

KAZIK GRUP DAVRANIŞININ 2D VE 3D OLARAK ARAŞTIRILMASI

Researching of Two and Three-Dimensional Analyses of Pile Group

Emre MAZAK^{1*}

ÖZET

Bu çalışmada; kazıklı temellerin kullanım yerleri, kazıkların sınıflandırılması, kazıklarda grup etkisi, kazıklarda oturma, sonlu elemanlar yöntemi ve sonlu farklar yöntemi konularından bahsedilmektedir. Düşey yüklemeye altındaki grup kazıkların davranışlarının çözümü için kullanılan yöntemler anlatılmaktadır. Kohazyonsuz bir zemin içerisinde kazıklı temel, sonlu farklar paket programı FLAC 2D ve FLAC 3D ile modellenmiş, aynı zemin içerisinde kazık net aralığına göre oluşturulan modellerin analiz sonuçları karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır. Genel eğilim olarak, üç boyutlu (3D) analizlerde oturma miktarı, kazıklar arası net mesafe, kazık çapının 3 katı değerine ulaştıktan sonra dramatik şekilde bir artış gösterirken, iki boyutlu (2D) analizlerde genel olarak sabit kalmaktadır.

ABSTRACT

In this study, using areas of pile foundations, classification of piles, the behavior of pile group, settlement of pile group, finite element method and finite difference method are explained. The methods which are used for solutions of the behavior of vertically loaded piles and piles groups are explained. Piled foundation with different clear pile spacing on a cohesionless soil were modelled by the FLAC 2D and FLAC 3D software packages based on finite difference method. The results of the models made based on different clear pile spacings were compared and interpreted. As a general trend in accordance with the results of analyses, the total amount of settlement increases dramatically after reach threefold clear pile diameter distance whereas twodimensional analyses are basically remain constant and there is not a significant change in the aforementioned quantities.

GİRİŞ

Kazıklı temeller, esas olarak yapı yüklerinin zeminin derin tabakalarına taşınması ve/veya zemin tabakalarına sürtünme yoluyla aktarılması amacıyla kullanılan bir temel çeşididir. Zemin yüzeyine yakın tabakaların yapı yüklerini, göçmeden veya aşırı oturmalara yol açmadan taşıyabilecek bir yüzeyel temel teşkiline müsait olmadığı durumlarda kazıklı temel gibi derin temel çeşitleri tercih edilir. Kazıklı temellerin projelendirilmesinde de göçmeye karşı yeterli güvenliğin bulunduğu; ayrıca servis yüklerinin meydana getireceği oturmaların kabul edilebilir bir sınırı aşmadığı gösterilmelidir.

Kazıkların yüklerini taşımalarına göre sınıflandırılması için kapsamlı bir çalışma yapılması gerekir. Yapı yükleri taşıma gücünün yetersizliği yanında çoğu kere, oturma şartlarının sağlanmadığından dolayı derin temel sistemi kullanılarak zemine aktarılmaktadır. Böylece yüzeydeki zayıf tabakalar geçilerek, derindeki taşıyıcı tabakalara ulaşılmakta ve bu anlamda kullanılan yapı elemanları, kazık olarak isimlendirilmektedir. Temel sistemi de adını, kullanılan yapı elemanından almakta ve kazıklı temel olarak bilinmektedir.

¹ Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Böl. Umutepe Yerleşkesi İZMİT-KOCELİ
E-mail : emremazak@gmail.com

*İlgili yazar / Corresponding author: emremazak@gmail.com

Gönderim Tarihi: 20.04.2017

Kabul Tarihi: 30.05.2017

Bu çalışmada öncelikle tekil kazıklar ve kazık gruplarında, kazık elemanlarının taşıma gücü ve oturma hesaplarından bahsedilmiş olup, kohezyonsuz zeminlerdeki durumları araştırılmıştır. Kohezyonsuz kabul edilebilecek bir zeminde bulunan kazıklı temel grubu ele alınmış olup, FLAC programı yardımıyla iki ve üç boyutlu analizler yapılarak kazık aralığının oturma üzerindeki etkisi incelenmiştir.

KAZIK TEMELLER

Kazık temeller; düşey doğrultudaki yükler ile rüzgar, deprem ve benzeri üst yapıya etkiyen yanıl yüklerin temel zeminin daha derin tabakalarına aktarılmasında kullanılan, çelik, beton veya ahşap malzemeden imal edilmiş olan yapı elemanlarıdır. Diğer bir tanım ile üst yapı yüklerinin bir bölümü ya da tümünü zemin yüzeyinden daha derinlerdeki sağlam tabakalara aktaran derin temel sistemleri olarak nitelendirilebilmektedir.

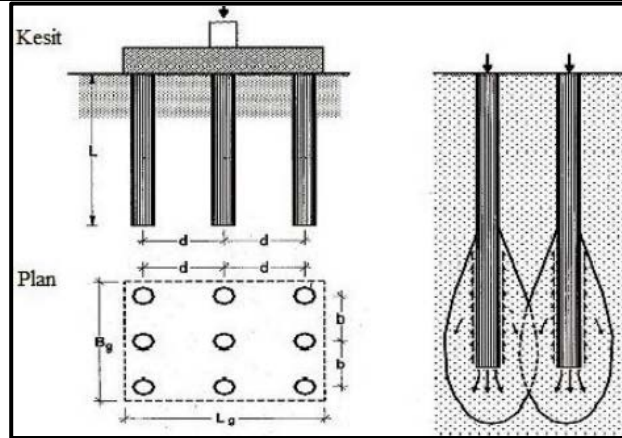
Kazıklı temellerin yapı güvenliği için gerekli oldukları bazı koşullar aşağıda sıralanmaktadır:

- Üstyapıların ağır yüklerini zayıf zemine taşıtabilmek amacıyla kullanılabilir.
- Yüksek sıkışma beklentisine sahip zeminlerde oturma sorunlarını sınırlandırmak amacıyla kullanılabilir.
- Kaldırma ve döndürme kuvvetlerine karşı kullanılabilir.
- Zemin hareketlerini kontrol amacıyla kullanılabilir.
- Temel zemininde gerçekleşecek şişme ve büzölmeye karşı kullanılabilir.
- Dayanma yapıları veya yüksek yapı temellerinde zemin; rüzgar ve deprem yükü gibi yanıl etkilerini karşılama amacıyla kullanılabilir.
- Su ile temas ettiğinde kabaran veya birden çökme gösteren zeminlerde yer alan üst yapı yüklerinin, aktif zon diye tanımlanacak bölgenin dışına aktarılması amacıyla kullanılabilir (Şen,2006).
- Kuleler, deniz platformları ve yeraltı suyu altındaki radyeler gibi su üstü yapılarında yapı yükünü zemine ulaştırmak amacıyla kullanılabilir.
- Köprü kenar ayaklarının ve orta ayaklarının erozyon nedeniyle temel altının oyulmasına karşı kazıklı temel kullanılabilir.
- Kohezyonsuz ya da kohezyonu düşük zeminlerin sıkı hale getirilerek iyileştirilmesi amacıyla kullanılabilir.

Kazıklarda Grup Etkisi

Yapısal yükü zemine aktarmak amacıyla temel altı kazıklar genellikle grup olarak tasarlanır ve kullanılır. Teori ve testler özellikle killi zeminlerde inşa edilen grup sürtünme kazıkların toplam taşıma gücünün, tek kazığın taşıma gücünün toplam kazık adedi ile çarpılmasından elde edilen değerden düşük olduğunu göstermektedir (Şekil 1). Taşıma gücündeki azalma kazık çapı, boyu ve aralığına bağılı olarak değişmektedir. Uç kazıkları için grup etkisinden ötürü taşıma gücü kaybı söz konusu olmamaktadır. Hem uç hem de sürtünme kazığı olarak çalışan kazıklarda ise taşıma gücü kaybı sadece sürtünme direncinde dikkate alınmaktadır. En ideal çözüm grup kazıklarda taşıma gücü kaybına neden olmayacak şekilde aralık belirlemektir. Uygulamada iki kazık arası minimum mesafe merkezden merkeze, granüler zeminlerde kazık çapının 2,0 katı, kohezyonlu zeminlerde ise 3,0 katı alınmaktadır (Tomlinson, 1977; Brown, 2006).

Diğer yandan grup kazıklarda, her bir kazık için çalışma yükünü azaltmak yerine kazık boyunu arttırarak kazık kapasitesini arttırmak ve azaltma faktörü uygulandığında istenilen kazık kapasitesine ulaşmak genellikle daha ekonomik bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır (Leonards, 1962; Das, 2004).

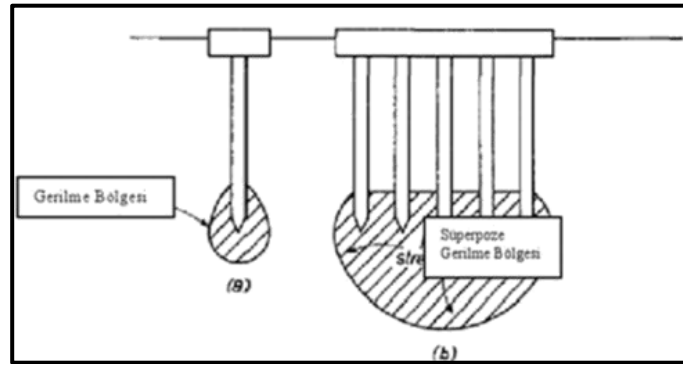


Şekil 1. Kazıklarda grup etkisi (Das, 2007)

Figure 1. Piles group effect (Das, 2007)

Kazık Gruplarının Oturması

Kazık gruplarında birincil oturmalar sonucunda ortaya çıkan oturma değerleri, grubu oluşturan tekil kazıkların oturma değerlerinden fazla olacaktır. Bunun sebebi ise; kazıkların zemine aktardıkları gerilmeleri, kazık gruplarına göre çok daha derin bir alana iletmeleridir (Şekil 2). Burada aktarılan gerilmelerden dolayı süperpozisyon olur ve kazık taşıma kapasitesinde tekil kazıklara göre azalmalar olurken, oturmalarda artışlar olmaktadır (Das, 1999).



Şekil 2. Kazık gruplarında oluşan gerilmelerin süperpozisyonu

Figure 2. Superposition of stresses in pile groups

FLAC

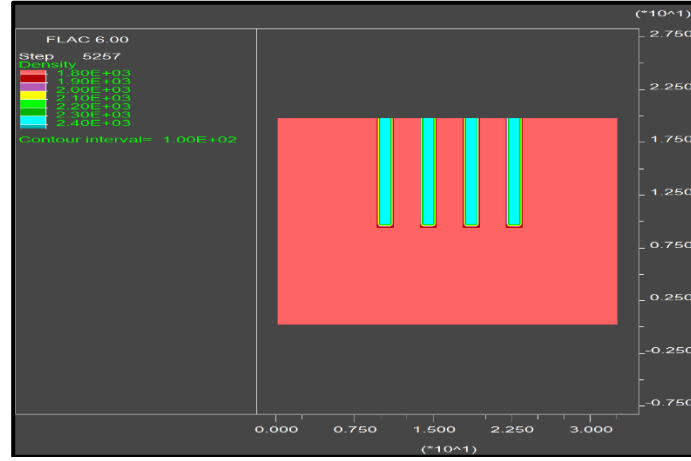
FLAC, mühendislik mekaniği problemlerin çözümünde kullanılan iki boyutlu sonlu farklar programıdır (<http://www.itascacg.com/software/flac>). Bu program, limitlerine ulaştıklarında plastik akmaya uğrayan toprak, kaya ya da başka malzemelerden oluşmuş yapıların davranışını simüle etmektedir. Malzemeler, modellenecek nesnenin şeklini belirleyecek şekilde bir ağ oluşturan elemanlardan ya da alanlardan oluşmaktadır. Her eleman uygulanan kuvvet ya da sınır şartlarına tepki olarak tanımlanmış lineer ve lineer olmayan gerilme-deformasyon kurallarına göre davranır. Malzemeler akabilir, ağ deforme olabilir ve akan malzeme ile hareket edebilir. Matrisler oluşturulup kullanılmadığı için, büyük iki boyutlu hesaplamalar yüksek hafızalara gereksinim duyulmadan gerçekleştirilebilmektedir. Kesin çözümlerinin, küçük zaman aralığı ve hangi sönümlenmenin kullanılacağı gibi dezavantajları, göçme modunu değiştirmeden otomatik

eylemsizlik ve otomatik sönümlenme kullanılarak çözülmeye çalışılmıştır. İlk başta geoteknik ve maden mühendisleri için geliştirilmiş olmasına rağmen, FLAC mekanikteki karışık problemleri de çözebilecek geniş olanaklar sunmaktadır. Programın içine gömülmüş temel modeller lineer olmayan, tersinemez davranışlarının modellenmesini mümkün kılmaktadır.

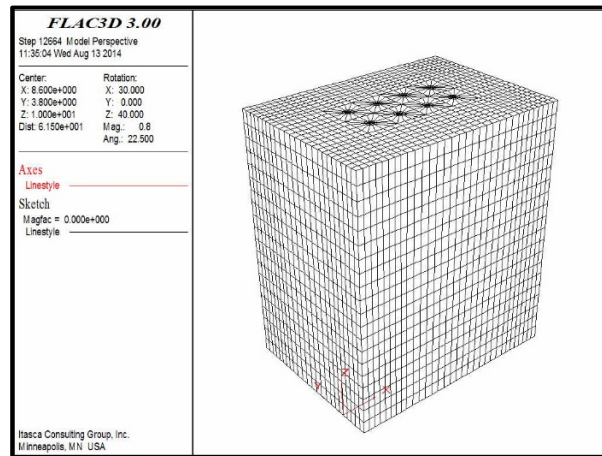
YAPILAN PARAMETRİK ÇALIŞMA: MODELLEME ve ANALİZLER

Çalışmamızda kazık ve zemin özellikleri tanımlandıktan sonra, önce iki boyutlu, daha sonra üç boyutlu olarak 4 ve 8 kazıktan oluşan sonlu farklar ağı oluşturulmuştur. Hesap aşamasında FLAC 2D ve FLAC 3D programları kullanılmış, temel sistemini oluşturan elemanların imalatı ve yüklerin etkinleştirilmesi gerçeğe uygun şekilde gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında kullanılacak model, kohezyonsuz bir zemine oturan yapıyı temsil edecek olup, düşey yük altında kazık oturma davranışına göre FLAC programı yardımıyla iki boyutlu (Şekil 3) ve üç boyutlu (Şekil 4) olarak araştırılmıştır.



Şekil 3. FLAC 2D Model – 8 kazık kesiti
Figure 3. FLAC 2D Model – 8 pile section



Şekil 4. FLAC 3D Model – 8 kazık kesiti
Figure 4. FLAC 3D Model – 8 pile section

Üstyapıdan gelen yükler yayılı yük olarak modellenmiş olup, 2 m x 4 m² lik bir alanda yapıya etkileyen yükün yaklaşık 1,5 katı mertebesinde bir gerilme (tabanda 500 kPa) etkidiği varsayılmıştır. Analiz edilecek sistemin sınır şartlarından etkilenmemesi için sonlu eleman ağının oluşturulacağı geometrinin x, y ve z eksenlerinde yeterince büyük bir alanda yer alması gerekmektedir. Bu bağlamda 3 boyutlu da 60m x 60m x 60m boyutlarında 2 boyutlu da ise x, y eksenlerinde 60m x 60m boyutunda oluşturulacak bir geometride sınır şartlarından etkilenme durumunun gerçekleşmeyeceği yapılan çalışmalar sonucu belirlenmiştir.

Modeldeki kazık aralığı değişimleri ve kazık boyu değişimlerinin parametreleri Çizelge 1’de verilmektedir. Aynı zamanda malzeme parametreleri belirlenmiş zeminde herhangi bir kazık uygulaması yapılmaksızın FLAC programı yardımıyla elde edilen değerler irdelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Çizelge 1. Analizlerde kullanılan kazık aralığı ve kazık boyu değişimlerinin parametreleri

Table 1. Parameters of pile spacing and pile length used in analyzes

Kazıklar arası net mesafe (m)	Kazık çapı, D (m)	Kazık boyu, L (m)
1,0	0,8	10
2,4	0,8	10
2,4	0,8	15
4,0	0,8	10

Malzeme Özellikleri

Kazıklı temellerin yük-oturma davranışını belirleyen önemli parametreler arasında kazık grup alanı, kazık aralığı ve kazık boyu gibi geometrik özellikler yer almaktadır. Birçok araştırmacı bu parametreler için optimum değerler önermektedir.

Sistem modellenmesinde kullanılan kazık malzeme parametreleri Çizelge 2’de verilmektedir.

Çizelge 2. Analizlerde kullanılan kazık parametreleri

Table 2. Parameters of pile used in analyzes

Kazık Parametreleri	Birim	Büyükük
Kazık çapı, D	m	0,8
Kazık boyu, L ₁	m	10
Kazık boyu, L ₂	m	15
Elastisite modülü, E _k	MPa	30000
Yayılı yük, P	kPa	500
Yoğunluk, d	gr/cm ³	2,4
Kayma modülü	kPa	6,20E+07

Sistem modellenmesinde kullanılan zeminin malzeme parametreleri Çizelge 3’te verilmektedir.

Çizelge 3. Analizlerde kullanılan zeminin malzeme parametreleri**Table 3.** Parameters of soil material used in analyzes

Zemin Parametreleri	Birim	Büyüklik
Kuru birim hacim ağırlığı, γ_d	gr/cm ³	1,80
Doygun birim hacim ağırlık, γ_{sat}	gr/cm ³	1,85
Elastisite modülü, E_z	MPa	18000
Yeraltı su seviyesi, YASS	m	0
İçsel sürtünme açısı, ϕ'	-	32
Kohezyon, c	kPa	5
Kayma modülü	kPa	1,80E+07

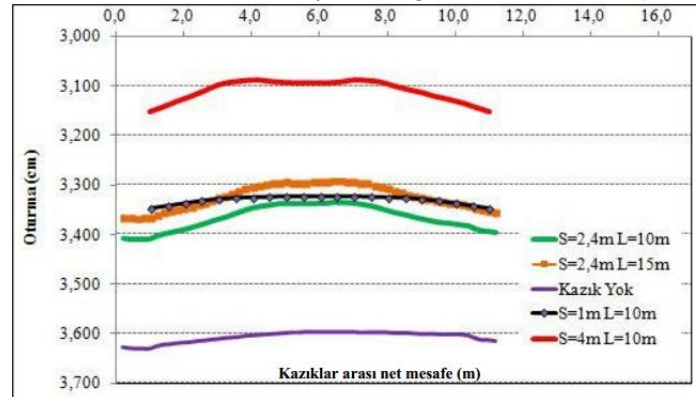
Temel sisteminin davranışını gerçeğe uygun olarak modellemek için, kazık-zemin etkileşiminin doğru olarak modellenmesi büyük bir önem taşımaktadır. Yer değiştiriminin küçük olduğu durumlarda, diğer bir ifadeyle elastik sınır içinde kalması halinde, kazığın zeminle birlikte hareket ettiği varsayımı gerçeğe uygun sonuçların elde edilmesi için yeterli bir yaklaşım olurken, yer değiştiriminin büyük olduğu durumlarda kazığın zemine göre rölatif yer değiştirmesini inceleyebilmek için daha gelişmiş modellere ihtiyaç duyulmaktadır (Engin, 2007).

Düşey Yükleme Altındaki Grup Kazıkların Analizi

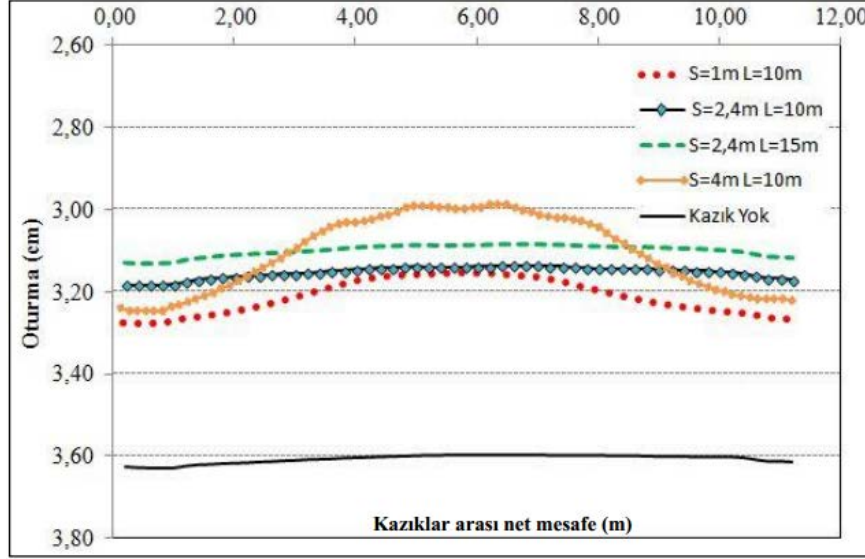
İki boyutlu (2D) analizler

Kazıklı temellerin, FLAC-2D programında oluşturulan sistem modellemesinde, 4 kazık ve 8 kazık uygulamaları ele alınarak malzeme özellikleri ve yükleme şekilleri tanımlandıktan sonra çözümlenmeleri yapılmıştır. Elde edilen verilerin sistemde oluşan toplam oturma sonuçları incelenmiştir.

4 kazık uygulaması için, 2şerli olarak 2 sıra şeklinde yerleştirilen kazıkların aks aralıklarına göre FLAC-2D programında çözümlenen modellerde, en büyük düşey deplasman (oturma) miktarı $s=2,4$ m kazık net aralığı ve $L=10$ m kazık uzunluğu çözümüne bağlı olmak üzere 3,34 cm düzeyinde bulunmuştur. En düşük düşey deplasman $s=4$ m kazık net aralığı ve $L=10$ m kazık uzunluğu ile hazırlanan modelde 3,09 cm seviyesinde gerçekleşmektedir (Şekil 5).

**Şekil 5.** FLAC 2D – 4 kazık uygulamalarının karşılaştırılması**Figure 5.** FLAC 2D – Comparison of 4 pile applications

8 kazık uygulaması için, 4şerli olarak 2 sıra şeklinde yerleştirilen kazıkların aks aralıklarına göre FLAC-2D programında çözümlenen modellerde, en büyük düşey deplasman (oturma) miktarı $s=1\text{m}$ kazık net aralığı ve $L=10\text{m}$ kazık uzunluğu çözümüne bağlı olmak üzere $3,17\text{ cm}$ düzeyinde bulunmuştur. En düşük düşey deplasman $s=4\text{m}$ kazık net aralığı ve $44 L=10\text{m}$ kazık uzunluğu ile hazırlanan modelde $3,04\text{ cm}$ seviyesinde gerçekleşmektedir (Şekil 6).



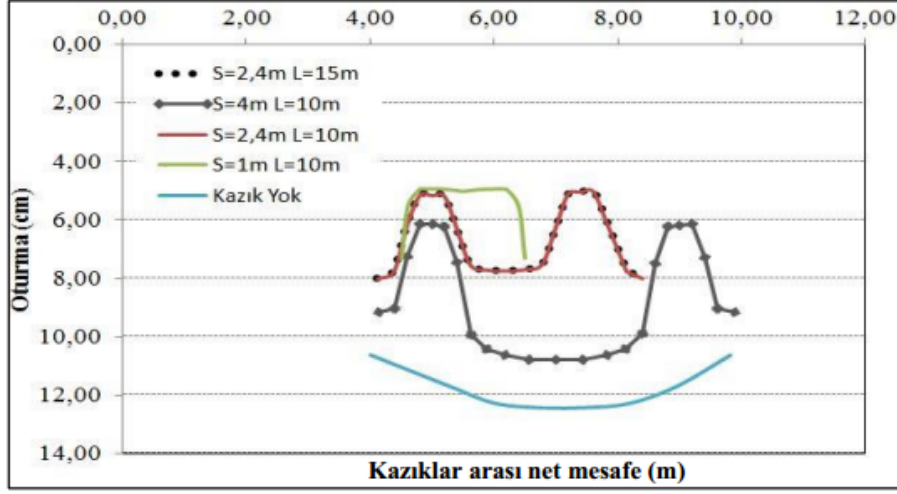
Şekil 6. FLAC 2D – 8 kazık uygulamalarının karşılaştırılması

Figure 6. FLAC 2D – Comparison of 8 pile applications

Üç boyutlu (3D) analizler

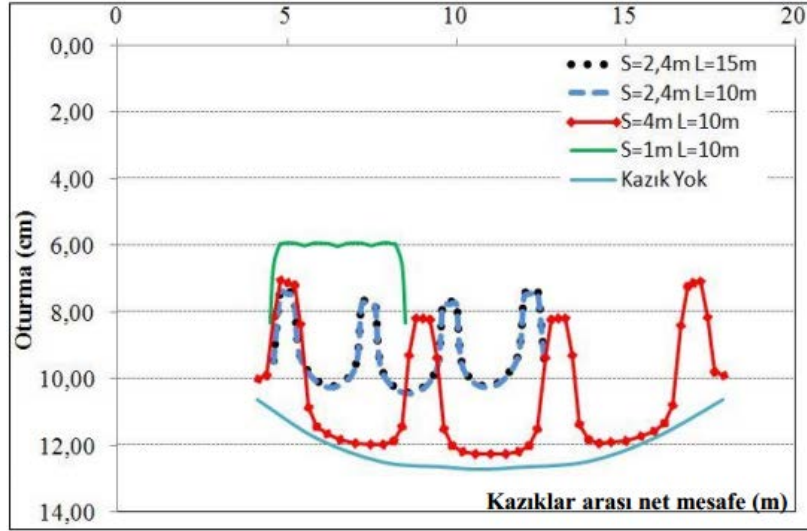
Kazıklı temellerin, FLAC-3D programında oluşturulan sistem modellemesinde, malzeme özellikleri ve yükleme şekilleri tanımlandıktan sonra çözümlenmeleri yapılmıştır. Elde edilen verilerin sistemde oluşan toplam oturma sonuçları incelenmiştir.

4 kazık uygulaması için, 2şerli olarak 2 sıra şeklinde yerleştirilen kazıkların aks aralıklarına göre FLAC-3D programında çözümlenen modellerde, en büyük düşey deplasman (oturma) miktarı $s=4\text{m}$ kazık net aralığı ve $L=10\text{m}$ kazık uzunluğu çözümüne bağlı olmak üzere $6,17\text{cm}$ düzeyinde bulunmuştur. En düşük düşey deplasman $s=1\text{m}$ kazık net aralığı ve $L=10\text{m}$ kazık uzunluğu ile hazırlanan modelde $4,93\text{cm}$ seviyesinde gerçekleşmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. FLAC 3D – 4 kazık uygulamalarının karşılaştırılması
Figure 7. FLAC 3D – Comparison of 4 pile applications

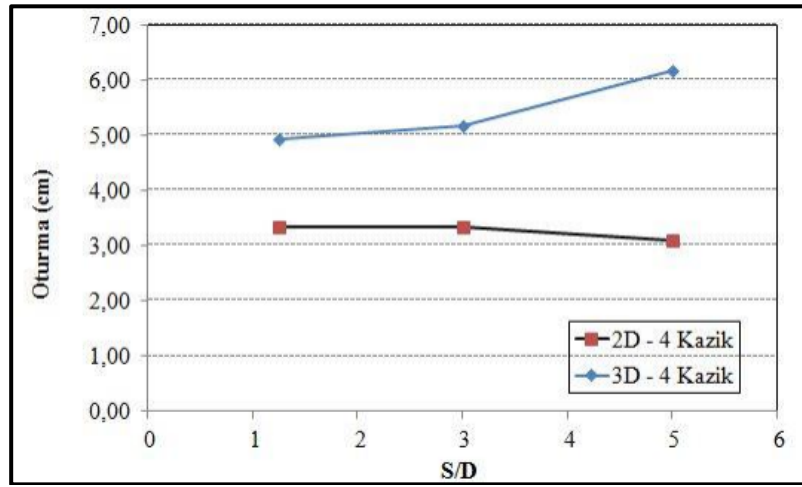
8 kazık uygulaması için, 4erli olarak 2 sıra şeklinde yerleştirilen kazıkların aks aralıklarına göre FLAC-3D programında çözümlenen modellerde, en büyük düşey deplasman (oturma) miktarı $s=4m$ kazık net aralığı ve $L=10m$ kazık uzunluğu çözümüne bağlı olmak üzere $8,20cm$ düzeyinde bulunmuştur. En düşük düşey deplasman $s=1m$ kazık net aralığı ve $L=10m$ kazık uzunluğu ile hazırlanan modelde $5,93cm$ seviyesinde gerçekleşmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. FLAC 3D – 8 kazık uygulamalarının karşılaştırılması
Figure 8. FLAC 3D – Comparison of 8 pile applications

İki (2D) ve üç boyutlu (3D) analizlerin karşılaştırılması

Kazıkların aks aralıklarına bağlı olarak kumlu bir zeminde inşa edilen kazık sisteminde kazıklar arası mesafenin etkisinin iki boyutlu (2D) ve üç boyutlu (3D) analizlerinin karşılaştırılması ele alınmıştır. 4 kazık uygulaması için, kazıklar arası aks mesafesine bağlı olarak oturma değerlerin değişimi Şekil 9'da verilmiştir.

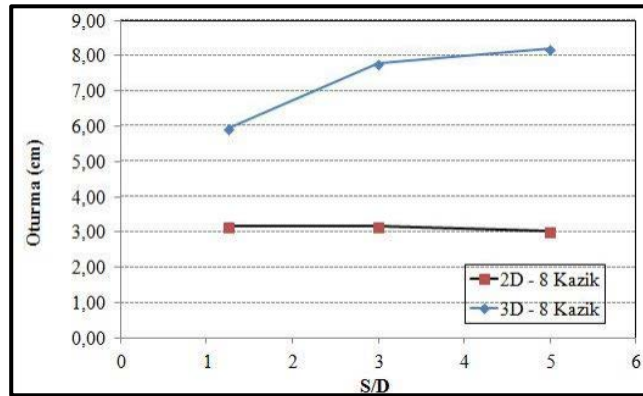


Şekil 9. FLAC 2D ve FLAC 3D – 4 kazık için aks mesafesine bağlı oturma grafiklerinin karşılaştırılması

Figure 9. FLAC 2D ve FLAC 3D – Comparison of settlement charts based on axle distances for 4 pile application

4 kazık uygulaması için, kazıklar aks mesafesine bağlı düşey deplasman analizlerinde, 3D analize bağlı oluşan değerler 2D analize göre ortalama daha yüksek mertebelerde gerçekleşmiştir. 2D analizde kazık net aralığı (s), 3D aks mesafesinden sonra düşey deplasman değerinde belirgin bir değişim meydana gelmediği, 3D analizde ise $s=3D$ aks mesafesinden sonra, kazıklar arası mesafe arttıkça düşey deplasman değeri dramatik bir şekilde arttığı görülmektedir (Şekil 9).

8 kazık uygulaması için, kazıklar arası aks mesafesine bağlı olarak oturma değerlerin değişimi Şekil 10'da verilmiştir.

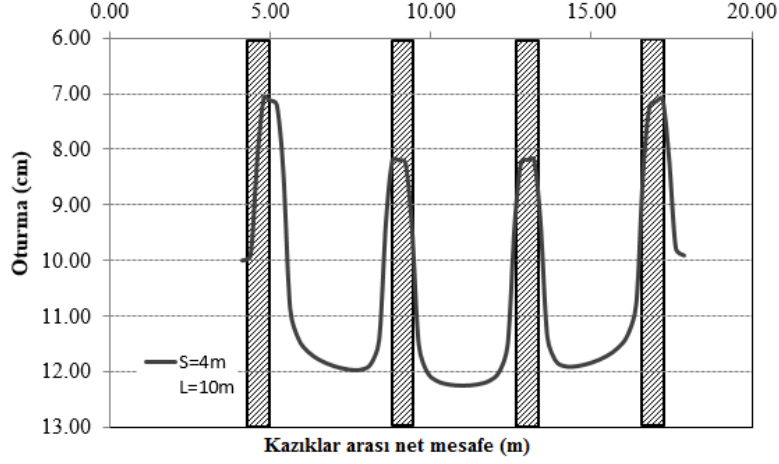


Şekil 10. FLAC 2D & FLAC 3D – 8 kazık için aks mesafesine bağlı oturma grafiklerinin karşılaştırılması

Figure 10. FLAC 2D ve FLAC 3D – Comparison of settlement charts based on distances for 8 pile application
8 kazık uygulaması için, kazıklar aks mesafesine bağlı düşey deplasman analizlerinde, 3D analize bağlı oluşan değerler 2D analize göre ortalama daha yüksek mertebelerde gerçekleşmiştir. 2D analizlerde kazık net aralığı (s), 3D aks mesafesinden sonra düşey deplasman değerinde belirgin bir değişim meydana gelmediği, 3D analizde ise $s=3D$ aks mesafesine kadar düşey deplasman hızlı bir artış göstermekte, $s=3D$ aks mesafesinden sonra ise ufak artışlar meydana geldiği görülmektedir (Şekil 10).

Köşe kazıkların değerlendirilmesi

Modellemeden elde edilen sonuçlar neticesinde, düzgün yayılı yük altındaki kumlu zeminlerde köşe kazıklar en fazla yükü alırken, merkeze doğru gidildikçe alınan yük miktarı azaldığı görüldü. Elde edilen grafik Şekil 11’de ve program veri tablosu değerleri Çizelge 4’te örnek teşkil etmesi amacıyla verilmiştir.



Şekil 11. FLAC 3D – 8 kazık için S:4m L:10m oturma grafiği

Figure 11. FLAC 3D – Settlement charts based on S:4m L:10m for 8 pile application

Çizelge 4. FLAC 3D – 8 kazık için S:4m L:10m program veri tablosu

Table 4. Program data chart based on S:4m L:10m for 8 pile application

8 Kazık FLAC 3D S= 4m L= 10m					
Yatay Aralık (m)	Oturma (cm)	Yatay Aralık (m)	Oturma (cm)	Yatay Aralık (m)	Oturma (cm)
4,13	10,00	8,80	8,20	13,40	9,27
4,39	9,00	9,00	8,20	13,62	11,36
4,60	8,14	9,20	8,24	13,87	11,79
4,80	7,08	9,40	9,37	14,18	11,89
5,00	7,13	9,62	11,50	14,55	11,89
5,20	7,20	9,87	11,99	15,00	11,83
5,40	8,37	10,18	12,15	15,45	11,71
5,62	10,85	10,55	12,22	15,82	11,56
5,87	11,40	11,00	12,24	16,13	11,32
6,18	11,64	11,45	12,22	16,39	10,76
6,55	11,79	11,82	12,15	16,60	8,39
7,00	11,89	12,13	11,99	16,80	7,22
7,45	11,95	12,39	11,50	17,00	7,15
7,82	11,95	12,60	9,36	17,20	7,10
8,13	11,85	12,80	8,23	17,40	8,14
8,39	11,43	13,00	8,19	17,62	9,78
8,60	9,28	13,20	8,19	17,87	9,91

SONUÇLAR

Kohezyonsuz bir zemin içerisinde kazıklı temeller, sonlu farklar paket programı FLAC 2D ve FLAC 3D ile modellenmiş, aynı zemin içerisinde kazık net aralığına göre oluşturulan modellerin analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

Analizlerde kum zemin üzerinde, 800 mm çapında, 10m ve 15m uzunluğunda 8'li kazıklar kullanıldı. Kazık net aralıkları (s); 1m, 2.4m ve 4m değerleri baz alınarak analizler yapıldı.

Analizlerde farklı kazık aralıkları baz alınarak, kazık gruplarında oluşan deplasmanlar ve her bir kazığın yapmış olduğu düşey deplasmanlar analiz edildi.

Bu çalışmada; kazıklar arası mesafenin kumlu zeminlerde inşa edilen kazıklı temel sistemindeki etkisi incelenmiştir. Mühendislik mekaniği problemlerin çözümünde kullanılan FLAC sonlu farklar programı yardımıyla, iki (2D) ve üç boyutlu (3D) modellerde analizler yapılarak şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Kazıkların yük-oturma davranışı ve kazıklar arası yük dağılımları farklılıklar göstermektedir. Düzgün yayılı yük altında kumlu zeminlerde köşe kazıklar en fazla yükü alırken, merkeze doğru gidildikçe alınan yük miktarı azalmaktadır.
- Kazık modellemesi için üç boyutlu sonlu farklar yazılımı, parametrelerin tanımlanması, ölçülendirme, ve hesap aşamasında yapısal elemanların alan etkisinin incelenmesi açısından daha gerçekçi ve uygundur.
- Üç boyutlu (3D) analizlerde oturma miktarı, kazıklar arası net mesafe, kazık çapının 3 katı değerine ulaşıldıktan sonra dramatik şekilde bir artış gösterirken, iki boyutlu (2D) analizlerde genel olarak sabit kalmaktadır.
- Düşey deplasman değerlerinde, üç boyutlu (3D) analizlerin sonuçları, iki boyutlu (2D) analiz sonuçlarına göre daha yüksek değerler vermiştir.

İki boyutlu analizde kullanılan radye, kazık, zemin, yapısal elemanlar ve yükler birim genişlik için tanımlanırken, üç boyutluda kazık çapı, radye uzunluğu gibi üçüncü boyutlar ölçülendirilerek daha gerçekçi bir tanımlama ve hesaplama oluşturulmuştur. Dolayısıyla üç boyutlu analizler (3D), iki boyutlu (2D) analizlere göre daha gerçekçi sonuçlar verdiği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

BROWN K. W., Design and Construction with the 2006 International Building Code, Foundation Engineering Handbook, 2nd ed., McGraw-Hill Book Co., California, 2006.

DAS M. B., Principles of Foundation Engineering, 4th ed., Pws – Kent Pub., California, 1999.

DAS M. B., Principles of foundation engineering, 7th Edition, Brooks/Cole, California, 2007.

LEONARDS G. A., Foundation Engineering, 2nd ed., McGraw-Hill Book Co., New York, 1962.

TOMLINSON M. J., Pile Design and Construction Practice, 1st ed., Viewpoint Publ., London, 1977.

ENGİN, H. K., Çekme Kazıklarının Gömülü Kazık Elemanlarıyla Modellenmesi, 2. Geoteknik Sempozyumu Bildiriler El Kitabı, Adana, 2007.

ŞEN S., Kohezyonsuz Zeminde Ve Kayaya Soketli Perde Kazıkların Taşıma Gücü Üzerine Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, Mayıs 2006.

<http://www.itascacg.com/software/flac>