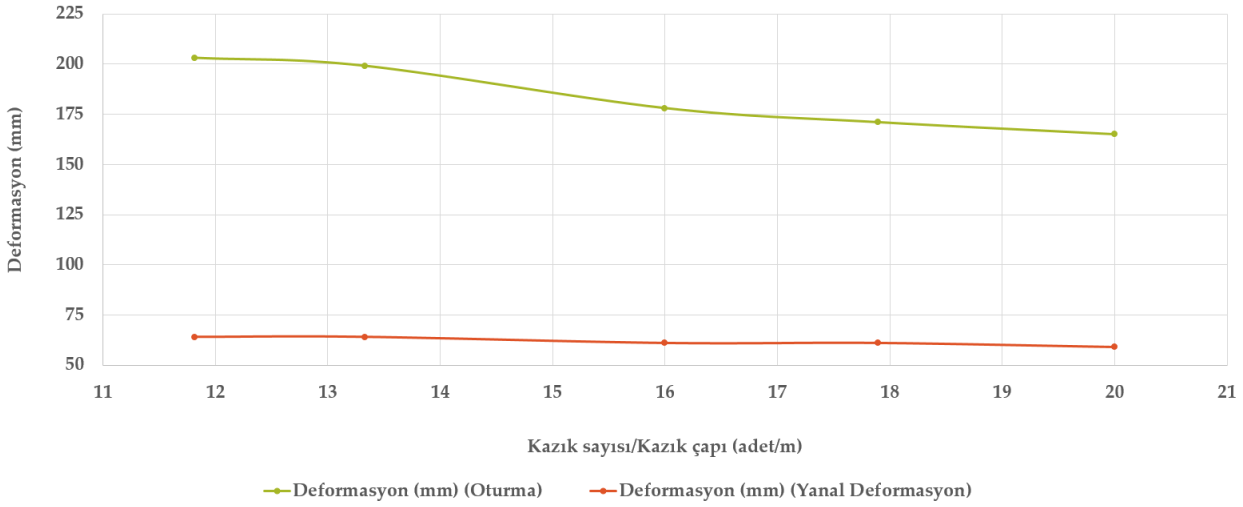
Figure 12. Change of deformation values belonging to the models in which the number of piles is kept constant

Çizelge 12. Kazık çapının sabit tutulduğu modellere ait deformasyon değerleri*Table 12. Deformation values belonging to the models in which the pile diameter is kept constant*

Model	Kazık Sayısı	Kazık Uzunluğu (m)	Kazık Çapı (cm)	Oturma (mm)	Yanal Deformasyon (mm)	Kazık Uzunluğu/Kazık Sayısı (m/adet)
Model I	18x7 (126)	10,5	100	272	70	0,58
Model J	17x7 (119)	11,5	100	247	67	0,67
Model K	16x7 (112)	13	100	206	65	0,81
Model L	14x7 (98)	15,5	100	151	63	1,10
Model M	13x7 (91)	17	100	102	60	1,30

**Şekil 13.** Kazık çapının sabit tutulduğu modellere ait deformasyon değerlerinin değişimi*Figure 13. Change of deformation values belonging to the models in which the pile diameter is kept constant***Çizelge 13.** Kazık uzunluğunun sabit tutulduğu modellere ait deformasyon değerleri*Table 13. Deformation values belonging to the models in which the pile length is kept constant*

Model	Kazık Sayısı	Kazık Uzunluğu (m)	Kazık Çapı (cm)	Oturma (mm)	Yanal Deformasyon (mm)	Kazık Sayısı/Kazık Çapı (adet/m)
Model N	18x7 (126)	14	90	165	59	20
Model O	17x7 (119)	14	95	171	61	17,89
Model P	16x7 (112)	14	100	178	61	16
Model R	14x7 (98)	14	105	199	64	13,33
Model S	13x7 (91)	14	110	203	64	11,82



Şekil 14. Kazık uzunluğunun sabit tutulduğu modellere ait deformasyon değerlerinin değişimi

Figure 14. Change of deformation values belonging to the models in which the pile length is kept constant

SONUÇLAR (RESULTS)

Bu çalışmada Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nin Lefke ilçesinde yer alan kumlu zeminde, farklı kazık sayısı, çapı ve uzunluklarında tasarlanan kazıklı radye temel sistemlerinin sonlu elemanlar yöntemiyle dinamik analizleri yapılarak deprem davranışları incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Kumlu zeminde, kazık sayısı sabit iken kazık uzunluğu artırılıp kazık çapı azaltıldıkça oturma değerinin doğrusal olarak azaldığı, yanıl deformasyon değerinin ise doğrusala yakın bir biçimde azaldığı tespit edilmiştir.
- Kumlu zeminde, kazık çapı sabit iken kazık uzunluğu artırılıp kazık sayısı azaltıldıkça oturma ve yanıl deformasyon değerlerinin doğrusala yakın bir biçimde azaldığı tespit edilmiştir.
- Kumlu zeminde, kazık uzunluğu sabit iken kazık sayısı artırılıp kazık çapı azaltıldıkça oturma değerinin doğrusala yakın bir biçimde azaldığı, yanıl deformasyon değerinin ise hemen hemen değişmediği tespit edilmiştir.
- Çalışma kapsamındaki kumlu zeminde tasarlanan kazıklı radye temel sistemlerinde, dinamik durumda oluşan deformasyonları azaltmanın en iyi yolunun kazık uzunluğunu artırmak olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Alsaleh, H., Shahrour, I., 2009, "Influence of plasticity on the seismic soil-micropiles-structure interaction", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Cilt 29, Sayı 3, ss. 574-578.
- 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*, Cilt 18, Sayı 10.
- Chourasia, J., Pendharkar, U., Singh, R., 2018, "Dynamic analysis of pile foundation with footing in different foundation soils", *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Cilt 5, Sayı 1, ss. 12-16.
- Das, B., 2010, *Principles of Foundation Engineering*, Cengage Learning, Stamford, United States of America.
- Dindar, H., Akgün, M., Atalar, C., Özdağ, Ö.C., İpek, Y., Tunçel, A., Akdemir, Ö., "K.K.T.C. Lefkoşa İlçesinde Yapılan Mikrotremor Çalışmaları", 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, DEÜ, İzmir, 14-16 Ekim 2015.

- Elmas, A., 2018, "Kıbrıs Adası yapısal süreksizliklerinin EGM08 gravite verileri kullanılarak belirlenmesi", *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, Cilt 42, Sayı 1, ss. 17-32.
- Geoteam Mühendislik Ltd. Şti., 2018, *Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti Lefke ilçesi konut projesine ait sondaja dayalı temel ve zemin etüd raporu*, Lefke, KKTC.
- Gibbs, H.J., Holtz, W.G., "Research on Determining the Density of Sands by Spoon Penetration Testing", *Proceedings of the 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, London, England, 35-39, August 1957.
- Ha, J.G., Ko, K.W., Jo, S.B., Park, H.J., Kim, D.S., 2018, "Investigation of seismic performances of unconnected pile foundations using dynamic centrifuge tests", *Bulletin of Earthquake Engineering*, Cilt 17, Sayı 5, ss. 2433-2458.
- Hakyemez, A., 2004, *Kuzey Kıbrıs Oligosen-Pliyosen İstiflerinin Planktonik Foraminifera Biyostratigrafisi*, Doktora tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- KKTC DBYBHY, 2015, *KKTC Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti Bakanlar Kurulu, KKTC.
- Menzenbach, E., 1967, "Le capacidad suportante de pilotes y grupos de pilotes", *Technologia (Ingenieria Civil)*, Cilt 2, Sayı 1, ss. 20-21.
- Meyerhof, G.G., 1965, "Shallow foundations", *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Divisions*, Cilt 91, Sayı 2, ss. 21-31.
- OCDI, 2002, *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan*, The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan, Tokyo.
- Ordu, E., Özkan, M.T., 2006, "Kazıklı temellerin deprem performanslarının üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi", *İTÜ Dergisi*, Cilt 5, Sayı 2, ss. 27-34.
- Osmanoğlu, U., 2021, *Farklı Zemin Gruplarında Tasarlanan Kazıklı Radye Temel Sistemlerinin Statik ve Dinamik Koşullar Altında Deformasyon Tabanlı Optimizasyonu: Kıbrıs Adası Örneği*, Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Rahmani, A., Pak, A., 2012, "Dynamic behavior of pile foundations under cyclic loading in liquefiable soils", *Computers and Geotechnics*, Cilt 40, ss. 114-126.
- Sadek, M., Shahrour, I., 2006, "Influence of the head and tip connection on the seismic performance of micropiles", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Cilt 26, Sayı 5, ss. 461-468.
- Taha, A., Naggar, M.H.E., Turan, A., 2015, "Experimental study on the seismic behaviour of geosynthetic-reinforced pile-foundation system", *Geosynthetics International*, Cilt 22, Sayı 2, ss. 183-195.
- TBDY, 2018, *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- TS EN 1991-1-4, 2007, *Yapılar Üzerindeki Etkiler- Bölüm 1-4: Genel Etkiler- Rüzgar Etkileri (Eurocode 1)*, Türk Standardları Enstitüsü, TSE, Ankara.
- TS500, 2000, *Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları*, Türk Standardları Enstitüsü, TSE, Ankara.
- TS498, 1987, *Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri*, Türk Standardları Enstitüsü, TSE, Ankara.
- Uzuoka, R., Sento, N., Kazama, M., Zhang, F., Yashima, A., Oka, F., 2007, "Three-dimensional numerical simulation of earthquake damage to group-piles in a liquefied ground", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Cilt 27, Sayı 5, ss. 395-413.
- 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.
- Zhan, Y.G., Wang, H., Liu, F.C., 2012, "Modeling vertical bearing capacity of pile foundation by using ABAQUS", *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, Cilt 17, ss. 1855-1865.