

## Aynı Zemin Koşullarında Farklı Kazık Gruplarının Performansı

Mikail YEĞİT<sup>1\*</sup>, İsmail ZORLUER<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

<sup>2</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

\*Sorumlu Yazar, e-posta<sup>1</sup>: [mikail.yegit@myapi.com.tr](mailto:mikail.yegit@myapi.com.tr) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8615-8965>

e-posta<sup>2</sup>: [izorluer@aku.edu.tr](mailto:izorluer@aku.edu.tr) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5017-084X>

Geliş Tarihi: 13.02.2019;

Kabul Tarihi: 02.08.2019

### Öz

#### Anahtar kelimeler

Fore Kazıklar; Kazıklı Temeller; Kazık Grupları.

Yapı yüklerinin sığ temeller ile zemin tarafından taşınamaması durumunda, yapı yüklerinin zeminin daha derinlerdeki tabakalara aktarılması için kullanılan başlıca temel türlerinden birisi kazıklı temellerdir. Her çeşitte zemine uygulanabilmeleri, inşası sırasında gürültü ve titreşime neden olmaları dolayısıyla ülkemizde en çok tercih edilen kazıklı temel türü fore kazıklardır. Fore kazıkların deneysel olarak grup davranışını incelemek zor ve maliyetlidir. Bunun yerine tek kazığın taşıma kapasitesi test edilerek, tasarımı hesaplanan taşıma kapasitesinin doğru olduğu teyit edilmektedir. Bu çalışmada, aynı zemin üzerine farklı çap ve sayıdaki kazık bulunduran gruplarının taşıma kapasitesi ve oturmaları dikkate alınarak performansı kıyaslanmıştır.

## Performance of the Pile Groups on the Same Soil Conditions

### Abstract

#### Keywords

Bored Piles; Pile Foundations; Pile Groups.

Pile foundation is one of the main deep foundation types, in case of the exceeding bearing capacity of the soil due to loads transferred from the superstructure to the shallow foundation. The most preferred pile foundation type in our country is bored piles since it is applicable to all types of soils and avoiding noise and vibration during its construction. It's very difficult and expensive in situ testing of the bored pile groups. Instead, the bearing capacity of a single pile is tested and the bearing capacity calculated with the design is confirmed to be correct. In this study, in the same soil conditions, the bearing capacities and settlements of different pile groups with the different size and number of piles researched.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Geoteknik mühendisliğinde; zeminin taşıma gücünün artırılmasında, şevlerin stabilitesinde, kazıların desteklenmesinde, köprü ayaklarında, liman yapılarında, deniz yapılarında ve birçok alanda kazıklar kullanılır.

Kazıklı temeller birçok kazığın bir araya gelmesi ve yapı temelinin kazıkların üzerine oturması ile teşkil edilen temellerdir. Kazıklı temellerde birden çok sayıdaki kazığa, kazık grubu adı verilir.

Kazık gruplarının taşıma kapasitesinin belirlenmesi oldukça karmaşıktır ve halen tamamen aydınlatılamamıştır. Buna rağmen, kazıkların arasındaki mesafe dikkate alınarak, blok

davranışında ve tek kazık davranışında olduğu kabul edilerek taşıma kapasitesi hesaplanır.

Kazık gruplarında, kazıkların her biri, grup içindeki komşu kazıklar ile etkileşerek birbirinin taşıma kapasitesini azaltır.

Kazık grubunun toplam kazık sayısının taşıma kapasitesinden daha az bir taşıma kapasitesinin olması, kazık grubunun verimliliğidir. Kazık gruplarının verimliliği, kazık sayısının artması neticesinde kazıkların birbirine yaklaşması ile düşer, kazıkların birbirinden uzaklaşması ile artar. Hatta kazıklar arasındaki mesafe grup verimliliğini azaltmayacak bir mesafede olursa, kazık grubu

kazıkların toplam taşıma kapasitesi kadar taşıma kapasitesine de erişebilir.

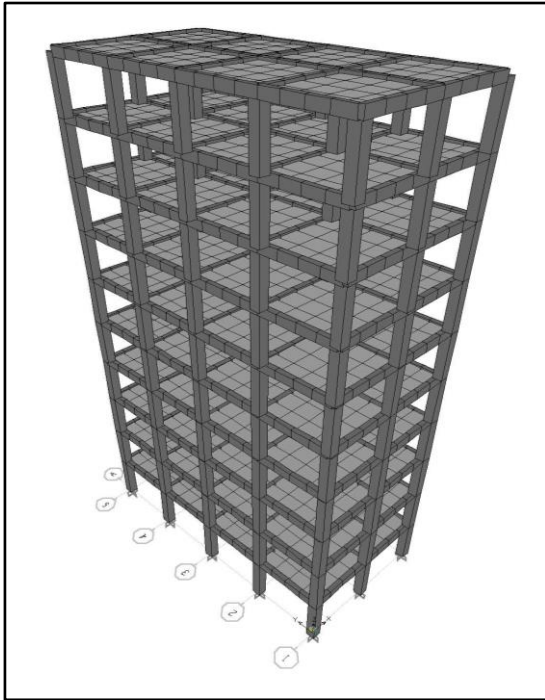
Bu çalışmada da, farklı çap, derinlik ve sayıdaki kazık gruplarının, aynı yapı yükleri ve aynı zemin içindeki performansı el ile hesaplanarak, SAP 2000 programı kullanılarak ve Plaxis 3d Foundation programı kullanılarak incelenmiş, kazık sayısı optimize edilmeye çalışılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan zemin için; Afyonkarahisar ili, Merkez ilçesi, Erenler Mahallesinde (Afyon Kocatepe Üniversitesi, Ahmet Necdet SEZER Kampüsü karşısı) bir arazi seçilmiştir. Bu bölgede imar durumu 5 katlı yapılaşmaya izin vermektedir.

### 2.1 Yapı İle İlgili Bilgiler

Her ne kadar bölgenin imar durumu bodrum kat üzerine 5 normal kata izin verse de, bu tez kapsamında, arazi üzerine Şekil 1’de SAP 2000 modeli gösterilen 10 katlı bir yapı tasarlanmıştır. Yapının temel alt seviyesi olarak, arazinin üst kotu kabul edilmiştir. Radye temel kalınlığı 80 cm olarak alınmıştır.



Şekil 1. Yapı SAP 2000 Modeli.

## 2.2 Yapıdan Temele İletilen Yükler

SAP 2000 programı ile elde edilen, Şekil 2’de gösterilen en alt kattaki kolon alt uç mesnet reaksiyonları ile geleneksel yöntem kullanılarak, radye temelde oluşan maksimum gerilme aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\sigma_{max,min} = \frac{N}{A} \pm \frac{M_{x-x}}{W_{x-x}} \pm \frac{M_{y-y}}{W_{y-y}} \quad (1)$$

$$\sum M_{x-x} = 159,87 \text{ kNm} \quad (2)$$

$$\sum M_{y-y} = 157,46 \text{ kNm} \quad (3)$$

$$\sum N = (1794,79)(4) + (2281,43)(2) + (2367,38)(4) + 3196,51(2) + (2446,40)(2) + (3293,57) + (0,8)(18)(10)(25) = 39390,93 \text{ kN} \quad (4)$$

$$A = 180 \text{ m}^2 \quad (5)$$

$$W_{x-x} = 540 \text{ m}^3 \quad (6)$$

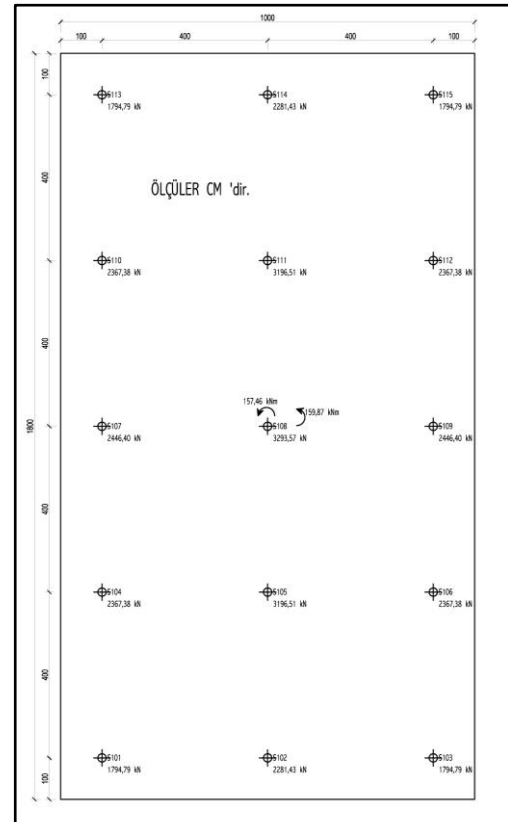
$$W_{y-y} = 300 \text{ m}^3 \quad (7)$$

$$\sigma_{max} = 219,66 \text{ kN/m}^2 \quad (8)$$

$$\sigma_{min} = 218,02 \text{ kN/m}^2 \quad (9)$$

$$\sigma_{min} = 218,02 \text{ kN/m}^2 > \sigma_{emin} = 110 \text{ kN/m}^2 \quad (10)$$

emniyetli taşıma gücü aşıldığı için derin temel gerekliliği ortaya konulur.



Şekil 2. Kolon Uç Mesnet Reaksiyonları.

### 2.3 Zemin Profili

Arazide zemin üzerinde 17,5 m olacak şekilde bir sondaj kuyusu açılmıştır. Kuyuda her 1,5 m derinlikte SPT yapılmış, SPT numuneleri ile örselenmemiş (UD) numuneleri alınmıştır. 17,5 m 'den daha derinlerde ise zeminin homojen olarak devam ettiği kabul edilmiştir.

**Çizelge 1.** Zemin Profili

Derinlik (m)	$\Delta L$ (m)	Doğal Su Muhtevası (%)	USCS	$c_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi'$	$\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	$E_s$ (kN/m <sup>2</sup> )	$E_s$ - Ort (kN/m <sup>2</sup> )	$\mu_s$
1.50	1.50		CH			17	27810		0.4
								28869	
3.00-3.45	1.95	26	CH				29928		0.4
4.50-5.00	1.55	23	CL	51	3	19	31834	32425	0.4
6.00	1.00		CL				33016		0.4
7.50-8.00	2.00	28	CH	57	2	19	34686	33851	0.4
9.00	1.00		CH				33016		0.4
10.50-10.95	1.95	27	SC			17	9920	10240	0.3
12.00	1.05		SC				10560		0.3
13.50	1.50		SC			18	12800		0.3
								13760	
15.00-15.45	1.95	28	SC				14720		0.3
16.50	1.05		SC			19	15680		0.3
								15680	
30.00	13.5		SC				15680		0.3

$\Delta L$ : Derinlik Değişimi, USCS: Unified Soil Classification System'e göre Zemin Sınıflandırması,  $c_u$ : Drenajsız Kohezyon,  $\phi'$ : Efektif İçsel Sürtünme Açısı,  $\gamma_n$ : Doğal Birim Hacim Ağırlık,  $E_s$ : Zeminin Elastisite Modülü,  $\mu_s$ : Zeminin Poisson Oranı

Deneyi yapılmamış parametrelerden,  $E_s$ : Zeminin Elastisite Modülü bulunması için; Çizelge 2'de verilen eşitlikler kullanılmıştır. Elde edilen zemin profili Çizelge 1 'de verilmiştir.

**Çizelge 2.** SPT-N ile Zemin Elastisite Modülü Arasındaki İlişkiler

Zemin Cinsi	Elastisite Modülü (kPa)
Normal konsolide kum (SW, SP)	$E_s = 500(N_{60} + 15)$ $E_s = (15000 \sim 22000) \ln N_{60}$
Aşırı konsolide kum	$E_s = 18000 + 750 N_{60}$ $E_s = 600(N_{60} + 6)$ $N_{60} \leq 15$
Çakıllı kum ve çakıl (GW, GP, GM, GC)	$E_s = 600(N_{60} + 6) + 2000$ $N_{60} > 15$
Killi kum (SC)	$E_s = 320(N_{60} + 15)$
Siltli kum (SM)	$E_s = 300(N_{60} + 6)$

McGREGOR, J.A. and DUNCAN J. M., 1998; "Performance and Use of the Standard Penetration Test in Geotechnical Engineering Practice", Center for Geotechnical Practice and Research, Virginia Polytechnic Institute and State University, USA

### 2.4 Elle Kazık Hesabı, Kazık Sayısı, Kazık Verimliliği ve Oturmalar

Çalışmada, kazık çapları 60 cm, 80 cm ve 100 cm olarak, 10 m, 15 m ve 20 m uzunluğunda toplam 9 kazık grubu oluşturulmuştur. Kazık sayıları üstyapıdan gelen yüklerin tek kazığın taşıma kapasitesine bölünerek hesaplanacaktır.

El ile yapılan kazık hesabında Microsoft Excel® programı kullanılmıştır.

Örnek hesaplama olarak bir kazık seçilmiştir, seçilen 80 cm çapındaki ve 20 m derinliğindeki kazık için hesaplar Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir.

Kazık grubunun hesaplanmasında yine Microsoft Excel® programı kullanılmıştır. Kazık yerleşimine de kazıkları plan bazında homojen dağıtacak şekilde karar verilmiştir. Kazık hesabı:

$$n_{kazık} = \frac{39390,93}{3248,11} = 12,13 \text{ Kazık} \quad (11)$$

SK2 D=0,8 m L=20 m Kazık Hesabı													
Kazık Derinliği	L=	20,00	m	Kazık Uç Alanı	A <sub>p</sub> =	0,50	m <sup>2</sup>						
Kazık Çapı	D=	0,80	m	Kazık Çevresi	P=	2,51	m						
<b>Q<sub>p</sub>'NİN BELİRLENMESİ</b>													
<b>Meyerhof Metodu (Kil İçin)</b>													
C <sub>u</sub> =	kN/m <sup>2</sup>	Q <sub>u</sub> =		0,00	kN								
<b>Meyerhof Metodu (Kum İçin)</b>													
Tabaka	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Y (kN/m <sup>2</sup> )=	17,00	19,00	19,00	17,00	17,00	18,00	19,00						
D <sub>i</sub> (m)=	3,5	2,5	3	0,5	2,5	3,5	4,5						
Y <sub>w</sub> (kN/m <sup>2</sup> )=					9,81	9,81	9,81						
*Su varsa													
q' <sub>s</sub> =	260,50	kN/m <sup>2</sup>		N <sub>q</sub> '=		240	(Tablodan)		φ'	37			
Q <sub>u</sub> =	31425,38	kN											
Q <sub>u</sub> =	9042,65	kN/m <sup>2</sup>		(Limit Değer Kıyaslama)									
Q <sub>u</sub> =	9042,65	kN/m <sup>2</sup>		(Seçilen Değer)									
<b>Vesic Metodu (Kil İçin)</b>													
C <sub>u</sub> =	kN/m <sup>2</sup>	I <sub>r</sub> =		-33	N <sub>c</sub> '=		(Tablodan)						
Q <sub>u</sub> =	0,00	kN											
<b>Vesic Metodu (Kum İçin)</b>													
Tabaka	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Y (kN/m <sup>2</sup> )=	17,00	19,00	19,00	17,00	17,00	18,00	19,00						
D <sub>i</sub> (m)=	3,5	2,5	3	0,5	2,5	3,5	4,5						
Y <sub>w</sub> (kN/m <sup>2</sup> )=					9,81	9,81	9,81						
q' <sub>s</sub> =	260,50	kN/m <sup>2</sup>		φ'	37	m=		400	(Vesic Metodundan)				
α <sub>s</sub> '=	155,98	kN/m <sup>2</sup>		E <sub>s</sub> =	21654,85	kN/m <sup>2</sup>							
μ <sub>s</sub> =	0,28	Δ=		0,005	I <sub>r</sub> =	43,09	I <sub>pc</sub> =	35,19	N <sub>c</sub> '=		60	(Tablo)	
Q <sub>u</sub> =	4704,30	kN											

**Şekil 3.** Kazık Hesabı Excel 1. Sayfa: Meyerhof Metodu ile Kilde ve Kumda Q<sub>p</sub> Hesaplanmış ve Vesic Metodu ile Kumda Q<sub>p</sub> Hesaplanmıştır.

Seçilen kazık sayısı = 12 Kazık. Kazıklar iki doğrultuda  
 $n_1 = 4$  (Uzun kenar doğrultusu)  $n_2 = 3$  (Kısa kenar doğrultusu) olacak şekilde yerleştirilmiştir. Her ne kadar kazık sayısı genellikle yukarı yuvarlansa da, 13 kazığın yerleşimi homojen olmayacağı için 12 kazık tercih edilmiştir.

Kazık grubu verimliliği için Das eşitliği kullanılmıştır:

$$\eta = \frac{2(n_1+n_2-2)d+4D}{pn_1n_2} = \frac{2(4+3-2)3+4.0,8}{2,51.4.3} = 1,10 \quad (12)$$

Kazık sayısı, yerleşim planlaması ve kazık grubu verimliliği Excel çalışma sayfası Şekil 7'de gösterilmiştir.

Kazık grubuna karar verildiğinde oluşan kazık yerleşimi Şekil 8'deki gibi olmaktadır.

Tek kazığın ve kazık grubunun oturma hesabı da yine Excel programı ile yapılmıştır. Bu hesaplara ilişkin çalışma sayfası görüntüleri de Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilmiştir.

Coyle ve Castello (Kum İçin)														
Tabaka	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Y (kN/m <sup>2</sup> )=	17,00	19,00	19,00	17,00	17,00	18,00	19,00							
D <sub>i</sub> (m)=	3,5	2,5	3	0,5	2,5	3,5	4,5							
Y <sub>w</sub> (kN/m <sup>2</sup> )=					9,81	9,81	9,81							
q' <sub>s</sub> =	260,50	kN/m <sup>2</sup>		N <sub>q</sub> '=		100	(Tablodan)							
Q <sub>u</sub> =	13093,91	kN												
<b>SPT ve CPT Korelasyonu İle Belirlenmesi (Kil ve Kum İçin)</b>														
Kazık ucu 8 m üstü ile 4 m altı arasındaki N <sub>60</sub> değerleri toplamının ortalaması														
S/N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
N <sub>60</sub>	30,75	33,75	33,75	33,75	33,75	33,75								
N <sub>60</sub> '=	34													
Q <sub>p</sub> =	17090,26	kN		Q <sub>u</sub> =	6836,11	kN		Min Değer Karşılaştırması						
Q <sub>p</sub> =	6836,11	kN												
<b>Q<sub>p</sub> Sonuçları (kN)</b>														
Meyerhof	Vesic			Coyle&Castello			SPT&CPT							
9042,65	4704,30			13093,91			6836,11							
Q <sub>p</sub> =	7939,38 kN (Maksimum ve minimum ortalamadan çıkarılmıştır)													
<b>KAZIK YANAL SÜRTÜNMESİ Q<sub>s</sub>'NİN BELİRLENMESİ</b>														
<b>KİL TABAKASINDA SÜRTÜNME</b>														
<b>α Metodu</b>														
S/N	Derinlik	ΔL	C <sub>u</sub>	α	α.C <sub>u</sub> .p.ΔL									
1	0,00	3,50	3,50	35	0,78	240,14								
2	3,50	6,00	2,50	51	0,67	214,70								
3	6,00	9,00	3,00	57	0,64	275,05								
4			0,00			0,00								
5			0,00			0,00								
6			0,00			0,00								
7			0,00			0,00								
8			0,00			0,00								
9			0,00			0,00								
10			0,00			0,00								
Q <sub>s</sub> kil=	729,89 kN													

**Şekil 4.** Kazık Hesabı Excel 2. Sayfa: Coyle ve Castello Metodu ile Kumda Q<sub>p</sub> Hesaplanmış, SPT Korelasyonu Q<sub>p</sub> Hesaplanmıştır. Diğer Metotlarla Hesaplanan Q<sub>p</sub> değerlerinin ortalaması alınmıştır. Kil Tabakasındaki Q<sub>s</sub>, α Metodu ile Hesaplanmıştır.

β Metodu		KUM?	
0			
L <sub>1</sub> = 3,5			
Y <sub>1</sub> = 17	σ <sub>0</sub> '= 59,5	V <sub>w</sub> = 0	φ <sub>k</sub> '= 0 f= 0
L <sub>2</sub> = 6			
Y <sub>2</sub> = 19	σ <sub>0</sub> '= 107	V <sub>w</sub> = 0	φ <sub>k</sub> '= 3 f= 4,135
L <sub>3</sub> = 9			
Y <sub>3</sub> = 19	σ <sub>0</sub> '= 164	V <sub>w</sub> = 0	φ <sub>k</sub> '= 2 f= 4,567
L <sub>4</sub> =			
Y <sub>4</sub> =	σ <sub>0</sub> '= 164	V <sub>w</sub> = 0	φ <sub>k</sub> '= f= 0
L <sub>5</sub> =			
Y <sub>5</sub> =	σ <sub>0</sub> '= 164	V <sub>w</sub> = 0	φ <sub>k</sub> '= f= 0
L <sub>6</sub> =			
Y <sub>6</sub> =	σ <sub>0</sub> '= 164	V <sub>w</sub> = 0	φ <sub>k</sub> '= f= 0
L <sub>7</sub> =			
Y <sub>7</sub> =	σ <sub>0</sub> '= 164	V <sub>w</sub> = 0	φ <sub>k</sub> '= f= 0

Q<sub>s</sub> kil= 60,41 kN  
Q<sub>s</sub> kil= 395,15 kN α ve β metodunun ortalaması

**KUM TABAKASINDA SÜRTÜNME**  
Coyle ve Castello 1 ile Belirlenmesi

Tabaka (L')	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
φ'				32,5	32,5	37	37						
K=	0	0	0	0,463	0,463	0,398	0,398	0	0	0	0	0	0
δ'	0	0	0	26	26	29,6	29,6	0	0	0	0	0	0
Kum?				Evet	Evet	Evet	Evet						
Y (kN/m <sup>2</sup> )=	17,00	19,00	19,00	17,00	17,00	18,00	19,00						
D <sub>i</sub> (m)=	3,5	2,5	3	0,5	2,5	3,5	4,5						
Y <sub>w</sub> (kN/m <sup>2</sup> )=				9,81	9,81	9,81							
σ <sub>0</sub> ' (kN/m <sup>2</sup> )=	0	0	0	85	45,99	22,23	8,988	0	0	0	0	0	0
Q <sub>s</sub> (kN/m <sup>2</sup> )=	0	0	0	24,11	65,21	44,22	22,99	0	0	0	0	0	0

Q<sub>s</sub>Coyle1= 156,53 kN

**Coyle ve Castello 2 ile Belirlenmesi**  
L/D= 25

Tabaka	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
φ'				32,5	32,5	37	37						
K=				0,7	0,7	0,7	0,7						
Kum?				Evet	Evet	Evet	Evet						
Y (kN/m <sup>2</sup> )=	17,00	19,00	19,00	17,00	17,00	18,00	19,00						

Şekil 5. Kazık Hesabı Excel 3. Sayfa: Kil Tabakasındaki Q<sub>s</sub>, β Metodu Hesaplanmıştır. Kil Tabakasındaki Q<sub>s</sub>'nin Ortalaması Alınmıştır. Kum Tabakasındaki Q<sub>s</sub> Coyle ve Castello Metotları ile Hesaplanmıştır.

D <sub>i</sub> (m)=	3,5	2,5	3	0,5	2,5	3,5	4,5						
Y <sub>w</sub> (kN/m <sup>2</sup> )=					9,81	9,81	9,81						
σ <sub>0</sub> ' (kN/m <sup>2</sup> )=	0	0	0	168,3	181,5	204,8	239,8	0	0	0	0	0	0
Q <sub>s</sub> (kN/m <sup>2</sup> )=	0	0	0	72,18	389,3	716,4	1079	0	0	0	0	0	0

Q<sub>s</sub>Coyle2= 2256,46 kN Q<sub>s</sub>Coyle= 1206,50 kN

**SPT Korelasyonu ile Belirlenmesi**  
Kum tabakalarındaki N<sub>60</sub> değerleri, ΔL her tabakanın kalınlığı

S/N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
N <sub>60</sub>	22,5	15,75	18	24,75	30,75	33,75								
ΔL	1,5	1,5	1,5	1,5	1	5								

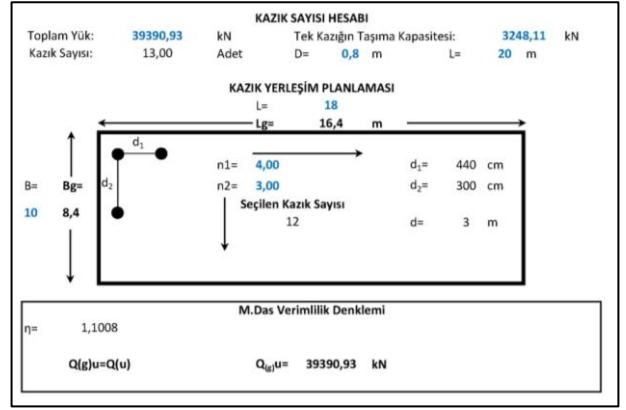
N<sub>60</sub>= 25 Meyerhof f<sub>sp</sub>= 50,00 kN/m<sup>2</sup>  
Briaud f<sub>sp</sub>= 56,97 kN/m<sup>2</sup>

Q<sub>s</sub>KUM Meyer= 1507,96 kN Q<sub>s</sub>KUM Briaud= 1718,19 kN Q<sub>s</sub>KUM SPT= 1613,08 kN  
Q<sub>s</sub>KUM= 1409,79 kN

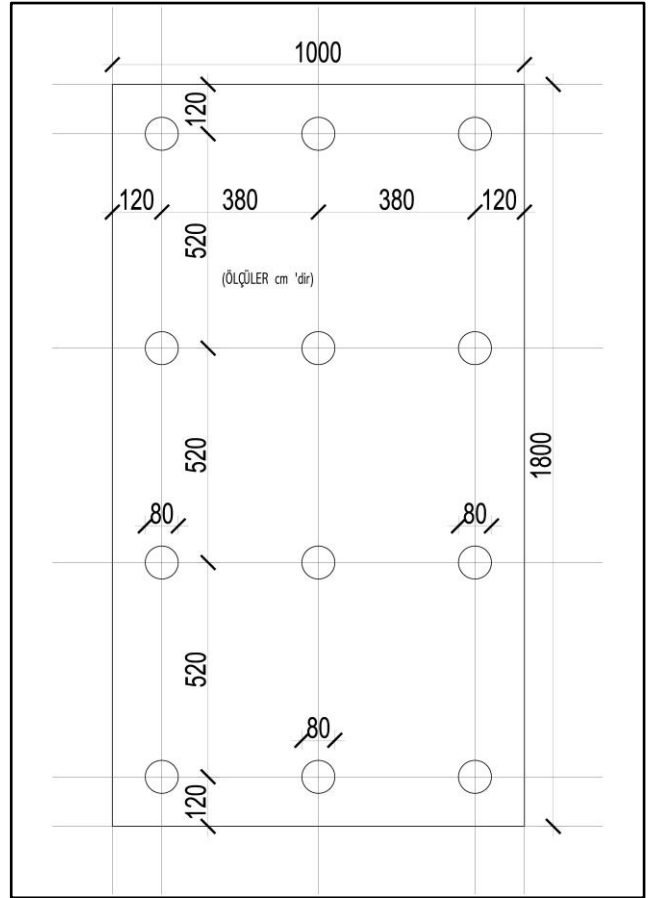
Q<sub>s</sub>= 1804,94 kN

**TEK KAZIĞIN TAŞIMA KAPASİTESİ**  
Q<sub>p</sub>= 7939,38 kN FS= 3  
Q<sub>s</sub>= 1804,94 kN  
Q<sub>ALL</sub>= 3248,11 kN

Şekil 6. Kazık Hesabı Excel 4. Sayfa: Kum tabakasındaki Q<sub>s</sub>, SPT Korelasyonu ile Hesaplanmıştır. Kum Tabakasındaki Q<sub>s</sub>'lerin Ortalaması Alınmıştır. Tek Kazığın Taşıma Kapasitesi Q<sub>ALL</sub> Hesaplanmıştır.



Şekil 7. Kazık Sayısı, Yerleşim Planlaması ve Verimliliği Hesapları



Şekil 8. 80 cm Çap 20 m Derinlik için Kazık Yerleşim Planı

**KAZIK OTURMA HESABI**  
Vesic  
E<sub>p</sub>= 30000000 kN/m<sup>2</sup> E<sub>s</sub>= 15680 kN/m<sup>2</sup> μ<sub>s</sub>= 0,4 ξ= 0,5  
I<sub>wp</sub>= 0,85 I<sub>ws</sub>= 3,75 Q<sub>u</sub>= 2646,46 kN C<sub>s</sub>= 0,97 C<sub>p</sub>= 0,05  
Q<sub>u</sub>= 601,65 kN

S<sub>e(1)</sub>= 0,0039 m S<sub>e(2)</sub>= 0,0256 m S<sub>e(3)</sub>= 0,0045 m S<sub>e</sub>= 0,0340 m

Şekil 9. Tek Kazığın Oturma Hesabı

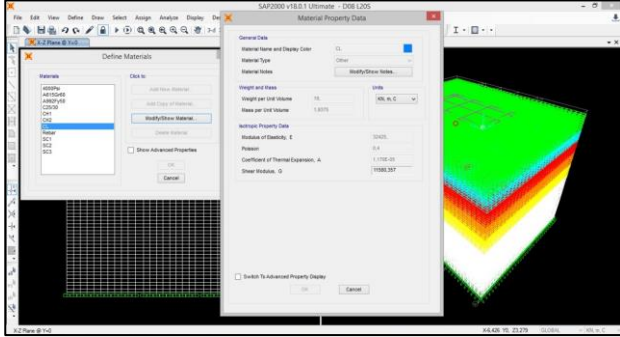
**KAZIK GRUBU OTURMASI**  
B<sub>g</sub>= 8,4 m S<sub>e(g)</sub>= 0,1102 m

Şekil 10. Kazık Grubunun Oturması Hesabı

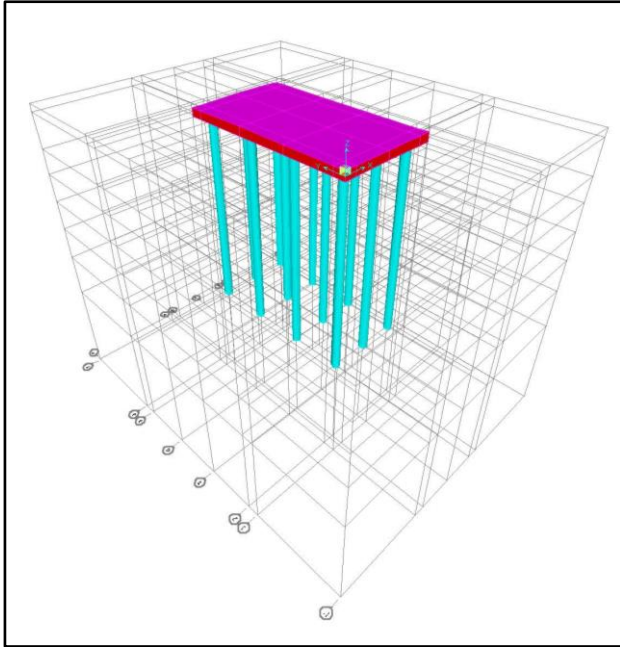
2.5 Sap 2000 Programı ile Analizler



Sap 2000 programında, zemin Tablo 1’den alınan zemin parametrelerini atayabilmek için solid olarak modellenmiştir. Şekil 11’de SAP 2000 programında modellenen zemin özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 11. SAP2000 Zemin Modeli

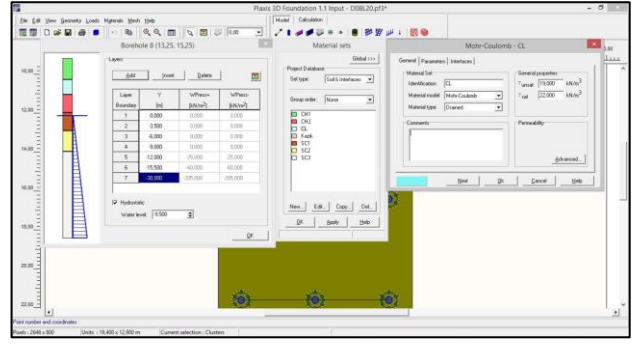


Şekil 12.80 cm Çap ve 20 m Derinlik için SAP2000 Kazık Grubu Modeli

Şekil 8’de verilen kazık yerleşim planına ait olan SAP2000 kazık modeli de Şekil 12’de gösterilmiştir.

## 2.6 Plaxis 3d Foundation Programı ile Analizler

Tablo 1’deki zemin özellikleri kullanılarak Plaxis 3d Foundation programında modelleme yapılmıştır. Programda zemine atanan özellikler Şekil 13’de gösterilmiştir.



Şekil 13. Plaxis 3d Foundation Zemin Modeli

## 3. Bulgular

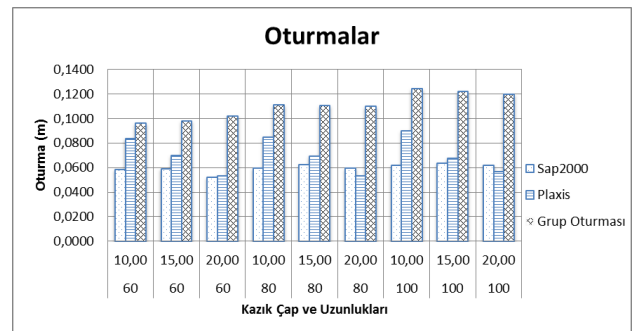
Her kazık grubu için yapılan modellemelerin sonucunda, SAP2000 ve Plaxis 3d Foundation programından elde edilen düşey oturmalar Çizelge 2’de gösterilmektedir. SAP2000 ve Plaxis 3d Foundation programlarından kazık modellemeleri karşısında ortaya çıkan en önemli veri oturma miktarıdır.

Oturmalar, tek kazığın radye ile birleştiği üst noktasındaki tek kazığın zemin ile birlikte oturmasını ifade etmektedir. Çizelgede verilmiş olan kazık konumları, plan düzlemi dikkate alındığında sol üst köşedeki kazık, radye temelin merkezine en yakın (orta) kazık ve sağ alttaki köşedeki kazığı ifade etmektedir.

Kazık hesaplarından elde edilen toplu sonuçlar ise Çizelge 3’de gösterilmektedir.

### 3.1. Grafikler

Çizelge 3’de verilen sonuçlardan elde edilen grafikler bu bölümde gösterilmiştir.



Şekil 14. Sap2000, Plaxis 3d Foundation ve Kazık Grubu Oturması

**Çizelge 2.** Sap2000 ve Plaxis 3d Foundation Sonuçları

Çap (cm)	Derinlik (m)	Konum	Düşey Oturma (m)	
			Sap2000	Plaxis
60	10,00	Sol Üst	-0,0487	-0,0683
	10,00	Orta	-0,0587	-0,0838
	10,00	Sağ Alt	-0,0488	-0,0681
	15,00	Sol Üst	-0,0464	-0,0513
	15,00	Orta	-0,0594	-0,0701
	15,00	Sağ Alt	-0,0464	-0,0535
	20,00	Sol Üst	-0,0476	-0,0474
	20,00	Orta	-0,0522	-0,0537
	20,00	Sağ Alt	-0,0476	-0,0490
80	10,00	Sol Üst	-0,0511	-0,0716
	10,00	Orta	-0,0597	-0,0852
	10,00	Sağ Alt	-0,0511	-0,0713
	15,00	Sol Üst	-0,0550	-0,0615
	15,00	Orta	-0,0625	-0,0697
	15,00	Sağ Alt	-0,0550	-0,0625
	20,00	Sol Üst	-0,0545	-0,0484
	20,00	Orta	-0,0596	-0,0536
	20,00	Sağ Alt	-0,0545	-0,0486
100	10,00	Sol Üst	-0,0538	-0,0818
	10,00	Orta	-0,0618	-0,0901
	10,00	Sağ Alt	-0,0538	-0,0827
	15,00	Sol Üst	-0,0577	-0,0629
	15,00	Orta	-0,0638	-0,0678
	15,00	Sağ Alt	-0,0577	-0,0622
	20,00	Sol Üst	-0,0577	-0,0526
	20,00	Orta	-0,0622	-0,0571
	20,00	Sağ Alt	-0,0577	-0,0529

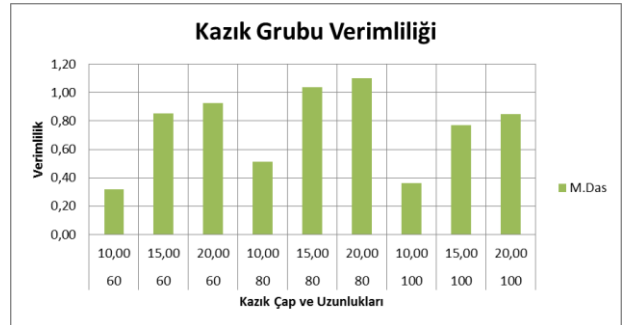
Şekil 14’de verilen oturmalar grafiğinde; SAP2000, Plaxis 3d Foundation ve elle yapılan hesaplamalarda kazık grubu ortasında oluşan oturmalar karşılaştırılmıştır.



**Şekil 15.** Tek Kazığın Oturması

Grafikten de okunabileceği gibi, oturma miktarı kazık çapı ile ters orantılı olarak artmakta, 80 ve 100 cm çapındaki kazıklarda ise kazık derinliğiyle orantılı olarak biraz azalmaktadır. Bu sonuç kazık sayısının artması ile tek kazığa düşen düşey yükün azalması neticesi olarak değerlendirilebilir.

Şekil 14’deki kazık gruplarının oturması ile Şekil 15’de verilen tek kazığın oturması arasındaki farkın nedeni, kazık grubundaki kazıkların blok olarak davranışı olarak yorumlanabilir.



**Şekil 16.** Kazık Grubu Verimliliği

Kazık grubu verimliliği grafiği, excel ile yapılan hesaplamalardan oluşturulmuştur. Grafikten kazık sayısının artması ile verimliliğin düştüğü görülmektedir.



**Şekil 17.** Verimlilik ve Oturma Karşılaştırılması

**Çizelge 3.** Kazık Hesaplarının Toplu Sonuçları

Çap (cm)	Derinlik (m)	Kazık Sayısı	Seçilen Kazık	Q <sub>p</sub> (kN)	Q <sub>s</sub> (kN)	Q <sub>All</sub> (kN)	FS	Q <sub>All</sub> / FS (kN)	Verimlilik		Oturmalar (m)		
									M.Das	Sap2000	Plaxis	Tek Kazık Oturma	Grup Oturma
60	10,00	40	42	2593,54	391,41	2984,95	3	994,98	0,32	0,0587	0,0838	0,0251	0,0963
60	15,00	23	20	4532,85	826,87	5359,72	3	1786,57	0,85	0,0594	0,0701	0,0257	0,0982
60	20,00	18	16	5605,32	1277,96	6883,28	3	2294,43	0,93	0,0522	0,0537	0,0267	0,1020
80	10,00	26	24	4022,36	533,68	4556,04	3	1518,68	0,51	0,0597	0,0852	0,0343	0,1112
80	15,00	15	15	7175,06	1258,70	8433,76	3	2811,25	1,04	0,0625	0,0697	0,0341	0,1106
80	20,00	13	12	7939,38	1804,94	9744,32	3	3248,11	1,10	0,0596	0,0536	0,0340	0,1102
100	10,00	19	20	5719,00	673,67	6392,67	3	2130,89	0,36	0,0618	0,0901	0,0439	0,1241
100	15,00	12	12	8667,79	1699,28	10367,06	3	3455,69	0,77	0,0638	0,0678	0,0431	0,1219
100	20,00	10	9	10363,53	2538,92	12902,45	3	4300,82	0,85	0,0622	0,0571	0,0423	0,1196

Şekil 17’de excelde yapılan hesaplamalarda bulunan her kazık grubundaki tek kazığın oturması ile DAS eşitliğine göre kazık gruplarının oturması karşılaştırılmıştır. Bu grafiğe göre en yüksek verimlilik 80 cm çap ve 20 m derinlikte, en düşük verimlilik ise 60 cm çap ve 10 m’lik kazık grubundadır.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Kazık uzunluğunun sabit tutularak, çap değişimi ile homojen bir hesap yapılmaya çalışılması da yine homojen bir sonuç vermeyebilir. Bu çalışmada sabit uzunlukta büyük çaplarda, kazıklardaki oturma artarken; küçük çaplarda, fazla kazık nedeniyle kazık grubundaki verimlilik düşmektedir.

Kazık oturmalarının kıyaslanmasında, her ne kadar 10 m ve 15 m’ye göre büyük avantajlar sağladığı söylenemese de, tüm hesap yöntemlerinde 20 m derinliğindeki kazıklarda oturmanın daha az olduğu söylenebilir.

Kazık grup davranışında, en verimli sonuçlar 80 cm çap ile 15 m ve 20 m derinliğindeki kazık gruplarında görülmektedir. Kazık grubunun en verimli olduğu

durum ise 80 cm çap ile 20 m derinliktir. Her türlü durumda da 10 m derinliğindeki kazık gruplarının, kazık grubundaki kazık sayısının çokluğundan dolayı verimi düşürdüğü görülmektedir.

Oturmalar ve kazık verimliliğinin önemli parametre olarak kabul edildiği durumda en verimli olan seçenek 80 cm çap 15 m derinlik seçilebilir. Dolayısıyla emniyet faktörü göz önüne alındığında, bu çalışmaya göre verimliliği en uygun olan kazık grubu; 80 cm çap ve 15 m derinliktir.

Sonuçlar bir bütün olarak değerlendirildiğinde ise; kazık sayısındaki artışın kazık grubundaki verimliliği düşürdüğü, kazık çapının büyük seçilmesinin yine kazıklar arası mesafenin azalmasından dolayı verimi düşürdüğü, kazık oturmalarında kazık ucunun oturduğu zeminin oturmayı etkilediği söylenebilir. Kazıklı temel hesaplamalarında mühendisler genellikle oturma hesabı yapmamaktadırlar, temelin taşıma kapasitesinin teyidi için sahada kazık yükleme deneyi yapılmaktadır. Ancak oturmalarda kazıkların blok davranışının olduğu dikkate alınmalıdır.



Kazıklı temeller ile ilgili projelendirmelerde; her proje için bu tez çalışmasındaki gibi dokuz ayrı çalışma yapılamayacağından, kazık çapı ve sayısı dikkate alınırken öncelikle emniyetli sonuçlara önem verilmelidir.

### Teşekkür

Bu çalışma Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince kabul edilen 14.FEN.BİL.14 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

### 5. Kaynaklar

Akgüner, C. (2007). Elastic Analysis of Axial Load-Displacement Behaviour of Single Driven Piles, PhD Thesis, The University of Texas, Austin, 223.

Bayar, T. (2011). Kazıklı Temel Sistemlerinin Sonlu Elemanlarla Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, 96.

Birand, A. (2005). Kazık Tasarımında Yatak Modüllerinin Düzeltilecek Kullanılması, *İMO Teknik Dergi*, **232**: 3487-3496.

Carlberg, C. (2011). Statistical Analysis, Microsoft® Excel 2010, Indianapolis, Indiana, USA, April 2011.

Çalışkan, Ö. (2003). Kazıklı Temellerin Analitik Yöntemlerle Statik ve Betonarme Çözümleri, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 224.

Das, M.B. (2007). Principles of Foundation Engineering, Global Engineering Publishing Company, Seventh Edition Stamford USA.

Erdemir, N.S. (2010). Sismik Yükler Altında Kazıkların Grup Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 123.

Fleming, W.G.K. (1992). A new method for single pile settlement prediction and analysis, *Géotechnique*, **42**: 411-425.

Gök, S. (2007) Kazıklı Radye Temellerin Tasarımı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 101.

Gök, S. ve Toğrol, E. (2009) Basitleştirilmiş kazıklı radye hesabı, *itüdergisi/d mühendislik*, **8**: 149-156.

Gürkan Yazıcı, A. (2013). Kazıklar Arası Mesafenin Kazıklı Radye Temel Sisteminde Etkisinin İki ve Üç Boyutlu Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Niğde, 75.

Karaca, D. (2008). Kazıkların Yatay ve Düşey Yükler Altındaki Davranışı Kazıklı Temeller ve Örnek Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 137.

Karaca, Z. ve Kasımzade, A.A. ve Ak, M. (2007). Zemin fiziksel parametreleri ile zemin yatak katsayısı arasındaki bağlantı ve zemin yapı etkileşiminde uygulama, Kasım 2007, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.

Katzenbach, R. and Moorman, Chr. (2001). Recommendations for the design and construction of pile rafts, Proceedings, 15th ICSMFE, Istanbul, Turkey, 2: 927-930.

Kın, A.S. ve Yasa, B. ve Ansal, A.M. (1991). Yatay Yükler Altındaki Kazıkların Hesabında Kullanılan Yatay Yatak Katsayılarının Belirlenmesi, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, İnşaat Mühendisliği Zemin Sempozyumu, Kasım 1991, İzmir.

Özmen, G. ve Orakdöğen, E. ve Darılmaz, K. (2012). Örneklerle Sap2000 v15, İstanbul.