Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 26, Sayı 2, 2021 ARAŞTIRMA

DOI: 10.17482/uumfd.850730

KAZIKLI RADYE TEMEL SİSTEMİNDE TEMEL-ZEMİN ETKİLEŞİMİNİN YAPISAL DAVRANIŞ ÜZERİNE ETKİSİ

Münire FINDIK [*]
İlyas Devran ÇELİK [**]
Soner UZUNDURUKAN [**]
Ercan Egemen BAŞAR [*]
Adem BARLAS [*]

Alınma: 30.12.2020; düzeltme: 05.04.2021; kabul: 02.05.2021

Öz: Kazıklar ve kazıklı temeller, yapı yüklerinin yüzeysel temellere güvenle aktarılamadığı durumlarda kullanılmaktadır. Kazıklı radye temeller, kazık ve radyenin yük taşıma kapasitelerini birleştiren bir temel sistemi olması sebebiyle son yıllarda ön plana çıkmıştır. Bu sebeple, bu temel sistemlerinin güvenilir ve ekonomik tasarım için kapsamlı analitik ve deneysel çalışmalar yapılarak literatüre katkı sağlanmıştır.
Bu çalışmada, kohezyonsuz zemin içerisinde yer alan kazıklı radye temellerin tasarımında kat sayısı, zemin sıkılığı, kazık boyu parametreleri değiştirilerek SAP2000 programında analizler yapılmıştır. Değişken olan parametrelerin etkileri grafiklerle sunulmuş ve yorumlanmıştır. Çalışma sonucunda kazıklı radye sisteminde radye plağın zemine temas ederek yük paylaşımında kazık taşıma kapasitesine katkı sağladığı görülmüştür. Dizayn metodunda radye plağın zemine temas ettiği durum göz ardı edilmeyerek tasarımda bu katkı göz önüne alındığında daha ekonomik ve güvenli sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kazıklı Temel, Yapı-zemin Etkileşimi, Kohezyonsuz Zemin

Structural Impacts Of The Foundation-Soil Interaction Based On the Piled Raft Foundation System

Abstract: Piles and pile foundations are used in situations where building loads cannot be safely transferred to shallow foundations. Pile raft foundations have come to the fore in recent years because they are a foundation system that combines the load bearing capacities of pile and radius. For this reason, extensive analytical and experimental studies have been conducted for the reliable and economical design of these foundation systems, contributing to the literature.
In this study, in the design of pile raft foundations located in cohesionless soil, the number of floors, soil density and pile length parameters were changed and analyzes were made in the SAP2000 program. The effects of variable parameters are presented with graphics and interpreted. As a result of the study, it was observed that the raft plate in the piled raft system touched the ground and contributed to the pile carrying capacity in load sharing. In the design method, the situation where the raft plate touches the ground is not ignored and more economical and safe results are obtained by considering this contribution in the design

Keywords: Pile Foundation, Structure-soil Interaction, Cohesionless Soil

[*] Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Entitüsü,32200 Çünür/ISPARTA
[**] Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,32200 Çünür/ISPARTA
İletişim Yazarı: Münire FINDIK(mnr.dikmen@gmail.com)

1. GİRİŞ

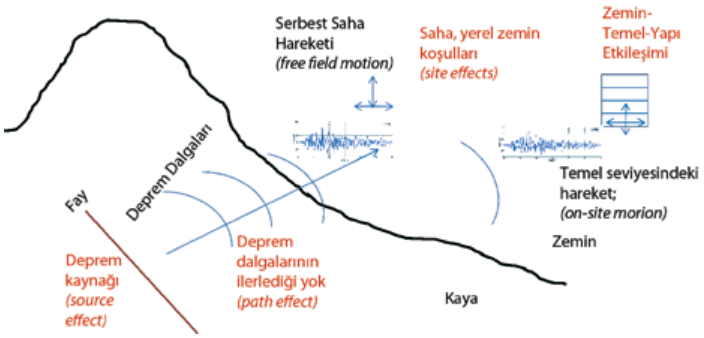
Nüfus artışı, insanların iş ve yaşam alanları hakkındaki beklenti ve ihtiyaçlarının farklılaşması, tarım alanlarının korunması gibi nedenlerle yeni nesil yüksek katlı yapılara talep artmaktadır. Bu talep çerçevesinde tasarlanan yüksek katlı yapılarda yapısal yüklerin, zemin-temel sistemi tarafından güvenle karşılanabilmesi ve temel sistemi seçimi büyük önem arz etmektedir. Yüzeysel temellerin, yapısal yükleri oturma ve taşıma gücü açısından güvenle aktarmasının mümkün olmadığı durumlarda, tasarım seçeneklerinden biri derin (kazıklı) temellerin kullanılmasıdır.

Yapısal sistemlerin tasarımı ile ilişkili mevzuatlar uyarınca temeller statik ve dinamik yükler altında analiz edilmektedir. Aktif deprem kuşağında yer alan bölgelerde zemin şartlarının, yapının dinamik tepkisine etkisi incelenmelidir. Bu amaçla yapı ve temelin birbirine etkisini sayısallaştırmak için sismik yükler altında zemin-temel-yapı davranışının birlikte modellenmesi daha gerçekçidir. Fay kırıldığında deprem dalgaları zemin ortamında yansıma, kırılma veya sönümlenme ile geçerek sırasıyla zeminleri, temel elemanlarını ve yapıyı sarsıntıya uğratır. Uzun periyotlu yüzey dalgalarının eklenmesi sonucu bu sarsıntı gerçek deprem etkisi oluşur.

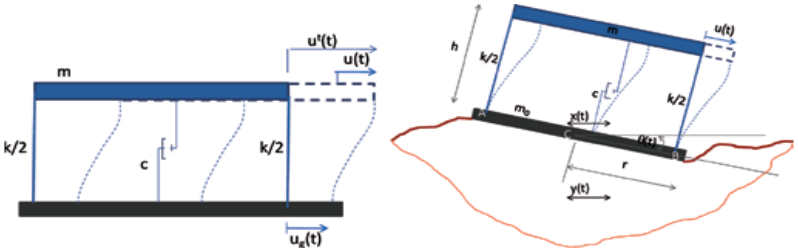
Temel zeminlerinin deprem yükleri altındaki davranışı, zemin cinsine ve parametrelerine göre değişkenlik göstermektedir. Kohezyonlu zeminlerde, kayma dalgaları nedeniyle oluşan tekrarlı şekil değiştirmeler sonucu yumuşama davranışı gözlenebilirken; gevşek ve doygun kohezyonsuz zeminlerde boşluk suyu basıncındaki artış efektif gerilmedeki azalış sonucunda kayma mukavemeti ve rijitliklik kaybı ile sıvılaşma meydana gelebilir. Deprem sarsıntısının şiddetinin artması, süresinin uzaması, titreşimin frekans içeriğinin değişmesi de zemin tepkisinin değişmesine sebep olur. Yumuşama ve sıvılaşma gibi zeminde meydana gelen mukavemet kayıpları bir taraftan üst yapıdan bağımsız olarak zemin-temel sisteminin yenilmesine neden olabilirken (geçmiş depremlerde taşıyıcı sistem bütünlüğü korunduğu halde zemin-temel sisteminden kaynaklanan hasarın bulunduğu birçok örnekle karşılaşılmaktadır), diğer taraftan zemin büyütmesi nedeniyle ortaya çıkan etkiler, yapının tasarımında dikkate alınan sismik etkilerin çok ötesine geçerek taşıyıcı sistemin güvenliğini tehlikeye sokmaktadır. (Siyahi ve vd 2015)

1.1. Zemin-Temel-Yapı Etkileşimi

Depremin yapılar üzerindeki etkisini belirlemek için birçok parametre vardır: depremin kaynağı, ilerlenilen güzergah, yerel zemin koşulları, zemin-yapı etkileşimi. Yapısal tasarım açısından deprem etkisi gözönüne alındığında kırılma mekanizması, fay hattına olan mesafe ve depremin büyüklüğü dikkate alınmalıdır. Deprem dalgaları yayılırken güzergah boyunca yer alan zemin formasyonları deprem dalgalarının sahaya ulaşana kadar değişik filtrelerden geçmesine sebep olur. Yerel zemin etkileri ise yüzeye yaklaşan deprem dalgalarının görece yüzeysel zemin tabakaları tarafından değiştirilmesiyle yüzeyde free-field (serbest zemin) hareketi oluşur. Zemin–yapı etkileşiminde temel ile serbest zemin hareketi arasındaki farklılıkları içermektedir. Aynı zemin üzerinde aynı temel sistemi kullanılarak inşa edilen aynı taşıyıcı siteme sahip yapı, farklı deprem koşullarında farklı davranışlar sergilemektir. Bu durumun temel sebebi zeminin dinamik özelliklerin farklı kayma birim deformasyonlarında farklı değerlere sahip olmasıdır. Dolayısıyla sismik etkilere karşı güvenli bir tasarım için Deprem- Zemin-Temel-Yapı etkileşimi dikkatle ele alınmalıdır (Çetin vd. 2014).



Şekil 1:
Zemin-Temel-Yapı Etkileşimi (Çetin vd. 2014)



a. *b.*

Şekil 2:
Kaya ve Yumuşak Zeminlerdeki Hareket (Çetin vd. 2014)
a.kaya zemin **b.** yumuşak zemin

Kısacası deprem sırasında zemin tepkisinin yapı hareketini, yapı tepkisinin de zemin hareketini etkilemesi durumuna Zemin-Yapı Etkileşimi denir. Bu etkileşimi daha iyi anlayabilmek için zemine oturan bir yapı ile yumuşak/gevşek zemine oturtulmuş aynı yapıyı kıyaslamak gerekir. Sağlam zemin üzerinde inşa edilen yapılarda, deprem yatay hareketinden oluşan taban kesme kuvveti yapı tabanına doğrudan etki ettirilir tabandaki kesme kuvveti eylemsizlik kuvvetine eşit olur. Bina temelinde taban kesme kuvvetine ek bir eğilme momenti de oluşur.

Yumuşak/gevşek zeminlere oturan yapılarda zemin-yapı etkileşimi nedeniyle deprem hareketi ile yapı tabanındaki hareket zemin davranışlarından dolayı birbirinden farklılık gösterir.(Siyahi ve vd 2015). Özetle yapı davranışını, yapının karakteristik özellikleri (kütle, rijitlik, sönüm oranı, dayanım ve süneklik v.b) ve zemin özellikleriyle belirlemektedir.

Yapı-zemin etkileşimi, deprem etkisi altında zemin ortamı (ve eğer varsa kazıklar) ile üstyapının birlikte incelendiği model çerçevesinde yapı ve zeminin birbirlerini karşılıklı olarak etkilemesi olarak tanımlanabilir. Yapı-zemin etkileşimi genel olarak aşağıda açıklanan iki yöntem ile analiz edilebilir. Bunlar, “Direkt (Doğrudan) Yöntem” ve “Altsistem Yöntemi”dir.

Direkt Yöntem’de, kuvvetli yer hareketi altında gerek üst yapıda, gerekse zeminde meydana gelebilecek non-lineer şekil değiştirmelerin zaman tanım alanında analizi ile elde edilir. Altsistem Yöntemi’nde, yapı-zemin dinamik etkileşiminin “kinematik etkileşim” ve “eylemsizlik etkileşimi” olmak üzere iki kısma ayrılarak analiz edilir. (Aydınoğlu, 2011),(TBDY 2018).

Nguyen vd. (2013), kum zeminlerdeki kazıklı radye sistemini 9 ve 16 kazıktan oluşan temel sistemiyle santfiruj deneyleriyle incelemişlerdir. Taşıma gücü ve oturma açısından davranışlarını yorumlamışlardır. Taşıma gücünün %10-20’si radye tarafından karşılanırken %80-90’ının kazık grupları tarafından karşılanacağı önermişlerdir. PLAXIS 3D ve SAP 2000 programlarıyla

analizler yapmış bu sonuçları model santrifüj deney sonuçları iler karşılaştırmış ve uyumlu olduğunu görmüşlerdir.

Sawada ve Takemura (2014) kazıklı radye temellerini incelemek için farklı kombinasyonlarda santrifüj deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Santrifüj model deneyler sonucunda kazıklı radye temellerin gelen yatay yükler sonucunda oluşan deplasmanlar üzerinde etkili olduğunu görmüşler; kazık boyunca deplasmanın arttığını belirtmişlerdir.

Bağrıaçık (2015) kum zemin içerisinde yer alan kazıklı radye temellerin tasarımında dikkate alınması gereken parametreler (kazıklar arası mesafe, kazık yüzey pürüzlülüğü, düşey yükün temel merkezinden uygulanma mesafesi, tabakalı zemin durumları vb.) incelemiştir. PLAXİS 3D Foundation programı ile sayısal analizler yapmış ve bu verileri deney sonuçları ile karşılaştırmıştır.

Fattah vd. (2015) kazıklı radye temellerin kohezyonsuz zeminlerde davranışını incelemek için deneyler yapmışlardır. Kum tankına yerleştirdikleri temelleri düşey olarak yüklemiş ve oluşan deplasmanları ölçmüşlerdir. Yüklemeler farklı kazık karelajlarında tekrarlanmıştır. Ayrıca deneysel çalışmalarda radyenin zemine temas etmediği durumlarda gözlenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda kazık karelajının ve kazık sayısının temelin davranışını değiştirdiğini belirlemişlerdir.

Nguyen vd. (2017) kazıklı radye temel davranışını incelemek için model deneyler gerçekleştirmişlerdir. Santrifüj tankında düşey olarak yüklemeyi 9 ve 16 kazıktan oluşan temeller üzerinde yapmışlardır. Deneylerde silis kumu kullanılmıştır. Ayrıca santrifüj model nümerik sonuçları karşılaştırmışlardır.

Sharafkhan ve Shooshpasha (2018) kazıklı radye temellein davranışında kazık yerleşiminin etkilerini araştırarak kohezyonsuz zeminlerde model deneyler yapmışlardır. Simetrik ve asimetrik kazık yerleşim düzenine sahip model kazıklı temellere yüklemeler yapılarken oturma değerleri ölçülmüştür. Deneysel çalışmalar sonucunda simetrik yerleştirilen kazıklarla oluşturulan temellerde oturmanın ölçümlerinin daha az olduğu belirlemiştir.

Özpolat (2020)' de çalışma kapsamında ağırlıkça %50 kil ve %50 kum malzeme karıştırılarak, doğadaki zeminlere benzer yeni bir zemin elde edilmiştir. Kazıklar arası mesafe arttıkça kazık grubu+radyenin taşıma gücünün arttığı, oturmaların ise azaldığı görülmektedir. Kazık aralığının sabit olduğu ve sadece kazık sayısının arttığı durumda kazık grubunun taşıma gücü artmaktadır.

Altay ve Kayadelen (2017)'de yaptığı çalışmada ANSYS programı yardımıyla kazıkları farklı çaplarda ve uzunluklarda modellemiştir. Kazıklar 40 cm, 80 cm ve 100 cm çapında ve 10m, 15 m ve 20 m uzunluğundaki tekil kazık olarak incelenmiştir. Farklı çaplarda ve uzunluklarda modellenen kazıklar için kayma gerilmeleri ve deplasman değerlerini belirlenmiştir. Aynı uzunluktaki farklı çapta kazıklarda momentin artmasıyla maksimum kayma gerilmesi ve maksimum yanal deplasmanların arttığını gözlemlemişlerdir.

Omeman (2012) kohezyonsuz zeminlerde kazıklı radye temellerde radye kazık yük paylaşımlarını PLAXIS 2D programı ile incelemişlerdir. Çalışmada kazık çapı, kazık boyu, kazık aralığı, uygulanan yük, kazık-zemin ara yüzey dayanımını azaltma faktörü, zeminin içsel sürtünme açısı, kazık zemin ve radye elastisite modülü, zeminin Poisson oranı, zeminin birim hacim ağırlığı, radye kalınlığı, radye genişliği değişken parametreler olarak seçilmiştir. Bu parametrelerin yük paylaşımındaki etkileri sonlu elemanlar programı yardımı ile araştırılmıştır.

Vu vd. (2014) PLAXIS 3D programında kazık sayısını, kazık uzunluğu, kazık çapını ve kazık yerleşim düzeninin değişimiyle kazıklı radye temellerin davranışını incelemişlerdir. Farklı kazık parametrelerine sahip kazıklı radye temeller üzerine nümerik analizler yapmıştır. Yapılan analizlerde parametrelerin değişimini kazıklı radye temel davranışını ciddi oranda etkilemiştir.

Watcharasawe vd. (2015) kohezyonlu zeminlerdeki farklı yükseklikteki yapıları PLAXIS 3D programında analiz etmiştir. Zemini modellerken Mohr-Coulomb bünye modeliyle tasarlamış; yük-deplasman değerleri belirlenmiştir. Analizler sonunda radye kalınlığının temel davranışını değiştirdiğini gözlemlemişlerdir. Yapının zemin içindeki derinliği arttıkça kazıklı radye temelinde taşıma gücünde değişimler oluşmuştur.

Deshpande ve Thakare (2017) kazıklı radye temelleri MIDAS GTS 3D programı incelemişlerdir. Farklı kazık parametreleri kullanarak kazıklı radye temellerde optimum tasarım için analizler yapmışlardır. Analizler sonucunda kazık sayısındaki artış taşıma gücünde önemli artışlara sebep olmuştur. Bu artış çaptan daha çok kazık boyunun artmasıyla gerçekleşmiştir. Ayrıca; optimum kazık uzunluğunun L/D=20 (kazık uzunluğu/kazık çapı) olduğu belirlenmiştir.

Alver ve Gürkan (2015)' de yaptığı çalışmada, kazık sayısının ve kazık uzunluğunun kazıklı radye temelin oturma davranışındaki etkileri araştırılmışlardır. Optimum tasarım yapabilmek için kazıkların sayısının arttırmak yerine kazık uzunluğunu arttırmanın daha verimli sonuçlar vereceğini önermişlerdir.

2. MATERYAL ve METHOD

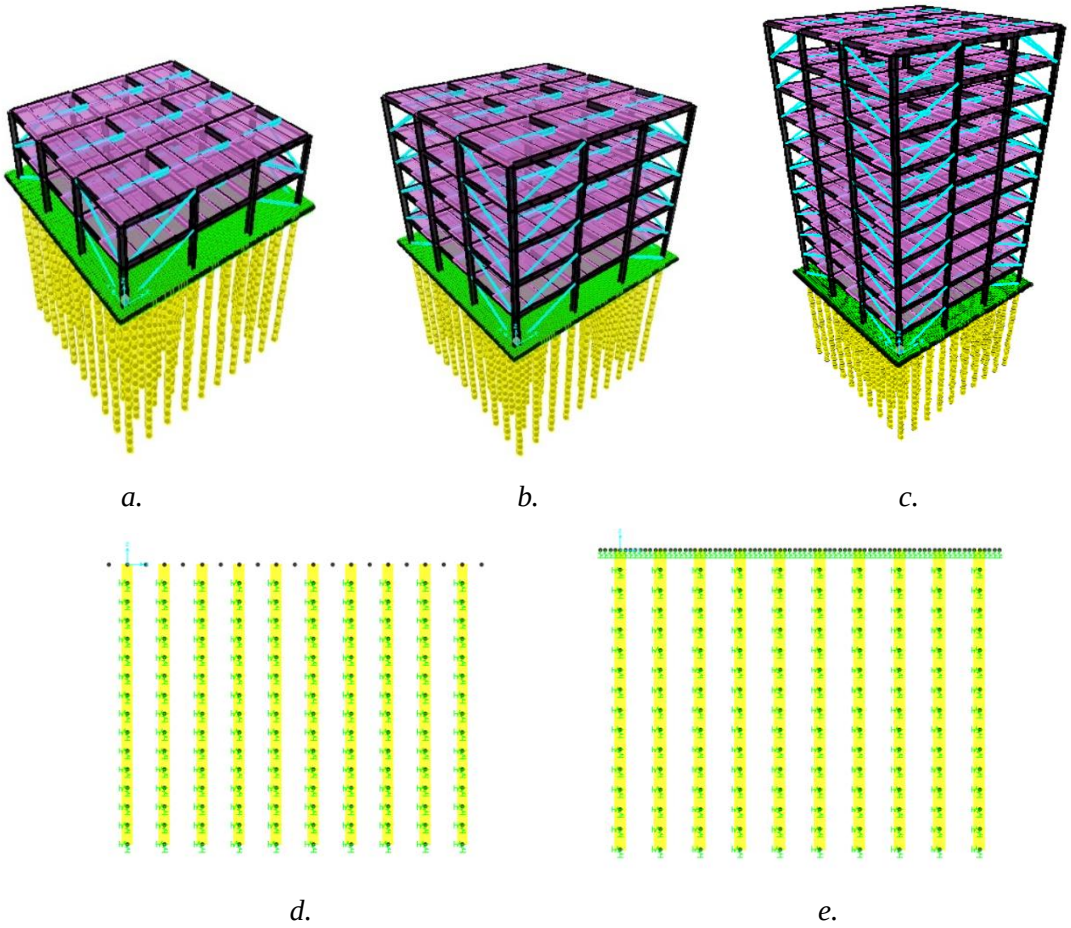
Yapılan bu çalışmada, derin temelli bina tipi yapıların statik itme analizi altındaki davranışı incelenmiştir. Derin temeller için tasarım aşamasında kazıklı radye temel sistemi için genellikle radyenin zemine temas etmediği kabul edilmektedir. Bu sebeple çalışmada radyenin zemine temas ettiği durum için yapısal davranış açısından ortaya koyduğu farklılıkların irdelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda kazıklı radye sisteminde radye temelin zemine temaslı ve temassız olduğu durumlar için gruplandırılarak sayısal modeller oluşturulmuştur. Her bir grupta kazık boyu, zemin parametreleri ve kat sayısı bir değişken olarak alınmış ve sayısal modeller çeşitlendirilmiştir. Analizlerde dikkate alınan çerçeve sistemleri merkezi güçlendirilmiş taşıyıcı sistem türü seçilmiştir. Bu kapsamda çelik taşıyıcı sistem olarak analiz edilen bu yapı sistemi davranışça betonarme taşıyıcı sistemlerde perdeli çerçeve karma sistemleri davranışına en yakın çelik yapı tipi seçilmiştir.

Dikkate alınan değişkenlerin yapı kapasitesi üzerine etkilerini inceleyebilmek için statik itme analizi yapılmıştır. Kazık boyu, zemin durumu ve yapı kat sayısının radye temelin zemine temaslı ve temassız durumları için yapısal davranış üzerine etkilerini ortaya koyabilmek adına alınan sonuçlar grafikler ile sunulmuştur. Modellerin isimlendirilmesinde kullanılan parametrelere bağlı olarak göre Tablo 1'de verilen kısaltmalar kullanılmıştır. Kısacası modellerde radyenin zemine temaslı olduğu durum (A) , temassız olduğu durumlar (B), kat sayısı (i), zeminin sıkılığı gevşek (g) ve orta sıkı (s), kazık boyu 15 m (k) ve 20 m (u) olarak tanımlanmıştır. Modeller 2-10 aralığındaki 9 farklı kat sayısı için oluşturulmuştur. Zemin parametreleri kazık ve radye plak sistemine yay sabiti kullanılarak tanıtılmıştır. Örnek model görselleri Şekil 3' de detaylandırılmıştır.

Tablo 1. Grafikler için isim kısaltmaları

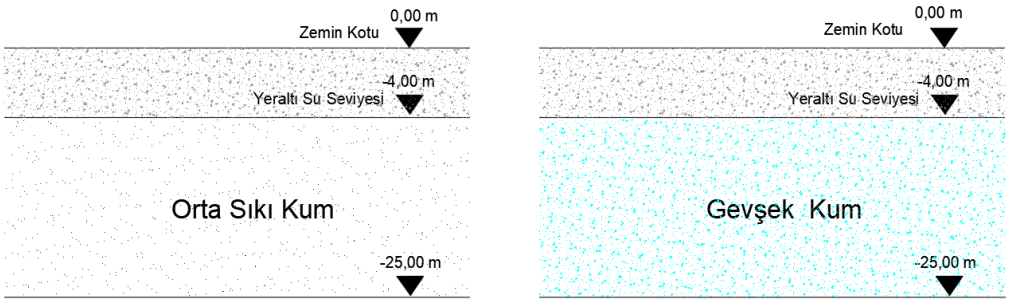
İSİMLENDİRME	AÇIKLAMASI
Aigkx	Radye temel zemine temassız durum i katlı yapı, gevşek zemin, 15 m kazık boyu için x yönü grafikleri

Bigkx	Radye temel zemine temaslı durum i katlı yapı, gevşek zemin, 15 m kazık boyu için x yönü grafikleri
Aiskx	Radye temel zemine temassız durum i katlı yapı, sıkı zemin, 15 m kazık boyu için x yönü grafikleri
Biskx	Radye temel zemine temaslı durum i katlı yapı, sıkı zemin, 15 m kazık boyu için x yönü grafikleri
Aigux	Radye temel zemine temassız durum i katlı yapı, gevşek zemin, 20 m kazık boyu için x yönü grafikleri
Bigux	Radye temel zemine temaslı durum i katlı yapı, gevşek zemin, 20 m kazık boyu için x yönü grafikleri



Şekil 3:
Yapı Görselleri
a.2 katlı yapı, b. 5 katlı yapı, c. 10 katlı yapı, d. Kazıklı temel, e, Kazıklı radye temel

Bu bağlamda 65 cm çapında betonarme kazıklar 2m*2m karelajda yerleştirilerek 20m*20m kazıklı radye temel oluşturulmuştur. Radye kalınlığı 1m olup, temelin zemine gömülü derinliği 3 m olarak alınmıştır. Analizlerde kullanılan zemin profili Şekil 4'te görülmektedir. Sayısal modellerde kazık zemin ilişkisi yay sabiti kullanılarak programa tanımlanmıştır. Zemin parametreleri (Tablo 2) ve yatak katsayıları (Tablo 3) sunulmaktadır.



Şekil 4:
Zemin Profili

Tablo 2. Kohezyonsuz zemin için tasarımda kullanılan parametreler

Zemin	E_s (kN/m^2)	Φ	Y_n (kN/m^3)	ν	G (kN/m^2)
Gevşek Kum	20000	25°	18	0,3	7693
Orta sıkı kum	25000	30°	19	0,3	9615

E_s: Elastisite modülü
Φ: Efektif kayma direnci açısı
Y_n : Zemin doğal birim hacim ağırlığı
ν: Poisson oranını ifade etmektedir.

Tablo 3. Yatak Katsayıları

Derinlik (m)	Ko (kN/m^3)	Derinlik (m)	Ko (kN/m^3)
1	3667	11	23833
2	7333	12	26000
3	11000	13	28166
4	14667	14	30333
5	10833	15	32500
6	13000	16	34666
7	15167	17	36833
8	17333	18	39000
9	19500	19	41166
10	21667	20	43333

Kumlu zeminlerde yanal yatak katsayısı, Kh(kN/m^3) değeri Denklem 1 kullanılarak hesaplanabilir (DLH 2007). Yanal yatak katsayısı derinlikle doğrusal bir artış göstermektedir. Bu nedenle SAP 2000 programında zemin yatak katsayısını temsil eden yay sabitleri her bir metre için tanımlanmıştır (SAP 2000).

$$Kh = nh*(z/B) \tag{1}$$

Denklem 1'de ifade edilen nh, zemin sıkılığına bağlı katsayı, z derinlik (m), B kazık çapıdır (m).

Tablo 4 . Kohezyonsuz zeminlerde nh değerleri (DLH,2007)

Zemin Sıkılığı	YASS üzerinde nh (kN/m3)	YASS altında nh (kN/m3)
Gevşek	2200	1300
Orta sıkı	6600	4400
Sıkı	18000	11000

Tablo 3' de yatak katsayısı olarak tanımlanan yay sabitleri kullanılarak X ve Y yönü olan yatay doğrultularda sınır koşulları tanımlanmıştır.

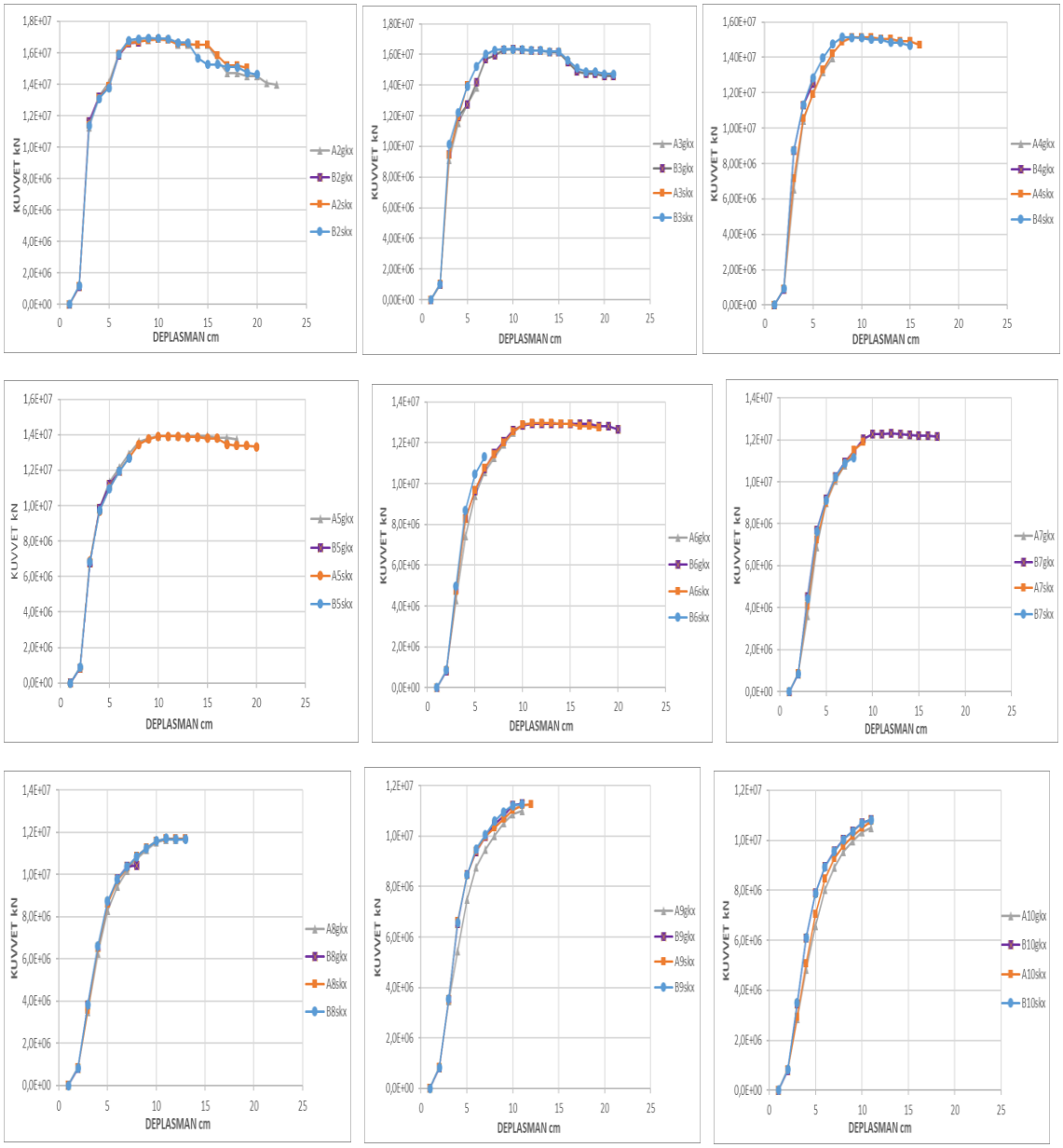
3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılan bu çalışmada radye temelli kazık sistemlerin tasarımında sadece kazıkların taşıyıcılığının dikkate alındığı durum ile radye ve kazık sisteminin birlikte analiz edildiği durum arasındaki farklılıkların üst yapı ve kazık sistemi üzerindeki etkilerin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu kapsamda yapı taşıyıcı sistemi, taşıyıcı eleman tipleri ve kat yükseklikleri sabit kalmak şartıyla, kat sayıları 2'den 10'a kadar dikkate alınarak 9 farklı model oluşturulmuştur.

Bu modellerde farklı analizler ve karşılaştırmalar yapılmıştır;

- Derin temel sisteminin sadece kazıklı ve radye ile kazığın birlikte çalıştığı durumlar için farklı kat sayısına sahip modellerdeki kapasite değişimleri incelenmiştir. Analizlerde dikkate alınan çerçeve sistemler merkezi güçlendirilmiş çerçeve sistem tipi olup düşük süneklikli rijit çerçeve tipi yapı sistemleridir. Bu sebeple tasarım gereği taşıyıcı sistemde süneklik beklentisi olmayıp yatay yük yer değiştirme eğrileri pik değer karşılaştırma için sınır kabul edilmiş bunu takip eden yükleme durumları sistemi gevrek göçme durumuna getirmesi sebebiyle dikkate alınmamıştır. Analiz sonucunda kuvvet-deplasman eğrileri elde edilmiş ve Şekil 5'de karşılaştırılmıştır. Bu deplasman değerleri yapının en üst noktasında oluşan yanal yer değiştirme değerleridir. Grafikler incelendiğinde tüm yapı modellerinin sünek bir davranış sergilediği görülmektedir. Radyenin kazık sistemiyle birlikteliğinin, sadece kazıklı durumdaki farklılıkları 9 ve 10 katlı yapılarda belirginleşmektedir. 8 kat ve altındaki kat sayıları için tüm sonuçlarda grafikler birbiri ile örtüşmektedir. 9 ve 10 katlı modeller için elde edilen kapasite eğrileri incelendiğinde; radyenin zemine temaslı olduğu durumda yapı kapasitesinin temassız olduğu duruma göre yaklaşık %10 mertebesinde kazanım sağlandığı görülmektedir. Yani aynı yatay yer değiştirme için daha büyük yatay kuvvete ihtiyaç

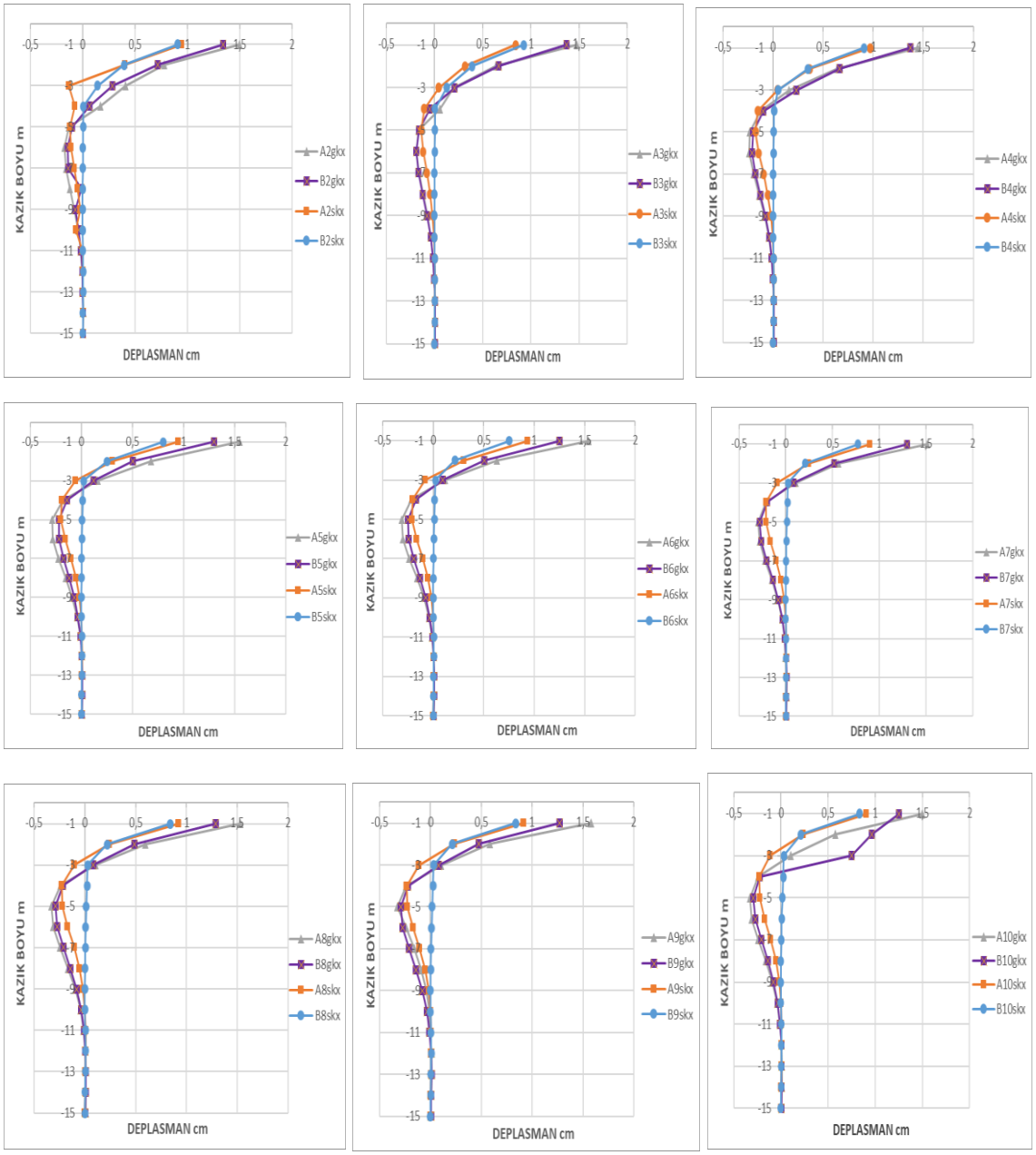
duyulmaktadır. Yer değiştirmeye karşılık gelen kapasitedeki farklılıklar özellikle plastik davranışın başladığı bölgede belirginlik kazanmıştır.



Şekil 5:
Kuvvet –Deplasman Grafikleri

- Çalışmada temel sistemi için yapılan kabullerin kazık yatay yer değiştirmesi üzerine etkisi gevşek ve orta sıkı kohezyonsuz zemin için hesaplanan iki farklı yatak katsayısı üzerinden değerlendirilmiştir. Şekil 6'da analiz sonucunda elde edilen kazık yanal yerdeğiştirmeleri her kat için verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde zemin sıkılığından kaynaklı olarak orta sıkı kumda %50 oranında yer değiştirmelerin azaldığı hesaplanmıştır. Kazıkla radyenin birlikte çalıştığı durumu temsil eden modellerde kazık yanal yer değiştirmelerin %25 oranında azaldığı hesaplanmıştır. Burada en belirleyici fark kazık ve radyenin birlikte çalıştığı durumlarda yatay yer değiştirmeler (sıkı kum için) kazık derinliği dikkate alındığında -3 m '

de sönümlenmiş, sadece kazık sisteminin değerlendirildiği durumlarda ise kazık yer değiştirmelerinin -11 m kotunda sönümlendiği hesaplanmıştır. Ayrıca sadece kazıklı durum için elde edilen grafiklerde yerdeğiştirme dağılımının eksenin pozitif ve negatif yönünde değerler aldığı bu durumun eksenel basınç altında çalışan kazık elemanlarının burkulma etkisi altındaki göçme moduna daha yakın bir dağılımda olduğunu ortaya çıkarmaktadır.



Şekil 6:
Derinlik- Deplasman Grafikleri

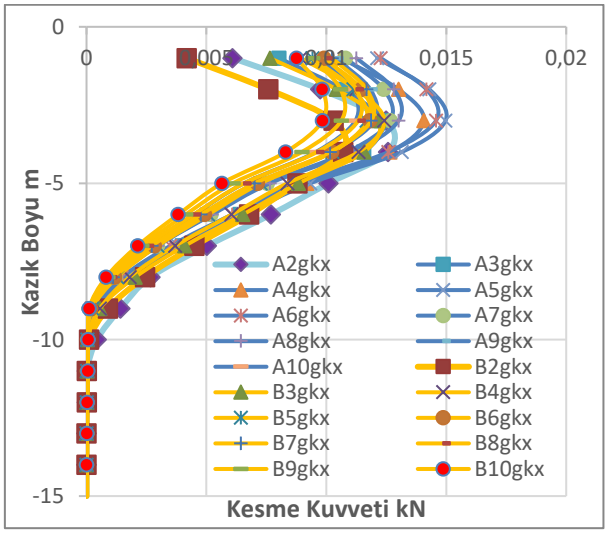
- Çalışmada tüm yapı modelleri 15m ve 20 m kazık boyu için yukarıda tanımlanan tüm parametreler altında ayrıca analiz edilmiştir. Bu kapsamda kazık boyunun çalışmada kabul edilen kriterler altında kazık derinliğince değişen kesme kuvveti ve moment dağılımı üzerine

etkisi incelenmiştir. Elde edilen grafikler en olumsuz şartların oluştuğu kazık için grafiklendirilmiştir. (Tüm bu hesaplamalar statik itme analizi için elde edilmiştir). Şekil 7'de 15 m için yapılan karşılaştırmalar değişen kat sayıları için elde edilen sonuçlardır. Bu sonuçları bir arada sunabilmek için kesme kuvveti ve moment değerlerinin yapı ağırlıkları ile oranlayarak ölçeklendirme yapılmıştır. Tablo 5' de ölçeklendirmede kullanılan yapı ağırlığı parametreleri kat sayısına bağlı olarak verilmiştir.

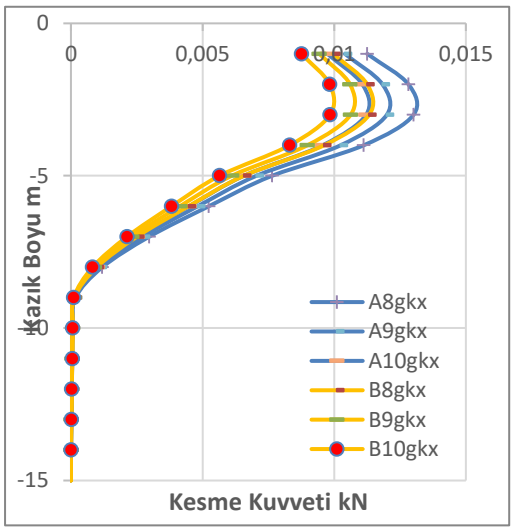
Tablo 5. Yapı Ağırlığı (kN)

Kat Adedi	Çerçeve sistem	Radye temel	Kompozit döşeme
2	545,258	9993,474	7182,039
3	817,887	9993,474	7945,485
4	1090,516	9993,474	8708,93
5	1363,145	9993,474	9472,375
6	1635,775	9993,474	10235,82
7	1908,404	9993,474	10999,265
8	2181,033	9993,474	11762,71
9	2453,662	9993,474	12526,155
10	2726,291	9993,474	13289,601

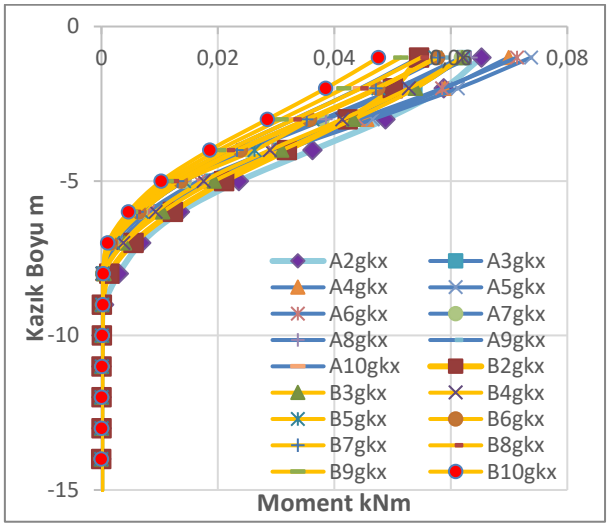
Şekil 7a' da tüm (kat sayıları için) modellerin sonuçları birlikte verilmiş, diğer modellerde Şekil 7b' de değerce ayrışan 8, 9 ve 10 katlı durumlar detaylandırılmıştır. Şekiller incelendiğinde kazık ve radyenin birlikte analiz edildiği durumlar için elde edilen sonuçlar 8, 9 ve 10 katlı modellerin yük dağılımlarına yansımıştır. Grafiklerde elde edilen sonuçlar kazık ve radyenin birlikte analiz edildiği durumlarda kazık başı kesme kuvveti ve moment değerlerinde %10-15 mertebesinde azalma tespit edilmiştir. Bu durumun radyenin kazık başına gelen kuvvetin azalmasına katkı sağladığı yani derin temel sistemi içerisinde radyenin yükün dağılımında paydaş olduğu sonucuna ulaştırmaktadır.



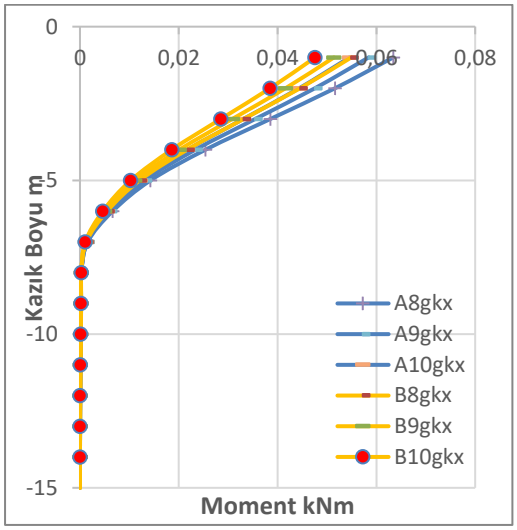
a.



b.



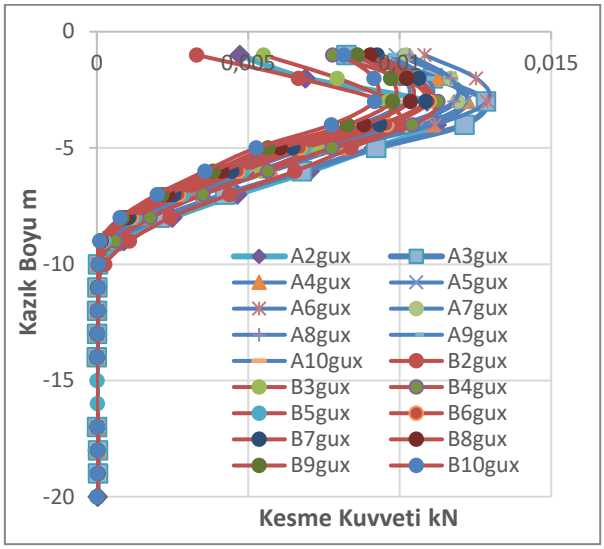
a.



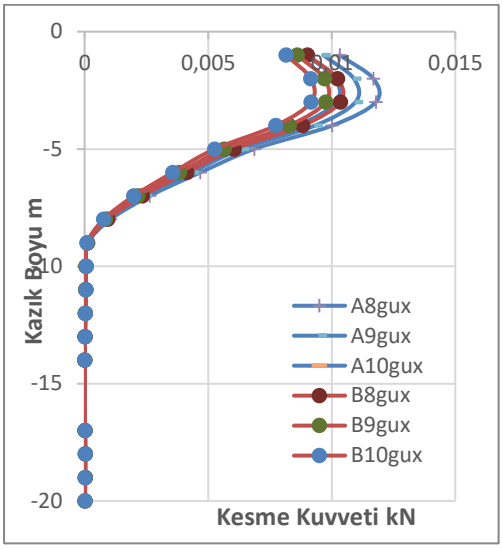
b.

Şekil 7:
Kesme Kuvveti, Moment Grafikleri
a.Toplu grafikler, b.8,9 ve 10 kat grafikleri

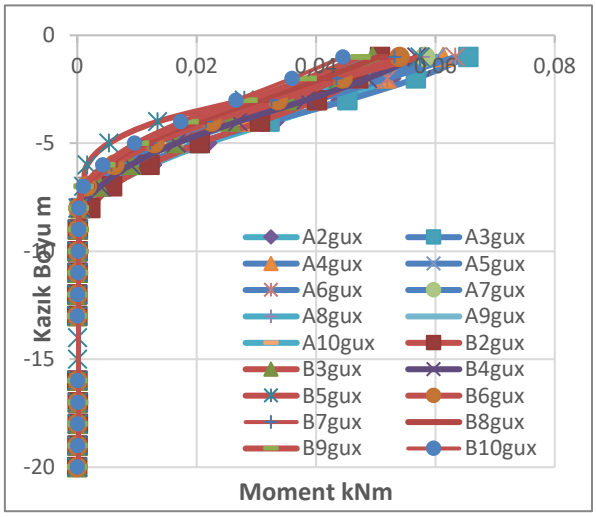
Aynı durum 20 m'lik kazık sistemleri içinde geçerli olup moment ve kesme kuvveti açısından kazık başı kuvvetlerinin bir kısmının radye sistemi tarafınca sönümlendiği görülmektedir. Grafikleri Şekil 8a' da tüm (kat sayıları için) modellerin sonuçları birlikte verilmiş, diğer modellerde Şekil 8 b' de değerce ayrışan 8, 9 ve 10 katlı durumlar detaylandırılmıştır.



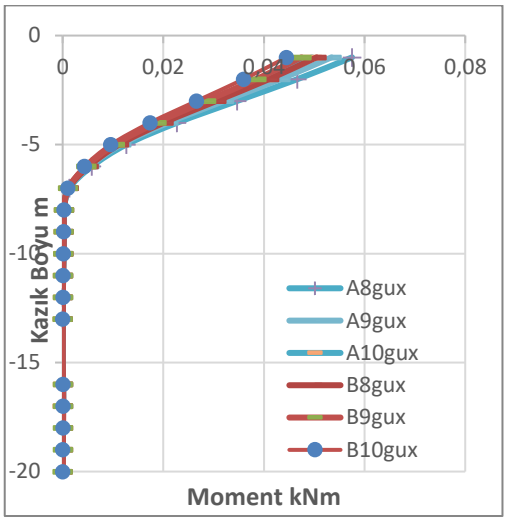
a.



b.



a.



b.

Şekil 8:
20m Kesme Kuvveti, Moment Grafikleri
a.Toplu grafikler, b.8,9 ve 10 kat grafikleri

Radye tarafından paylaşılan yük dağılımı sonucunda kazık başında eğilme momentinin 100 kNm azaldığı hesaplanmıştır. Bu eğilme momenti için gerekli kazık donatısı hesap yapılan tasarımlarda kazık ve radyenin birlikte çalıştığı kabulü kazık başına gerekli donatı miktarını azalttığı toplam kazık sayısı kazık donatı miktarının azaltılarak ekonomik çözüm noktasında kazanımlar elde edilebileceği görülmüştür. Aşağıda 100 kNm eğilme momenti için gerekli donatı miktarınının hesap algoritması sunulmuştur.

<u>100 kNm moment için</u>

$$k_{mx} = \frac{M_{dx}}{B_y\, d^2} \qquad (2)$$

ρ_{min} = 0.002 değeri kullanılarak;

A_{smin}= 0.002 $B\ d$ = 0.002 ∗ 600 *1400 =16800 mm^2

Seçilen donatı : 4φ20

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada kazıklı radye temellerin tasarımında kabul edilen zemine temaslı ve temassız durumlar için zemin sıkılığı, yapının katsayısı, kazık uzunluğu parametrelerinin yapının ve temelin performansına etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla oluşturulan modeller SAP2000 v16 programıyla analiz edilerek aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Radye temelin zemine temaslı olduğu durum ile temassız olduğu durum arasında kazık başı deplasman değerleri, eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri azalmaktadır. Çalışmada dikkate alınan örnek durumlar için azalma oranları her bir parametre için yaklaşık %10-20 aralığındadır. Deplasman değerlerindeki ve kesit tesirlerindeki azalma kazıkların donatı maliyetini olumlu yönde etkilemektedir. Çalışmadaki modellerde yapılan analizler sonucu elde edilen eğilme momentleri için kazık başına hesaplanan donatı metrajı her bir kazık için %10-15 oranında azalmıştır.

- Radye temelin zemine temaslı olduğu ve temassız olduğu her iki durum için de zemin sıkılığının artması kazık başı deplasmanını azaltmaktadır. Çalışmada dikkate alınan model parametreleri için azalma oranı yaklaşık %50 olduğu görülmektedir.

- Farklı iki duruma ait deplasman sonuçları incelendiğinden radye temelin zemine temas ettiği durumda kazığın yanal yer değiştirmesi -3 m kotunda sönümlenmiştir. Diğer durumda yanal yer değiştirme -8 m kotunda sönümlenmiş ayrıca tersinir deplasman durumu oluşmuştur. Radye temelin zemine temas etmediği duruma ait grafiklerdeki ters yönlü yer değiştirme eksenel yük altındaki kazığı burkulma açısından kritik sınıra taşıyabilir. Bu durum sismik yük altında farklı mekanizma ile birleştiğinde (sıvılaşma ve yumuşama gibi) daha kritik sonuçlar ortaya çıkabilir. Bu sebeple radye temel sisteminin zeminle teması kazıklarda yer değiştirmeye bağlı burkulma açısından önem arz etmektedir.

- Radye temelin zemine temaslı ve temassız olduğu durumlar yapı sisteminin mesnetlenme koşullarını değiştirmektedir. Yanal yük etkisi altındaki taşıyıcı sistemin yer değiştirme direnci düşey taşıyıcıların sahip olduğu atalet ve mesnet koşullarına bağlı olarak yapısal kapasiteyi belirlemektedir. Bir yapının düşey taşıyıcı sistemine bağlı yanal rijitliği yapı yüksekliği artıkça düşmekte ve mesnet kaynaklı (temel sistemi) rijitlik kazanımı ön plana çıkmaktadır. Bu durum yapılan analizlerde 9 ve üzeri katlar için temaslı ve temassız duruma ait elde edilen kapasite eğrilerindeki ayrışımı açıklamaktadır.

Sonuç olarak taşıyıcı sistemin tasarımında ve uygulamasında radyenin zemine temaslı olarak çözülmesi ve imal edilmesinin sadece düşey yükleme koşulları için değil ayrıca yapının yanal kapasitesi ve dinamik yükleme koşullarında ortaya çıkabilecek olumsuzluklara karşı güvenli ve ekonomik getirilerinin olduğu anlaşılmaktadır. Bu çalışmada statik olarak ele alınan analiz sonuçlarının dinamik yük altında da değerlendirilmesi literatüre ayrıca katkı sağlayacaktır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

YAZAR KATKISI

"Münire FINDIK çalışmanın kavramsal ve/veya tasarım süreçlerinin belirlenmesi, çalışmanın kavramsal ve/veya tasarım süreçlerinin yönetimi, veri toplama, veri analizi ve yorumlama, makale taslağının oluşturulması, son onay ve tam sorumluluk, İlyas Devran ÇELİK çalışmanın kavramsal ve/veya tasarım süreçlerinin belirlenmesi, çalışmanın kavramsal ve/veya tasarım süreçlerinin yönetimi, veri toplama, veri analizi ve yorumlama, makale taslağının Fikirsel İçeriğin Eleştirel İncelemesi, son onay ve tam sorumluluk, Soner UZUNDURUKAN çalışmanın kavramsal ve/veya tasarım süreçlerinin belirlenmesi, çalışmanın kavramsal ve/veya tasarım süreçlerinin yönetimi, veri toplama, veri analizi ve yorumlama, makale taslağının Fikirsel İçeriğin Eleştirel İncelemesi, son onay ve tam sorumluluk, Ercan Egemen BAŞAR, çalışmanın kavramsal ve/veya tasarım süreçlerinin belirlenmesi, çalışmanın kavramsal ve/veya tasarım süreçlerinin yönetimi, veri toplama, veri analizi ve yorumlama, makale taslağının oluşturulması, son onay ve tam sorumluluk, Adem BARLAS çalışmanın kavramsal ve/veya tasarım süreçlerinin yönetimi ve son onay ve tam sorumluluk" kategorilerinde katkı sağlamışlardır.

KAYNAKLAR

1. Altay G., Kayadelen C., (2017) Momente maruz kazıkların nümerik olarak incelenmesi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(4), 127-134. https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.383199

2. Aydınoğlu, M.N. (2011) Zayıf zeminlerde yapılan binalarda dinamik yapı – kazık – zemin etkileşimi için uygulamaya yönelik bir hesap yöntemi, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Ve Deprem Araştırma Enstitüsü Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı, Rapor 2011/1.

3. Bağrıaçık, B. (2015) Kohezyonsuz zeminlerde düşey yüklü kazıklı radye temellerin analizi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

4. CSI, SAP2000 V.20. Integrated Finite Element Analysisand Design of Structures Basic Analysis Reference Manual,Computers and Structures Inc., Berkeley, CA, USA.

5. Çetin K.Ö., Bilge T., Siyahi B. (2014) Yüksek katlı yapıların deprem- zemin-kazık-temel etkileşim analizi için kinematik sistem esneklik matrisinin geliştirilmesi bir vaka örneği, Teorik Ve Uygulamalar Yapı Zemin Etkileşimi Sempozyumu, 24-25 Nisan.

6. Deshpande, S.S. Ve Thakare, S.W. (2017) Performance of piled raft foundation subjected to non-uniform load, International Journal Of Civil Engineering And Technology, 8 (4), 1603-1613. ISSN Print: 0976-6308 and ISSN Online: 0976-6316

7. DLH, (2008) T.C. Ulaştırma Bakanlığı, Kıyı ve liman yapıları, demiryolları, hava meydanları inşaatlarına ilişkin deprem teknik yönetmeliği.

8. Fattah, M. Y., Yousif, M. A. ve Al-Tameemi, Sarmad, M.K. (2015) Effect of pile group geometry on bearing capacity of piled raft foundations, Structural engineering and Mechanics, 54, 5, 829-853. https://doi.org/10.12989/sem.2015.54.5.829.

9. Nguyen, D. D. C., Jo, S. B. And Kim, D. S. (2013) Design method of piled-raft foundations under vertical load considering interaction effects, Computers And Geotechnics, 47, 16-27. http://dx.doi.org/10.1016/j.compgeo.2012.06.007.

10. Nguyen, D. D. C., Nguyen,V., Abdoun, T., Kim, D. S. Ve Jo, B. S. (2017) Piled raft foundation design: a method to consider interaction effects, 19th International Conference On Soil.

11. Omeman, Z.M., 2012. Load Sharing Of Piled-Raft Foundations İn Sand Subjected To Vertical Loads, Doktora Tezi, Concordia University.

12. Özpolat, A. (2020) Killi zeminlerde kazıklı radye temellerin düşey yükler etkisi altında davranışının model deneyler ile incelenmesi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

13. Sawada, K. Ve Takemura, J. (2014) Centrifuge model tests on piled raft foundation in sand subjected to lateral and moment loads, Soil And Foundation, 54(2), 126-140. https://doi.org/10.1016/j.sandf.2014.02.005.

14. Vu, A., Pam, D. C., Nyugen T., He, Y. (2014) 3d Finite element analysison behaviour of piled raft foundations, 4th International Conference On Civil Engineering, Architecture And Building Materials, China, 580-583.

15. Watcharasawe, K., Kitiyodom, P. Ve Jongpradist, P. (2015) Numerical analyses of piled raft foundation in soft soil using 3d-fem, Geotechnical Engineering Journal Of The Seags & Agssea, 46, 1, Issn 0046-5828 .

16. Yazıcı, A. G. (2013) Kazıklar arası mesafenin kazıklı radye temel sisteminde etkisinin iki ve üç boyutlu analizi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 75.

17. Alver O., Özden G. (2015) Tabakalı zeminlerde kazıklı radye temellerin optimum tasarımı, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi , Sayı 49, Cilt 17, 13-26. ID. JA48DU46TZ

18. Sharafkhan, M. ve Shooshpasha, I. (2018) A laboratory study of the effect of piles asymmetric arrangement on the behavior of piled raft foundation in sand, International Journal of Geotechnical Engineering, February ,1-12. https://doi.org/10.1080/19386362.2018.1427658

19. Siyahi B., Çetin K.Ö., Bilge T. (2015) Geoteknik deprem mühendisliği açısından zemin temel yapı etkileşimine kritik bakış, Türkiye Mühendislik Haberleri, 484, 41-50.

20. TBDY. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Ankara: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı