

Basitleştirilmiş kazıklı radye hesabı

Sebahat GÖK*, Ergün TOĞROL

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Geoteknik Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Birçok projede, taşıma gücü problemi sebebiyle değil oturma miktarları kabul edilebilir sınır değerleri aştığı için radye temelin altında oturmayı azaltıcı kazıklar kullanmak ekonomik bir gereklilik haline gelmiştir. Bu sistemlerin sık kullanılır olması, zamanla oturmayı azaltıcı kazıklar tanımlamasının "kazıklı radye temel" gibi daha geniş bir tanımlamaya dönüşmesine neden olmuştur. Klasik yöntemlerde, kazıklı temel hesabı, yapı yükünün tamamının kazıklar tarafından taşındığı kabulüne göre yapılmaktadır; fakat radyenin zemine temas ettiği durumda, yapı yükü radye ve kazık grubu arasında paylaşılarak zemine aktarılır. Kazıklı radye temel, radye (veya kazık başlığı) ve kazıklardan oluşan iki sistemin birleştirilmesi ile oluşmaktadır. Bu çalışmada önerilen hesap yönteminde, yapı yükünün, radye ve kazıklar tarafından paylaşılarak taşınacağı kabul edilmekte, farklı paylaşım oranlarına göre radyenin ve kazık grubunun oturmaları ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Kazık grubunun oturma hesabında eşdeğer radye yönteminden yararlanılmaktadır. Kazık boyu, eşdeğer radye seviyesindeki gerilmenin jeolojik yükün % 20'sinden küçük veya eşit olması şartına bağlı elde edilmektedir. Çeşitli $Q_{kazık}/Q_{toplam}$ oranları için elde edilen oturma miktarları karşılaştırılarak, radye ve kazık grubunun oturmalarının eşit olduğu paylaşım oranı belirlenmektedir. Elde edilen sonuç, bir yandan oturma miktarını vermekte, öte yandan kazık boyunun belirlenmesini sağlamaktadır. Önerilen hesap yöntemi 2 farklı örnekte uygulanmış ve Plaxis 3D Foundation yazılımı ile de sonlu eleman çözümleri yapılmıştır. Basitleştirilmiş kazıklı radye hesabının, oturma analizi için uygun sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kazıklı radye temel, basit hesap yöntemi, eşdeğer radye yöntemi.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Sebahat GÖK, sgok@ins.itu.edu.tr; Tel: (212) 285 68 67.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Geoteknik Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Kazıklı radye temellerin analizi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 18.09.2007 tarihinde dergiye ulaşmış, 15.11.2007 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.01.2010 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

A simplified solution to piled raft problem

Extended abstract

In many cases it has become an economic necessity to install piles beneath a raft not because a lack of bearing capacity of the foundation but because the settlement of the raft is excessive. Such usage of piles was first termed by Broms (1976) as “settlement reducing piles”.

Wide use of pile foundations all over the world has made piling an important branch of geotechnical engineering. Gradually, the concept and usage which was coined as “settlement reducing piles” transformed into a much wider definition of “piled rafts” where “load sharing” between piles and raft has become as important as limiting settlements. Several methods of analysis of piled raft foundations have also been introduced by several authors, but it appears that predicting foundation behaviour is still an area worth to study.

It should be pointed out that the behaviour of piled raft foundations differs significantly from that of a single pile and from that of group of piles. The ultimate shaft friction developed by piles within a piled raft can be significantly greater than that for a single pile or a pile in a group of piles.

When piles are driven into sand, the soil adjacent to piles is compacted to a distance of a 3 to 6 pile diameters. The ultimate bearing capacity increases by the compaction of the soil between the piles in sand and gravel. The ultimate shaft load of a group of piles driven in sand or stiff clay may be larger than the sum of individual piles carrying the same load per pile (Vesic, 1981). Such findings have led to the introduction of ‘equivalent raft method’ for pile groups. In this method the load of a group of friction piles is usually assumed to be acting on the soil at an effective depth (equivalent raft) of two-thirds of the pile embedment in the bearing stratum, while for a group of end bearing piles the equivalent raft is taken at the elevation of the pile points.

Various methods of analysis of piled raft foundations exist where the piles are considered primarily as friction piles, rather than end bearing piles. As with any foundation system, a design of a piled raft foundation required the consideration of a number of issues, including:

- ultimate load capacity for vertical, lateral and moments loadings,
- value of the maximum settlement,
- value of the maximum differential settlement,
- raft moments and shears for the structural design of the raft,
- pile loads and moments for the structural design of the piles (Poulos, 2001).

The first step in the analysis is to determine the dimensions of the piled raft system to satisfy structural requirements.

The deformation properties of the soil beneath the pile group in homogeneous sand deposit not underlain by more compressible soil at greater depth can be made directly from the results of soil tests.

In the proposed method, settlements of the raft and the pile group are separately calculated, employing the classical formula. The first consideration in calculating the magnitude of settlements is the distribution of effective vertical pressure beneath the equivalent raft. In case of deep compressible soils the lowest level considered in the settlement analysis is the point where the vertical stress is not more than 20 per cent of the overburden. The length of piles is then determined by considering that the stress at the equivalent raft level is equal or smaller than 20 per cent of the effective overburden stress.

In the proposed method, it is assumed that the structural loads will be carried by piles and the raft in a shared basis. Settlements of piles and raft are calculated for various load sharing ratios, separately. Firstly it is considered that load is carried by the raft only ($Q_{piles}/Q_{total}=0$). Then it is considered that the load is carried by the pile group only ($Q_{piles}/Q_{total}=1$). Calculation is continued for various load sharing ratios. And a diagram showing the load sharing between piles and raft is drawn and the ratio which represents the same amount of settlement both for the raft and pile group is determined..

To illustrate the method by the approach outlined above, two examples are given. The examples are also calculated by a computer analysis and the results are compared with those obtained by the proposed method.

Keywords: *Piled raft foundation, simple design method, equivalent raft method.*

Giriş

Yapı temellerinin tasarımında, temel zemininin taşıma gücünün yeterli olmasının yanında meydana gelecek oturmaların kabul edilebilir sınırlar içinde kalması şartı da aranır. Taşıma gücünün yeterli olması ancak oturmaların kabul edilebilir değerleri aşması halinde, yüzeysel temelin altında “oturmayı azaltıcı eleman” olarak kazıklar kullanılmıştır (Broms, 1976). Kazıklı radye olarak adlandırılan temel sistemleri böyle bir gereksinimden doğmuştur.

Klasik yöntemlerde kazıklı temel hesabı, yapı yükünün tamamen kazıklar tarafından taşındığı kabulüne göre yapılmaktadır. Fakat radyenin zemine temas ettiği durumda, yapı yükü radye ve kazık grubu arasında paylaşarak zemine aktarılır. Temel sisteminin tasarımında bu nokta dikkate alındığı takdirde, daha ekonomik bir çözüm elde etmek olasıdır. Kazıklı radyenin bir elemanı olarak kazıkların yük-oturma davranışı tekil kazığın davranışından farklı olmaktadır (Katzenbach ve Moorman, 2001).

Kazıklı radye hesabında kullanılmakta olan yöntemler 3 grupta toplanabilir (Poulos, 2001):

1. Basitleştirilmiş hesap yöntemleri,
2. Yaklaşık sayısal analiz yöntemleri,
3. İleri sayısal analiz yöntemleri.

Kazıklı radye probleminin çözümünde elastik hesap yöntemlerinden yararlanıldığında, çok sayıda değişken ve çözülmesi gereken çok sayıda ifade ortaya çıkmaktadır. Bu ifadelerdeki parametrelerin arazideki değerleri belli olmadıkça yapılan hesapların fazla bir yararı olmamaktadır. Bu yüzden karmaşık hesap yöntemleri yerine, zemin parametrelerinin değişiminin izlenebildiği ve bu parametrelerin arazide sağlıklı bir şekilde belirlenebilen değerlerine bağlı, daha sade yöntemlere gereksinim vardır.

Horikoshi (1995)'e göre, üniform yüklü kazıklı radyede oluşacak farklı oturmaları azaltmak için tasarımda dikkat edilecek noktalar şunlardır:

1. Kazıklar radyenin orta kısmında yer almalı ve kazık grup alanı radye alanının % 16-25'ini kaplamalıdır,

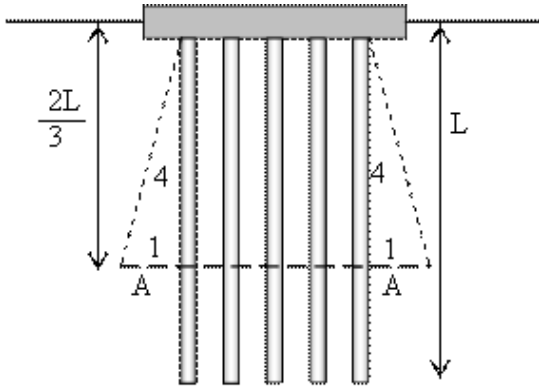
2. Kazık grubunun (eşdeğer ayak) rijitliği, radyenin rijitliğine eşit olmalıdır,
3. Zeminin Poisson oranı ve kazık grup alanı oranına bağlı olarak toplam kazık kapasitesi, tasarım yükünün % 40-70'i arasında olmalıdır.

Basit hesap yöntemi

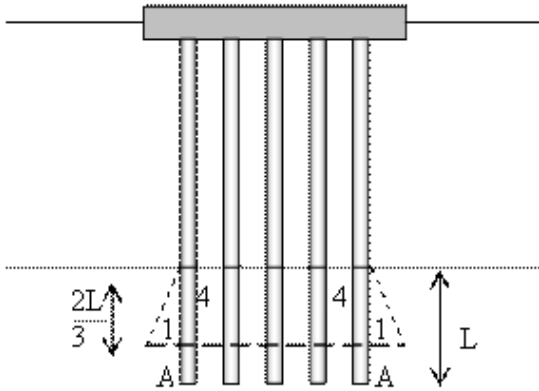
Kazıklı radye temel, radye (veya kazık başlığı) ve kazıklardan oluşan iki sistemin birleştirilmesi ile oluşmaktadır. Bu çalışmada önerilen hesap yönteminde, yapı yükünün radye ve kazıklar tarafından paylaşarak taşınacağı kabul edilerek yük paylaşım oranına göre radyenin ve kazık grubunun oturmaları hesaplanmaktadır. Önce, radye kendi başına ($Q_{kazık}/Q_{toplam}=0$) ele alınır ve temas ettiği zeminin özelliklerine bağlı olarak ne kadar oturacağı hesaplanır. Sonra, radyenin zemine temas etmediği, yükün tamamen kazıklar tarafından taşındığı kabul edilerek ($Q_{kazık}/Q_{toplam}=1$), kazık grubunun ne kadar oturacağı hesaplanır. Hesaba yükün farklı oranlarda radye ve kazık grubu tarafından taşınması hallerinde, radyenin ve kazık grubunun oturması ayrı ayrı hesaplanarak devam edilir. Çeşitli $Q_{kazık}/Q_{toplam}$ oranları için elde edilen oturmalar karşılaştırılarak, radye ve kazık grubunun oturmalarının eşit olduğu paylaşım oranı belirlenir. Bu durumda her iki sistem birlikte çalışacaktır. Elde edilen sonuç, bir yandan oturma miktarını vermekte, öte yandan kazık boyunun belirlenmesini sağlamaktadır.

Oturmaların hesabı

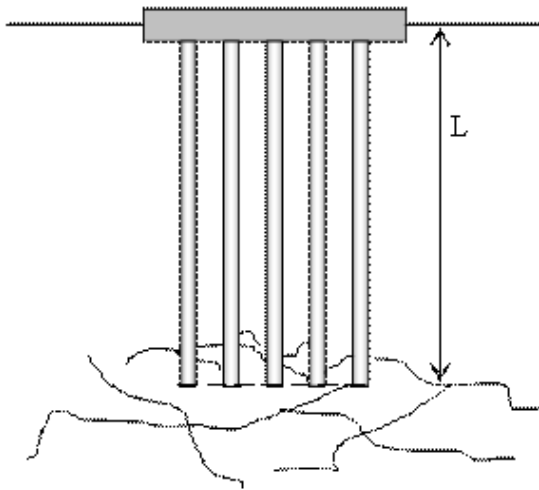
Kazık grubunun oturma hesabında, belirli bir derinlikte olduğu varsayılan eşdeğer radye'den zemine aktarılan gerilme dikkate alınmaktadır (Meyerhof, 1976; Tomlinson, 2001) (Şekil 1.). Kum veya katı kil içindeki kazık grubunun son çevre sürtünmesi, kazıkların teker teker çevre sürtünmelerinin toplamından daha büyüktür (Vesic, 1981). Öte yandan, kum ve çakıllar içindeki kazık gruplarında, kazıklar arasında kalan zeminin sıkışması sonucu, son taşıma gücü değeri artmaktadır. Bu sonuçlar, kazık grubunun bir 'blok' olarak göze alınması ve hesaplanması gerekliliğini doğurmuş, böylece eşdeğer radye kavramı ortaya çıkmıştır (Meyerhof, 1976).



a) Sürtünme kazıkları



b) Yumuşak kilden sıkı ayrık daneli zemine giren kazıklar

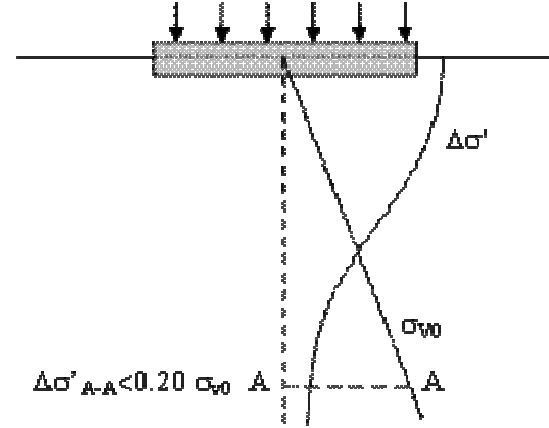


c) Uç kazıkları

Şekil 1. Eşdeğer radye yöntemi (Tomlinson, 2001)

Oturma hesabında dikkate alınacak derinlik, ilave gerilmenin düşey jeolojik gerilmenin % 20'sinden küçük kaldığı seviyedir (Şekil 2) (Tomlinson, 2001). Önerilen hesap yönteminde,

eşdeğer radyenin derinliğini belirlerken, bu şartın ($\Delta\sigma'_{A-A} \leq 0.20\sigma_{v0}$) sağlanmasına dikkat edilir. Böylece bu seviyeden daha derinde olan zemin, eşdeğer radyeden aktarılan gerilmelerden etkilenecektir.



Şekil 2. Zeminde jeolojik yük ve gerilme artışı dağılımı (Tomlinson, 2001)

Kazık grubunun oturmasının hesaplanmasında, Tomlinson (2001) tarafından sürtünme kazıkları için önerilen gerilme yayılımı kullanılmıştır. Bu yöntemde, kazık grubunun taşıdığı yükün, kazık boyunun 2/3'ü derinliğine kadar 4 düşey/1 yatay eğimle yayıldığı kabul edilmekte ve bu seviyede oluşacak gerilme yayılımı (eşdeğer radye) dikkate alınarak kazık grubunun oturması hesaplanmaktadır (Şekil 1a). Bununla birlikte, önerilen yöntem, kazık grubunun yumuşak kil tabakasından geçerek ayrık daneli tabakaya girmesi (Şekil 1b) veya uç kazığı özelliği taşıması (Şekil 1c) durumlarında da kullanılabilir.

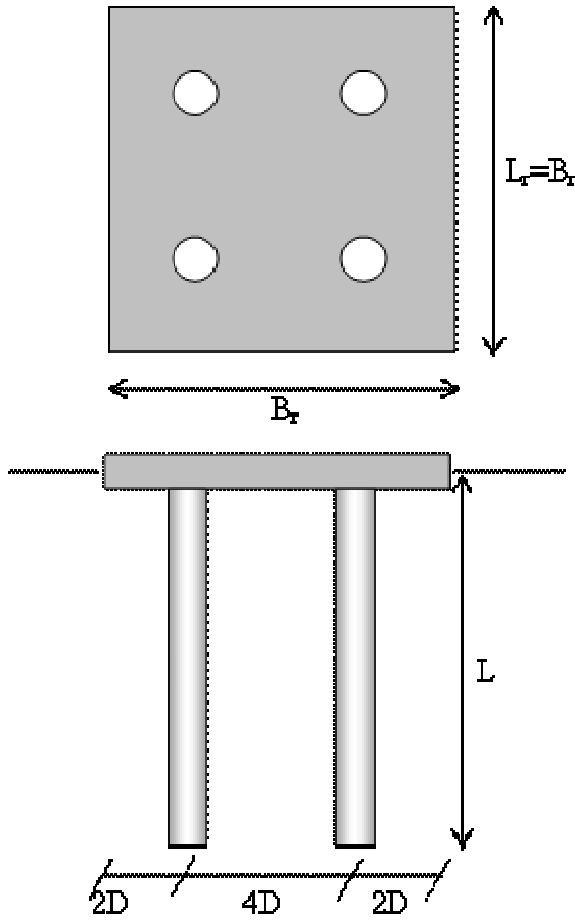
Radye ve eşdeğer radyeye (kazık grubuna) etkiyen gerilmeler belirlendikten sonra her iki sistemin oturmaları:

$$S = \frac{qB(1 - \nu_{zemin}^2)}{E_{zemin}} I \quad (1)$$

formülü ile hesaplanır. Burada S: Oturma, q: Yapıdan gelen düşey gerilme, B: Radye kısa kenar uzunluğu, ν_{zemin} : Zeminin Poisson's oranı, I: Katsayı (rijit kare temel için 0.82, esnek kare temel için ortalama 0.95 (Saran, 1996)), E_{zemin} : Zeminin elastisite modülüdür.

Örnek çözümler

Önerilen hesap yöntemi iki farklı probleme uygulanmıştır. Her iki örnekte zemin özellikleri, kazık sayısı ve yerleşimi aynıdır. Kumda teşkil edilen kazıklı radye temel, eksenden eksene $4D$ aralığında yerleştirilmiş, çapları D olan 4 adet kazık ve kenar uzunluğu $8D$ olan kare radye temelden oluşmaktadır (Şekil 3). Kum zeminin birim hacim ağırlığı, γ_{kum} , 18kN/m^3 ; kayma mukavemeti açısı, ϕ , 35° ; elastisite modülü, E_{zemin} , 30MPa ve Poisson's oranı, ν , 0.40 'tır.



Şekil 3. Örnek çözümlerde kazık yerleşimi

L kazığın toplam boyunu göstermek üzere, kazık grubunun oturma hesabında yararlanılan eşdeğer radye seviyesindeki gerilme alanı:

$$A_{\text{es deg erradye}} = \left[\left(\frac{2L}{3} \right) \frac{1}{4} + 5D \right]^2 = \left[\frac{L}{3} + 5D \right]^2 \quad (2)$$

ifadesiyle hesaplanır.

Örnek 1

İlk örnekte, kazık çapı 1.0m , radye kenar uzunluğu 8 m , radyeye etkiyen yayılı yük 100 kN/m^2 'dir. Radyenin toplam alanı, A_r , 64 m^2 ve net radye alanı, A_{net} , 39 m^2 'dir. Çeşitli yük paylaşım oranlarına göre, kazık grubu ve radyenin oturma değerleri ile eşdeğer radye gerilmesinin jeolojik yükün % 20 'sinden küçük olması şartını sağlayan kazık boyları Tablo 1'de verilmiştir.

Yük paylaşım oranı-oturma grafiği çizilerek radye ve kazık grubunun oturmalarının eşitlendiği yük paylaşım oranı belirlenmiştir (Şekil 4). Bu durumda radye ve kazık grubunun hesaplanan oturma miktarı 10.4 mm ve kazık boyu 16.5 m 'dir. Yük paylaşım oranı % 66 , buna bağlı olarak kazık grubu ve radyenin taşıdıkları yük miktarları sırasıyla 4201 kN ve 2199 kN 'dur.

Elde edilen değerlere göre sistem elemanlarının taşıma gücü tahkik edilebilir. Kum zemine oturan kare temel için taşıma gücü ifadesi,

$$q_d = 0.4\gamma BN_\gamma \quad (3)$$

ve $\phi = 35^\circ$ için $N_\gamma = 42.4$ değeri kullanılarak kazık grubu dışında kalan radye temelin taşıma gücü 916 kPa bulunur. Bu durumda güvenlik sayısı G_s , 16.2 olur.

Kazık grubuna etkiyen birim çevre sürtümesi,

$$f_s = K_s \sigma_v \tan \delta \quad (4)$$

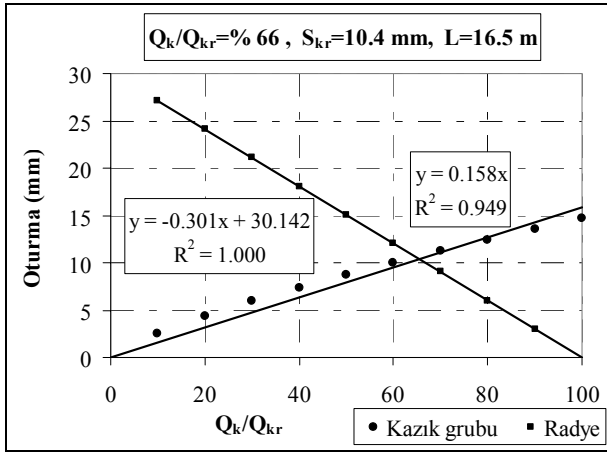
ifadesi ile hesaplanır. Burada $K_s/K_0=1$, $K_0=1-\sin\phi$ ve $\delta=\phi$ değerleri alınarak ortalama birim çevre sürtünmesi f_s , 44.3 kPa hesaplanır. Kazık grubunun blok hareket ettiği kabulüyle toplam çevre sürtünmesi $\sum f_s$, 14632 kN bulunur. Güvenlik sayısı G_s , 3.5 olur. Kazık grubunun taşıma gücü, tekil kazıkların taşıma güçlerinin toplamı olarak da tahkik edilebilir. Bu durumda toplam taşıma gücü, 9194 kN ve güvenlik sayısı 2.2 'dir.

Örnek 2

İkinci örnekte, kazık çapı 0.60 m , radye kenar uzunluğu 4.8 m ve radyeye etkiyen yayılı yük 200 kN/m^2 'dir. Radye temelin toplam alanı A_r , 23.04 m^2 ve net radye alanı, A_{net} , 14.04 m^2 'dir.

Tablo 1. Çeşitli yük paylaşım oranlarına göre oturma miktarları ve kazık boyları, Örnek 1

$Q_{kazık}/Q_{toplam}$ (%)	$Q_{kazık}$ (kN)	Q_{radye} (kN)	$\Delta\sigma'_{A-A}$ (kN/m ²)	$0.20\sigma_{v0}$ (kN/m ²)	$S_{kazık}$ (mm)	S_{radye} (mm)	L (mm)
100	6400	-	47.54	47.54	14.67	-	19.81
90	5760	640	45.24	45.24	13.58	3.01	18.85
80	5120	1280	42.75	42.79	12.45	6.03	17.83
70	4480	1920	40.10	40.10	11.27	9.04	16.71
60	3840	2560	37.18	37.18	10.05	12.06	15.49
50	3200	3200	33.92	33.94	8.76	15.07	14.14
40	2560	3840	30.22	30.26	7.40	18.09	12.61
30	1920	4480	25.94	25.94	5.94	21.10	10.81
20	1280	5120	20.65	20.69	4.32	24.11	8.62
10	640	5760	13.52	13.54	2.47	27.13	5.64
-	-	6400	-	-	-	18.37	-



Şekil 4. Yük paylaşım oranı-oturma grafiği, Örnek 1

Çeşitli yük paylaşım oranlarına göre radye ve kazık grubunun oturmaları ile kazık boyları Tablo 2’de verilmiştir.

Yük paylaşım oranı-oturma grafiği çizilerek radye ve kazık grubunun oturmalarının eşitlendiği yük paylaşım oranı belirlenmiştir (Şekil 5). Bu durumda radyenin ve kazık grubunun hesaplanan oturma miktarı 9.9 mm ve kazık boyu 18.0 m’dir. Yük paylaşım oranı % 72, kazık grubu ve radyenin taşıdıkları yük miktarları sırasıyla 3340 kN ve 1268 kN’dur.

Elde edilen değerlere göre sistem elemanlarının taşıma gücü tahkiki yapıldığında, kazık grubu dışında kalan radye temelin taşıma gücü, 550 kN/m² olarak hesaplanır. Bu durumda güvenlik sayısı, G_s , 6.1 olur.

Kazık grubuna etkiyen ortalama birim çevre sürtünmesi 48.4 kN/m²’dir. Kazık grubunun bir blok şeklinde hareket ettiği düşünülerek toplam çevre sürtünmesi $\sum f_s$, 10448kN bulunur. Güvenlik sayısı G_s , 3.1 olur. Kazık grubunun taşıma gücü, tekil kazıkların taşıma güçleri toplamı olarak tahkik edildiğinde toplam taşıma gücü 6565 kN ve güvenlik sayısı 2.0’dir.

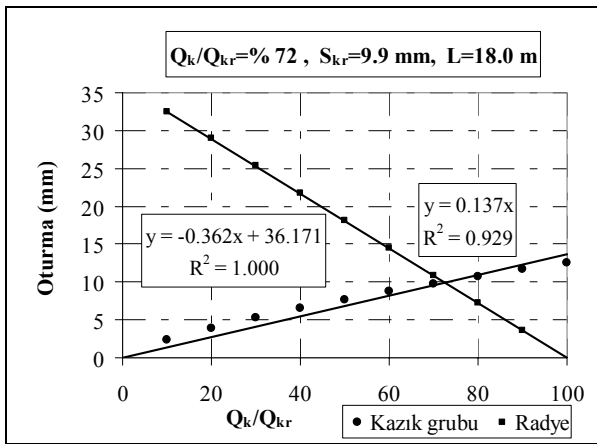
Plaxis 3D Foundation yazılımı ile tahkik

Plaxis 3D Foundation yazılımı, özellikle temellerin analizi için hazırlanmış ticari bir 3 boyutlu sonlu eleman programıdır (Brinkgreve ve Broere, 2006). İleri bir sayısal analiz yöntemi olan bu metotta, sonlu elemanlara bölünen sürekli ortamın tek bir elemanı için yazılan denklem integre edilerek tüm sistemin davranışı elde edilir. Birçok karmaşık geometri, yükleme, sınır koşulları ve malzeme durumu dikkate alınabilir. Ancak bu tür çözümlerde çok fazla zamana ve yüksek bilgisayar kapasitelerine gereksinim duyulabilmektedir. Bazen daha basit analiz yöntemleri ile de çok uygun sonuçlar elde etmek mümkündür.

Kazıklı radyedeki kazıklar, radye ve zemin arasındaki etkileşimi dikkate alan Plaxis 3D Foundation yazılımı; geometri, sınır şartları ve malzeme özelliklerinin tanımlandığı *giriş*, yapım aşamalarının belirlenip analiz edildiği *hesap*, sonuçların görülebildiği *çıkış* ve bu sonuçların grafiklerinin elde edilebildiği *grafik* alt bö-

Tablo 2. Çeşitli yük paylaşım oranlarına göre oturma miktarları ve kazık boyları, Örnek 2

$Q_{kazık}/Q_{toplam}$ (%)	$Q_{kazık}$ (kN)	Q_{radye} (kN)	$\Delta\sigma'_{A-A}$ (kN/m ²)	$0.20\sigma_{v0}$ (kN/m ²)	$S_{kazık}$ (mm)	S_{radye} (mm)	L (mm)
100	4608	-	48.54	48.55	12.58	-	20.23
90	4147	461	46.44	46.44	11.67	3.62	19.35
80	3686	922	44.16	44.18	10.73	7.23	18.41
70	3226	1382	41.68	41.74	9.75	10.85	17.39
60	2765	1843	39.00	39.02	8.73	14.47	16.26
50	2304	2304	36.00	36.00	7.66	18.09	15.00
40	1843	2765	32.57	32.57	6.52	21.70	13.57
30	1382	3226	28.51	28.54	5.28	25.32	11.89
20	922	3686	23.49	23.50	3.91	28.94	9.79
10	461	4147	16.47	16.49	2.32	32.55	6.87
-	-	4608	-	-	-	22.04	-



Şekil 5. Yük paylaşım oranı-oturma grafiği, Örnek 2

lümülerinden oluşmaktadır. Program, önerilen hesap yöntemiyle incelenen iki problemin çözümlerinin tahkikinde kullanılmıştır (Tablo 3 ve 4).

Tablo 3. Plaxis çözümleri, Örnek 1

L (mm)	$Q_{kazık}$ (kN)	Q_{radye} (kN)	$S_{kazıklıradye}$ (mm)	$Q_{kazık}/Q_{toplam}$ (%)
20.0	5033	1367	9.24	78.6
19.0	4968	1432	9.53	77.6
18.0	4901	1499	9.82	76.6
17.0	4825	1575	10.15	75.4
16.5	4785	1615	10.32	74.8
15.5	4700	1700	10.67	73.4
14.5	4604	1796	11.06	71.9
13.0	4449	1951	11.69	69.5
11.0	4182	2218	12.68	65.3
9.0	3830	2570	13.90	59.8
6.0	2961	3439	16.51	46.3
-	-	6400	19.35	-

Tablo 4. Plaxis çözümleri, Örnek 2

L (mm)	$Q_{kazık}$ (kN)	Q_{radye} (kN)	$S_{kazıklıradye}$ (mm)	$Q_{kazık}/Q_{toplam}$ (%)
20.5	3766	842	8.82	81.7
19.5	3736	872	9.08	81.1
18.5	3704	904	9.35	80.4
18.0	3689	919	9.48	80.1
17.5	3670	938	9.64	79.6
16.5	3631	977	10.00	78.8
15.0	3571	1037	10.51	77.5
14.0	3520	1089	10.93	76.4
12.0	3396	1212	11.93	73.7
10.0	3221	1387	13.31	69.9
7.0	2514	2094	18.37	54.6
-	-	4608	25.44	-

Sonuçlar

Bu çalışmada önerilen hesap yönteminde, yapı yükünün, radye ve kazıklar tarafından paylaşılarak taşınacağı kabul edilmekte, farklı paylaşım oranlarına göre radyenin ve kazık grubunun oturmaları ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Çeşitli $Q_{kazık}/Q_{toplam}$ oranları için elde edilen oturma miktarları karşılaştırılarak, radye ve kazık grubunun oturmalarının eşit olduğu paylaşım oranı belirlenmektedir. Elde edilen sonuç, bir yandan oturma miktarını vermekte, öte yandan kazık boyunun belirlenmesini sağlamaktadır.

Kazıklı radye temel radyedeki oturma ve/veya farklı oturmaları azaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Taşıma gücü yeterli ancak oturmaları, özellikle de farklı oturmaları kabul edilebilir değerleri aşan büyük boyutlu radyelerde

($B > 15\text{m}$) kazıklar farklı oturmaları azaltmak amacıyla yükleme durumuna uygun bölgelere yerleştirilirler. Ancak bu kazıkların toplam oturmaya etkisi çok fazla olmayabilir. Ancak daha küçük boyutlu radyelerde ($5\text{m} < B < 15\text{m}$) kazık grup alanı/radye alanı ve kazık boyu/radye kenar uzunluğu oranlarına bağlı olarak toplam oturmalarda önemli azalmalar elde edilebilir (Viggiani, 2001). Bu anlamda basitleştirilmiş kazıklı radye hesabının, özellikle ikinci grupta yer alan kazıklı radye temellerin oturma analizi için uygun sonuçlar verdiği görülmüştür.

Önerilen yöntemde, kazıklı radye sistemlerin hesaplanması için arazide belirlenen zemin özelliklerinin değişiminin izlenebilmektedir.

Bu amaçla yararlanılan kavramlar ve hesap esaslarının, teker teker bakıldığında, zemin mekaniğinde esasen yaygın olarak kullanıldığı görülür.

Kazıklı radye sistemlerin hesaplanmasında güncel olan sorunlardan birisi, yanal yükler etkisinde kazıklı radye davranışdır. Kazık gruplarının yanal yükler etkisindeki davranışı tam anlaşılmamışken kazıklı radyenin yanal yükler etkisindeki davranışına hemen bir çözüm bulunabileceği düşünülmemektedir. Bu bakımdan, çalışmamızda kazıklı radyenin yanal yükler etkisindeki davranışı dikkate alınmamıştır.

Kaynaklar

- Broms, B.B., (1976). Pile foundations-pile groups, *Proceedings*, 6th ECSMFE, Vienne, Austria, Volume 2.1, 103-132
- Brinkgreve, R.B.J. ve Broere, W., (2006). *Plaxis 3D Foundation v1.6 Manual*.
- Horikoshi, K., (1995). Optimum design of pile raft foundations, *PhD thesis*, University of Western Australia, Perth.
- Katzenbach, R. ve Moorman, Chr., (2001). Recommendations for the design and construction of pile rafts, *Proceedings*, 15th ICSMFE, Istanbul, Turkey, 2, 927-930.
- Meyerhof, G.G., (1976). Bearing capacity and settlement of pile foundations, *ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 102, GT3, 195-228.
- Poulos, H.G., eds. (2001). Methods of analysis of piled raft foundations, ISSMGE TC18 Subcommittee 1 Report.
- Saran, S., (1996). *Analysis and design of substructures, limit state design*, Balkema.
- Tomlinson, M.J., (2001). *Foundation design and construction*, 569, 7th edition, Prentice Hall.
- Vesic, A.S., (1981). Behaviour of pile groups, *Proceedings*, 10th ICSMFE, Stockholm, Sweden, Volume 4, 808-811.
- Viggiani, C., (2001). Analysis and design of piled foundations, *Proceedings*, 1st Arrigo Croce Lecture, Napoli, Italy, 47-75.