

Standart penetrasyon ve presiyometre deneylerine göre yüzeysel temelerde taşıma gücü değerlerinin karşılaştırılması

Comparison of bearing capacity in shallow foundations according to standard penetration and pressuremeter tests

Zübeyde KANKAN*¹, Baran TOPRAK²

¹Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, Türkiye

²Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye

• Geliş tarihi / Received: 04.11.2024

• Kabul tarihi / Accepted: 17.01.2025

Öz

Yapıların temelleri, yapının ağırlığını ve diğer yükleri taşıyacak şekilde tasarlanmalıdır. Temel tasarımı için, zeminlerin taşıma gücü bilinmesi gerekir. Zeminlerin taşıma gücü: zeminlerin, üzerine etkiyen yüklerden dolayı oturma sınırları içerisinde kalarak kayma göçmesi olmadan zemine aktarabileceği maksimum gerilme olarak tanımlanır. Zeminlerin taşıma gücü, yapıların güvenli bir şekilde inşa edilmesi için kritik bir öneme sahiptir. Standart Penetrasyon Testi (SPT) ve Presiyometre Testi (PMT), zeminlerin taşıma gücünü belirlemek için kullanılan saha deneyleridir. Her iki yöntem de benzer amaçlara hizmet ederken, uygulama şekilleri ve sağladıkları veriler açısından farklılıklar göstermektedir. Bu iki test, zemin mühendisliğinde önemli bilgiler sunmakla birlikte, doğru yorumlama ve kullanım açısından dikkat edilmesi gereken önemli detaylar içermektedir. Bu araştırma makalesi, yüzeysel temellerin taşıma kapasitesini belirlemek için Standart Penetrasyon Testi (SPT) ve Presiyometre Testi (PMT) yöntemlerinin etkinliğini karşılaştırmaktadır. GEO5 Geoteknik Tasarım Programı kullanılarak, farklı zemin koşullarında ve aynı yük altında yapılan SPT ve PMT deney verileri analiz edilmiştir. Analizler, PMT yönteminin SPT'ye göre anlamlı derecede daha yüksek taşıma kapasitesi değerleri verdiğini göstermiştir. Sonuç olarak, daha güvenilir bir temel tasarımı için SPT ve PMT verilerinin birlikte değerlendirilmesi önerilmektedir. Çalışma, Halkalı-Kapıkule Demiryolu Hattı projesinden alınan verilerle desteklenmiştir.

Anahtar kelimeler: GEO5, Presiyometre, Standart penetrasyon, Taşıma gücü, Yüzeysel temel

Abstract

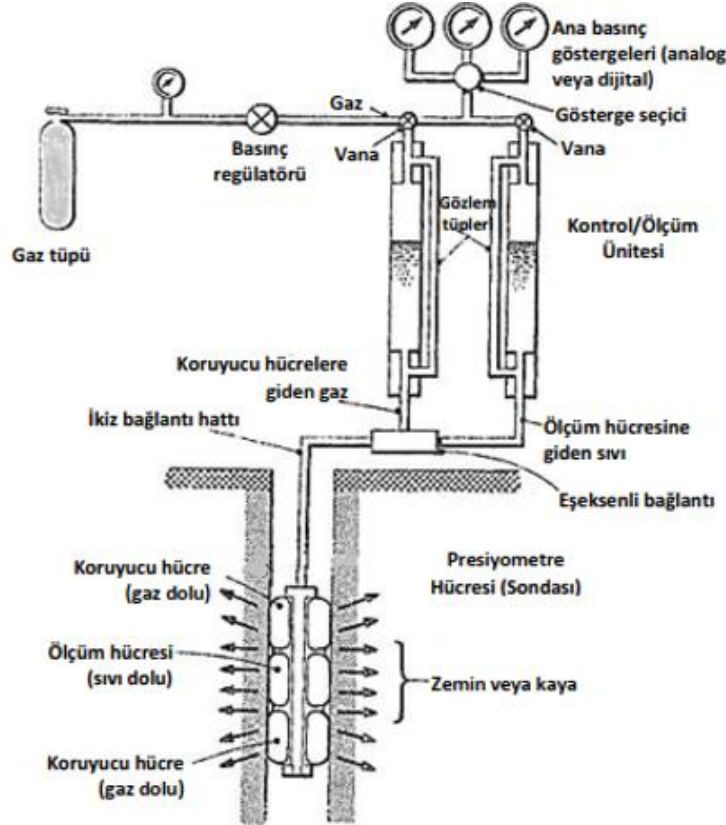
Foundations of structures must be designed to support the weight of the structure and other loads. For foundation design, the bearing capacity of the soils must be known. Bearing capacity of soils: It is defined as the maximum stress that the soils can transfer to the soil without shear failure while remaining within the settlement limits due to the loads acting on it. The bearing capacity of soils is of critical importance for the safe construction of structures. Standard Penetration Test (SPT) and Pressuremeter Test (PMT) are field tests used to determine the bearing capacity of soils. While both methods serve similar purposes, they differ in terms of their application and the data they provide. While these two tests provide important information in soil engineering, they also contain important details that must be taken into consideration for correct interpretation and use. This research paper compares the effectiveness of Standard Penetration Test (SPT) and Pressuremeter Test (PMT) methods for determining the bearing capacity of shallow foundations. Using GEO5 Geotechnical Design Program, SPT and PMT test data performed under different ground conditions and the same load were analyzed. Analyzes showed that the PMT method gave significantly higher carrying capacity values than SPT. As a result, it is recommended to evaluate SPT and PMT data together for a more reliable foundation design. The study was supported by data from the Halkalı-Kapıkule Railway Line project.

Keywords: Bearing capacity, GEO5, Pressuremeter, Standard penetration, Shallow foundations

*Zübeyde KANKAN; zubeydesayar@gmail.com

Presiyometre testi (PMT), bir sondaj kuyusuna düşey olarak yerleştirilen bir sondanın, esnek bir membran aracılığıyla kuyu çeperine eşit şekilde dağıtılan radyal bir basınç uygulamasına dayanan bir yöntemdir. Bu hücre, bir tüp veya kablo aracılığıyla zemin yüzeyindeki ölçüm birimine bağlanarak, uygulanan basınç ve kuyu çeperinde meydana gelen deformasyonların ölçülmesiyle yapılan bir saha deneyidir. Zemine uygulanan gerilmeler ve deformasyonlar aynı anda ölçülebilmektedir, bu özellik presiyometre teknolojisini avantajlı kılar (Yıldız & Yıldırım, 2009).

Menard presiyometre cihazı, kontrol ünitesi, sonda, iletim hortumları ve basınç tüpü olarak başlıca dört ana bölümden oluşmaktadır. Menard Tipi (Kuyu) Presiyometre (MPM), Kendinden Delgili Presiyometre (SBP), Zemine İtilen (Sürmeli) Presiyometre (PIP) olarak uygulamada üç farklı presiyometre tipi kullanılmaktadır (Yıldırım, 2022). Menard tipi presiyometre (MPM) ekipmanlarının görseli Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Standart presiyometre (MPM) cihazı ekipmanları (Mair & Wood, 1987).

Figure 2. Pressure meter equipment (Mair & Wood, 1987).

Genel olarak presiyometre düzenekleri 2.5 MPa ila 10 MPa basınç kapasiteli olarak üretilmektedir. Bu değerler sert zeminler ve zayıf kayalarda 10 MPa ila 20 MPa aralığında yer almaktadır. İdeal olarak limit basınç değerine 15 ila 20 basınç kademesinde ulaşılması önerilmektedir. Basınç kademeleri maksimum yumuşak killerde 15 kPa, sert killerde 50 kPa ve zayıf kayalarda 100 kPa olarak uygulanmaktadır. Her basınç kademesi 1 veya 2 dakika sabit tutularak ve 15'inci, 30'uncu, 60'ıncı ve 120'nci saniyelerde hacim değişimleri kaydedilir. Deneyde kontrol ünitesinde okunan basınç ve hacim değerleri gerçekte zemine uygulanan basınç ve hacim genişlemesi değerleri değildir. Deney sonuçlarını doğru bir şekilde yorumlamak için hacim ve basınç düzeltmeleri yapılmalıdır (Clarke, 1995).

PMT deneyinde, zemine uygulanan basınç, SPT deneyinde uygulanan darbe sayısına göre daha hassas bir şekilde kontrol edilebilir (Yıldırım, 2009; Koçak, 2017).

Temel tasarımında zemin taşıma gücünün doğru ve güvenilir bir şekilde belirlenebilmesi için zemin özelliklerinin derinlemesine incelenmesi gerekmektedir. Zemin özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan saha deneyleri ve laboratuvar deneyleriyle taşıma gücü kapasitesi belirlenmesine yönelik bugüne kadar birçok araştırma yapılırken SPT ve PMT deneyi taşıma gücü kapasitesi karşılaştırmasının yapıldığı bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada, Standart Penetrasyon Testi (SPT) ve Presiyometre Testi (PMT) gibi saha

deneylerinin, zemin taşıma gücünün belirlenmesindeki etkinliğini karşılaştırarak, hangi yöntemlerin yüzeysel temel tasarımında daha uygun olduğunu belirlemeye yönelik bilgi sunmayı amaçlamaktadır.

2. Materyal ve metot

2. Material and method

Bu çalışmada 2020 yılında yapımına başlanan ve yapımı hâlâ devam eden Halkalı-Kapıkule Demiryolu Hattı projesi Çerkezköy-Kapıkule Kesiminde Km: 208+800' de yapılan SPT ve PMT deney verilerinden yararlanılmıştır. Geo5 Geoteknik Programı kullanılarak yüzeysel temel taşıma gücü, boyutlandırma ve zımbalama tahkik analizleri yapılmıştır. Temele gelen yük, temel derinliği ve temel boyutları sabit tutularak farklı zemin türlerinde yüzeysel temel taşıma gücü analizleri yapılmıştır.

SPT ve PMT verileri, Geo5 Geoteknik Tasarım Programı'nın Yüzeysel Temel SPT-CPT-PMT modülüne aktarılmıştır. Programda kullanılan yüzeysel temel taşıma gücü hesap metodolojisi olarak SPT deneylerinde Meyehof hesap yöntemi kullanılmıştır. PMT deneylerindeyse "NF P94-261 Fransız satandardı olarak tanımlanan hesap yöntemi Menard yüzeysel taşıma gücü yöntemi kullanılmıştır.

SPT deneyi ile Meyerhof yüzeysel temel taşıma gücü yöntemi

Meyerhof (1951, 1963), tarafından geliştirilen yüzeysel temellerde zeminin nihai taşıma gücü bağıntısına, temel şekil ve derinlik faktörlerinin eklemiş olduğu formülü Denklem 1'de, yükün eğimli olması durumunda geliştirdiği formül Denklem 2' de, taşıma gücü faktörlerinin fomülü Denklem 3, Denklem 4 ve Denklem 5'te verilmiştir. Temel şekil, derinlik ve eğim faktörleri hesaplamaları Şekil 3'te vertilmiştir (Bowles, 1996; Dağlı, 2013).

$$q_n = c * N_c * s_c * d_c + q * N_q * s_q * d_q + \frac{1}{2} * \gamma * B' * N_\gamma * s_\gamma * d_\gamma \quad (1)$$

$$q_n = c * N_c * s_c * d_c + q * N_q * s_q * d_q + \frac{1}{2} * \gamma * B' * N_\gamma * s_\gamma * d_\gamma \quad (2)$$

$$N_c = (N_q - 1) * \cot\Phi \quad (3)$$

$$N_q = e^{(\pi * \tan\Phi)} * \tan^2 * (45 + \frac{\Phi}{2}) \quad (4)$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) * \tan(1.4\Phi) \quad (5)$$

$$K_p = \tan^2(45 + \frac{\Phi}{2}) \quad (6)$$

Faktörler	Formüller	
Şekiller:	$s_c = 1 + 0.2K_p \frac{B}{L}$	tüm Φ 'ler için
	$s_q = s_y 1 + 0.1K_p \frac{B}{L}$	$\Phi > 10^\circ$
	$s_q = s_y = 1$	$\Phi = 0$
Derinlik:	$d_c = 1 + 0.2\sqrt{K_p \frac{D}{B}}$	tüm Φ 'ler için
	$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1\sqrt{K_p \frac{D}{B}}$	$\Phi > 10^\circ$
	$d_c = d_q = 1$	$\Phi = 0$
Eğim:	$i_c = i_q = (1 - \frac{\theta}{90^\circ})^2$	tüm Φ 'ler için
	$i_y = (1 - \frac{\theta}{\Phi})^2$	$\Phi > 0$
	$i_y = 0$ $\underline{\theta > 0}$	$\Phi = 0$

Şekil 3. Meyerhof s_i , d_i , i_i faktörleri hesaplamaları (Bowles, 1996).

Figure 3. Meyerhof s_i , d_i , i_i factors calculations (Bowles, 1996).

Kullanılan sembollerin açıklamaları aşağıda verilmiştir.

q_n : Zeminin nihai taşıma gücü

c : Temel altındaki zemin efektif kohezyonu

Φ : Zeminin içsel sürtünme açısı,

q : Temel derinliğindeki efektif düşey gerilme

L : Temelin uzun kenar boyutu

B : Temel genişliği

D : Temel derinliği

γ : Zemin birim hacim ağırlığı

N_c, N_q ve N_γ : Taşıma gücü faktörleri

d_c, d_q ve d_γ : Derinlik faktörleri

s_c, s_q ve s_γ : Temel şekil faktörleri

i_c, i_q ve i_γ : Yük eğim faktörleri

θ : Bileşke yük R 'nin düşeyle yaptığı açı. Bu açı değeri, 0 olduğunda Meyerhof formülünde kullanılan tüm yük eğim faktörleri 1 değerini almaktadır

K_p : Pasif toprak basıncı katsayısı formülü Denklem 6'da verilmiştir.

PMT deneyi ile Menard yüzeysel temel taşıma gücü yöntemi

Menard (1963) tarafından geliştirilen yüzeysel temelerde zeminin nihai taşıma gücü bağıntısı Denklem 7, Denklem 8 ve Denklem 9'da verilmiştir (Clarke, 1995).

$$q_{ult} = (k_p * P_{LNe}) + \sigma_{vo} \quad (7)$$

$$q_{LNe} = \sqrt[n]{P_{LN1} * P_{LN2} * \dots * P_{LNn}} \quad (8)$$

$$q_{LNe} = \frac{1}{P_{LNe}} + \sum_0^{Df} (P_{LNi} * \Delta_{zi}) \quad (9)$$

Kullanılan sembollerin açıklamaları aşağıda verilmiştir.

k_p : Taşıma gücü faktörü Şekil 4'te verilen grafikten belirlenmektedir,

P_{LNe} : Eşdeğer net limit basınç,

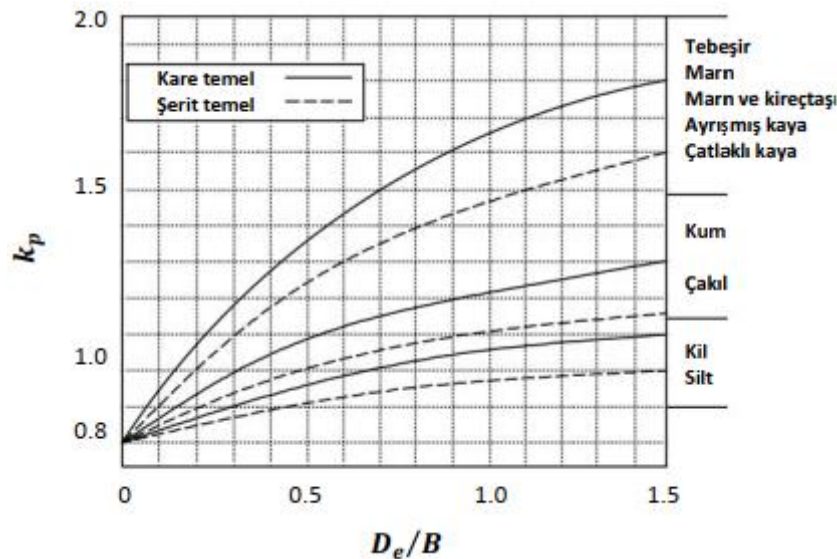
P_{LNi} : Temel tabanından $1.5B$ derinlikteki net limit basınç değerleri,

B : Temel genişliği,

D_e : Eşdeğer temel derinliği,

D_f : Temel derinliği,

Δ_{zi} = Temel derinliğinde yer alan farklı P_{LNi} değerlerine sahip katman kalınlıkları,



Şekil 4. Yüzeysel temeller için taşıma gücü faktörü (Clarke,1995).

Figure 4. Bearing capacity factor for shallow foundations (Clarke,1995).

2.1. SPT verileri ile GEO5 programında yüzeysel temel tasarımı

2.1. Shallow foundation design in GEO5 program with SPT data

Temelin oturacağı zeminin profilini oluşturmak için SPT verileri GEO5 programına aktarılmıştır. Sondaj logundaki her bir veri, darbe sayısı (N), yeraltı suyu seviyesi (YASS), sondaj kotu, zemin katmanları ve zemin sınıfları (UCSC) bilgileri tablo haline getirilerek programa aktarılmıştır.

SK208+800A verisi Tablo 1’de, SK208+800C verisi Tablo 2’de, SK208+800E verisi Tablo 3’te, SK208+800H verisi Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 1. SK-208+800A Sondajı zemin verileri

Table 1. SK-208+800A Borehole ground data

SPT No	Derinlik d (m)	N1	N2	N3	N30	Katman Derinlik (m)	Katman Tanım	UCS C
1	1.50	3	5	6	11	0.00-3.50	Kumlu KİL	CL
2	3.50	5	6	8	14			
3	4.50	5	7	7	14	3.50.-5.50	Killi kum	SC
4	6.50	10	8	7	15	5.50-10.20	Kumlu KİL	CL
5	7.50	11	12	14	26			
6	9.50	12	15	16	31			
7	10.50	11	14	18	32			
8	12.50	24	25	35	60	10.20-20.50	Çakıllı KUM	SP
9	13.50	22	27	37	64			
10	15.00	20	23	42	65			
11	16.50	21	33	38	71			
12	18.00	23	36	39	75			
13	19.50	20	38	41	79			
14	21.00	22	26	34	60	20.50-28.00	Siltli KİL	CL
15	22.50	24	28	37	65			
16	24.00	20	39	45	84			
17	25.50	20	40	47	87			
18	27.00	24	42	45	87			
19	28.50	40	50	50	100	28.00-30.50	Killi KUM	SC
20	30.00	36	50	50	100			

SK-208+800A sondaj kuyusunda yapılan ölçümlerde sondaj kotu 39.03 m olup, yeraltı su seviyesi (YASS) 8.00 m derinlikte tespit edilmiştir.

Tablo 2. SK-208+800C Sondajı zemin verileri

Table 2. SK-208+800C Borehole ground data

SPT No	Derinlik d (m)	N1	N2	N3	N30	Katman Derinlik (m)	Katman Tanım	UCSC
1	1.50	4	7	7	14	0.00-7.60	Siltli KİL	CL
2	3.50	3	5	5	10			
3	4.50	4	5	6	11			
4	6.50	8	7	8	15			
5	7.50	5	6	8	14	7.60-19.60	Çakıllı KUM	SM-GM
6	9.50	13	15	25	40			
7	10.50	22	36	32	68			
8	12.50	38	35	40	75			
9	13.50	3	50	50	100			
10	15.00	40	31	31	62			
11	16.50	37	50	50	100			
12	18.00	40	50	50	100			
13	19.50	17	32	40	72			

14	21.00	25	31	38	69	19.60-28.60	Kumlu KİL	CL
15	22.50	29	34	41	75			
16	24.00	28	38	62	100			
17	25.50	19	24	25	49			
18	27.00	10	18	27	45			
19	28.50	38	50	50	100	28.60-34.95	Siltli KUM	SM
20	30.00	15	46	54	100			
21	31.50	38	12	88	100			
22	33.00	25	38	62	100			
23	34.5	19	30	70	100			

SK-208+800C sondaj kuyusunda yapılan ölçümlerde sondaj kotu 38.99 m olup, yeraltı su seviyesi (YASS) 8.25 m derinlikte tespit edilmiştir.

Tablo 3. SK-208+800E Sondajı zemin verileri

Table 3. SK-208+800E Borehole ground data

SPT No	Derinlik d (m)	N1	N2	N3	N30	Katman Derinlik (m)	Katman Tanım	UCSC
1	1.50	12	19	18	37	0.00-9.50	Siltli KİL	CL
2	3.50	4	8	11	19			
3	4.50	5	7	10	17			
4	6.50	12	14	10	24			
5	7.50	4	6	7	13			
6	9.50	3	3	4	7	9.50-19.70	Çakıllı Siltli KUM	SC
7	10.50	8	13	20	33			
8	12.00	12	20	21	41			
9	13.50	15	27	22	49			
10	15.00	14	21	31	52			
11	16.50	16	26	29	55			
12	18.00	22	29	71	100			
13	19.50	13	50	50	100			
14	21.00	27	41	59	100	19.70-27.50	Kumlu KİL	CL
15	22.50	34	12	88	100			
16	24.00	11	50	50	100			
17	25.50	21	36	64	100			
18	27.00	20	30	70	100			

SK-208+800E sondaj kuyusunda yapılan ölçümlerde sondaj kotu 39.50 m olup, yeraltı su seviyesi (YASS) 8.60 m derinlikte tespit edilmiştir.

Tablo 4. SK-208+800H Sondajı zemin verileri

Table 4. SK-208+800H Borehole ground data

SPT No	Derinlik d (m)	N1	N2	N3	N30	Katman Derinlik (m)	Katman Tanım	UCSC
1	1.50	5	6	7	13	0.00-10.00	Kumlu KİL	CL
2	3.50	5	8	12	20			
3	4.50	5	5	10	15			
4	6.50	7	10	14	24			
5	7.50	9	12	16	28			
6	9.50	5	5	10	15			
7	10.50	10	15	18	33	10.00-22.00	Çakıllı KUM	SP
8	12.00	14	20	26	46			
9	13.50	20	24	32	56			
10	15.00	20	50	50	100			
11	16.50	8	11	16	27			
12	18.00	18	20	24	44			

13	19.50	20	26	34	60			
14	21.00	30	40	60	100			
15	22.50	13	50	50	100	22.00-30.45	Siltli KİL	CL
16	24.00	24	26	38	64			
17	25.50	26	28	42	70			
18	27.00	24	40	45	85			
19	28.50	26	44	48	92			
20	30.00	24	41	45	86			

SK-208+800H sondaj kuyusunda yapılan ölçümlerde sondaj kotu 40.04 m olup, yeraltı su seviyesi (YASS) 8.80 m derinlikte tespit edilmiştir.

Verileri programa aktarırken, ayarlar sekmesindeki SPT deneyine dayalı analiz bölümünde yalnızca analiz türü olarak sadece “Meyerhof” yönteminin (programın taşıma gücü yaklaşımı olarak yalnızca Meyerhof yöntemini sunması) tercih edilebilmesi, süreci sınırlayan faktörlerden biridir. Yatay yönde taşıma kapasitesi için de “Drenajlı Durum” seçilmiştir. Bu veriler Şekil 5’te verilmiştir.

Deneylere dayalı analiz : SPT

Yatay yönde taşıma kapasitesi : Drenajlı koşullar için analiz

Oturmaya hesapla

Şekil 5. Analiz için kullanılan yöntemlerin tayini
Figure 5. Determining the methods used for analysis

Temel geometrisi Şekil 6’da gösterildiği gibi, temel tipi olarak “merkezi yüzeysel temel”, temel boyutları 3,00 m x 3,00 m kare, temelin kalınlığı 1,50 m, kolon ebatları 0,50 m x 0,50 m olarak seçilmiştir.

Temel türü : merkezi yüzeysel temel

Boyutlar : Orjinal yer yüzeyinden derin. : $h_z = 2.50$ [m]

Temel altı derinliği : $d = 1.00$ [m]

Temel kalınlığı : $t = 1.50$ [m]

Bitirilmiş eğim değeri : $s_1 = 0.00$ [°]

Temel altı eğim değeri : $s_2 = 0.00$ [°]

Örtü tabakası : birim ağırlık girdisi

Örtü tabakasının birim ağırlığı : $\gamma_1 = 18.50$ [kN/m³]

Temel tipi : merkezi yüzeysel temel

Esas boyutlar : Toplam boyut : $x = 3.000$ [m]

Toplam boyut : $y = 3.000$ [m]

Kolonun şekli : diktörgen

Kolon boyutları : $c_x = 0.50$ [m]

Kolon boyutu : $c_y = 0.50$ [m]

Yüz. temel dönmesi : $\alpha = 0.00$ [°]

İnşaat boyutları

Şekil 6. Analiz için kullanılan yöntemlerin tayini
Figure 6. Determination of methods used for analysis

Yapılan tasarımdaki temel malzemesi Şekil 7’de ve temele gelen yük Şekil 8’de gösterilmektedir.

Yapının birim ağırlığı : $\gamma =$ [kN/m³]

Beton		Boyuna donatı		Enine donatı	
Katalog	Kıtanımlı	Katalog	Kıtanımlı	Katalog	Kıtanımlı
C 25/30		B500B		B500B	
$f_{ck} = 25.00$ MPa		$f_{yk} = 500.00$ MPa		$f_{yk} = 500.00$ MPa	
$f_{ctm} = 2.60$ MPa					

Şekil 7. Temel malzeme özellikleri tayini

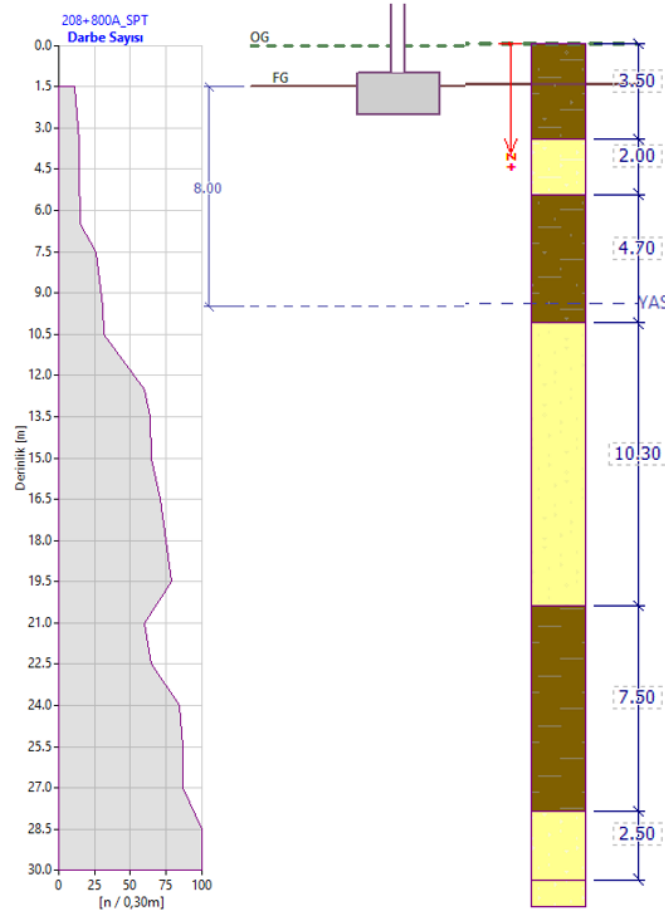
Figure 7. Determination of foundation material properties

Sayı	Yük		Ad	N [kN]
	yeni	düzenle		
1	Evet		Yük no. 1	300.00

Şekil 8. Temele etkiyen yük tayini

Figure 8. Load determination on the foundation


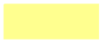



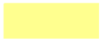
Sonrasında, değerler tablodan alınarak SPT bölümüne aktarılmıştır. Programa girilen veriler Şekil 9'da gösterilmiştir.







Şekil 9. SPT verilerinin girilmesi

Figure 9. Entering SPT data




Zemin modelinin oluşturulmasında, zeminin plastisitesi, kıvamı ve tane büyüklüğü dağılımı (derecelenme) gibi önemli parametreler incelenerek, daha gerçekçi bir model elde edilmiştir. SK-208+800A Şekil 10'da, SK-208+800C Şekil 11'de, SK-208+800C Şekil 12'de ve SK-208+800H Şekil 13'te sondajların zemin parametreleri verilmiştir.

Sayı	Ad	Desen	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]	γ_{su} [kN/m ³]	δ [°]
1	Kumlu kil (CS), yumuşak kıvam		24.50	14.00	18.50	9.50	
2	Killi kum (SC)		27.00	8.00	18.50	9.00	
3	Kumlu kil (CS), katı kıvam, $S_r > 0.8$		24.50	18.00	18.50	9.50	
4	Kötü derecelenmiş kum (SP), orta sıkı		33.50	0.00	18.50	9.00	
5	Düşük veya orta plastisiteli Kil (CL, CI), çok katı kıvam, $S_r > 0.8$		19.00	24.00	18.50	9.50	
6	İyi derecelenmiş kum (SW), sıkı		39.50	0.00	18.50	9.00	




Şekil 10. SK-208+800A Sondajı zemin parametreleri
Figure 10. SK-208+800A Borehole ground parameters

Sayı	Ad	Desen	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]	γ_{su} [kN/m ³]	δ [°]
1	Düşük veya orta plastisiteli Kil (CL, CI), yumuşak kıvam		19.00	12.00	18.50	9.50	
2	Siltli çakıl (GM)		32.50	4.00	18.50	9.00	
3	Kumlu kil (CS), çok katı kıvam, $S_r > 0.8$		24.50	26.00	18.50	9.50	
4	Siltli kum (SM)		29.00	5.00	18.50	9.00	

Şekil 11. SK-208+800C Sondajı zemin parametreleri
Figure 11. SK-208+800C Borehole ground parameters

Sayı	Ad	Desen	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]	γ_{su} [kN/m ³]	δ [°]
1	Düşük veya orta plastisiteli Kil (CL, CI), sert kıvam		19.00	12.00	18.50	9.50	
2	Killi kum (SC)		27.00	8.00	18.50	9.00	
3	Kumlu kil (CS), çok katı kıvam, $S_r > 0.8$		24.50	26.00	18.50	9.50	

Şekil 12. SK-208+800E Sondajı zemin parametreleri
Figure 12. SK-208+800E Borehole ground parameters

Sayı	Ad	Desen	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]	γ_{su} [kN/m ³]	δ [°]
1	Kumlu kil (CS), yumuşak kıvam		24.50	14.00	18.50	9.50	
2	Kötü derecelenmiş kum (SP), sıkı		35.50	0.00	18.50	9.00	
3	Düşük veya orta plastisiteli Kil (CL, CI), çok katı kıvam, $S_r > 0.8$		19.00	24.00	18.50	9.50	

Şekil 13. SK-208+800H Sondajı zemin parametreleri
Figure 13. SK-208+800H Borehole ground parameters

Tasarımda temel boyutları, temel malzemesi ve temele gelen yük sabit tutularak 4 farklı sondaj için SPT verileri girilerek analizler yapılmıştır.

2.2. PMT Verileri ile GEO5 programında yüzeysel temel tasarımı

2.2. Shallow foundation design in GEO5 program with PMT data

Temelin oturacağı zeminin profilini oluşturmak için PMT verileri GEO5 programına aktarılmıştır. PMT' de yer alan her bir veri, net limit basınç (PL_{NET}), ve elastisite modülü (E_P) yeraltı suyu seviyesi (YASS), kuyu kotu, değerlerini gösterecek şekilde tablo haline getirilerek programa aktarılmıştır.

YASS seviyeleri için presiyometre deneyi yapılırken tekrar ölçüm alınmıştır. YASS seviyeleri SPT deney verileriyle kıyaslandığında ihmal edilebilir seviyede, 0.10 m ve 0.40 m aralığında-farklılıklar tespit edilmiştir. SK208+800A verisi Tablo 5'te, SK208+800C verisi Tablo 6'da, SK208+800E verisi Tablo 7'de, SK208+800H verisi Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 5. SK-208+80A PMT verileri

Table 5. SK-208+800A PMT data

PMT No	PMT No	PL _{NET} kg/cm ²	E _P kg/cm ²	Katman Derinlik (m)	Katman Tanım	UCSC
1	0.00	7.42	50	0.00-3.50	Kumlu KİL	CL
2	5.00	7.42	50	3.50-5.50	Killi kum	SC
3	10.00	10.94	138	5.50-10.20	Kumlu KİL	CL
4	16.50	18	127	10.20-20.50	Çakıllı KUM	SP
5	21.50	18.98	187	20.50-28.00	Siltli KİL	CL
6	25.00	23	464			
7	30.00	21	197	28.00-30.50	Killi KUM	SC

SK-208+800A sondaj kuyusunda yapılan ölçümlerde, yeraltı su seviyesi (YASS) 8.40 m derinlikte tespit edilmiştir.

Tablo 6. SK-208+80C PMT verileri

Table 6. SK-208+800C PMT data

PMT No	Derinlik m	PL _{NET} kg/cm ²	E _P kg/cm ²	Katman Derinlik (m)	Katman Tanım	UCSC
1	0.00	7.12	82	0.00-7.60	Siltli KİL	CL
2	5.00	7.12	82			
3	10.00	3.07	47	7.60-19.60	Çakıllı KUM	SM-GM
4	16.00	1.26	16			
5	20.00	20.22	277	19.60-28.60	Kumlu KİL	CL
6	25.00	22.98	171			
7	30.00	23.13	408	28.60-34.95	Siltli KUM	SM
8	35.00	19.45	415			

SK-208+800C sondaj kuyusunda yapılan ölçümlerde, yeraltı su seviyesi (YASS) 8.25 m derinlikte tespit edilmiştir.

Tablo 7. SK-208+80E PMT verileri

Table 7. SK-208+800E PMT data

PMT No	Derinlik m	PL _{NET} kg/cm ²	E _P kg/cm ²	Katman Derinlik (m)	Katman Tanım	UCSC
1	0.00	9.8	116	0.00-9.50	Siltli KİL	CL
2	5.00	9.8	116			
3	10.00	0.48	5	9.50-19.70	Çakıllı Siltli KUM	SC
4	16.50	0.44	18			
5	20.00	22.01	338	19.70-27.50	Kumlu KİL	CL
6	25.00	22.8	316			

SK-208+800E sondaj kuyusunda yapılan ölçümlerde, yeraltı su seviyesi (YASS) 8.60 m derinlikte tespit edilmiştir.

Tablo 8. SK-208+80H PMT verileri**Table 8.** SK-208+800H PMT data

PMT No	Derinlik m	PL _{NET} kg/cm ²	E _p kg/cm ²	Katman Derinlik (m)	Katman Tanım	UCSC
1	0.00	12.2	80	0.00-10.00	Kumlu KİL	CL
2	5.00	12.2	80			
3	10.00	4.49	32	10.00-22.00	Çakıllı KUM	SP
4	16.50	2.72	12			
5	21.00	20.67	198			
6	27.50	18.05	179	22.00-30.45	Siltli KİL	CL

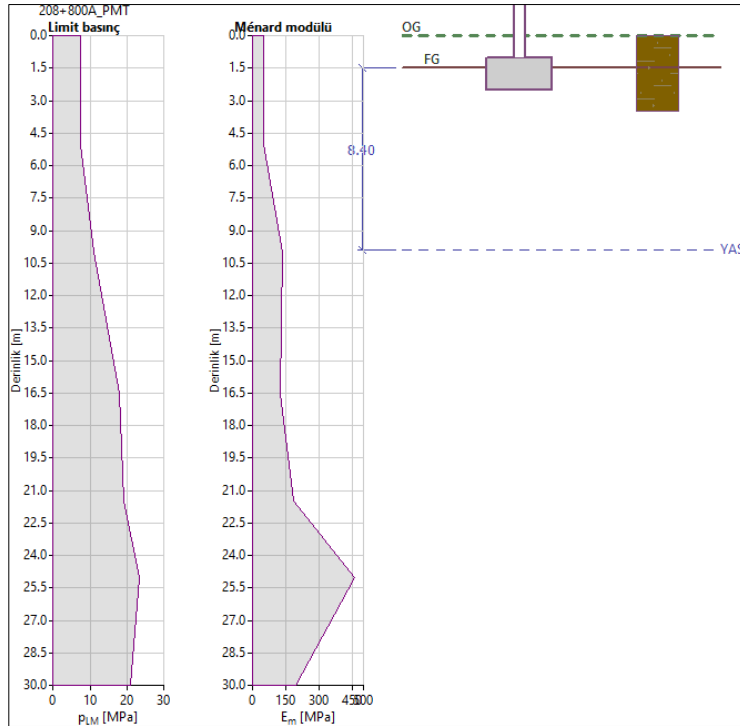
SK-208+800H sondaj kuyusunda yapılan ölçümlerde, yeraltı su seviyesi (YASS) 8.90 m derinlikte tespit edilmiştir.

Verileri programa aktarırken, ayarlar sekmesindeki PMT deneyine dayalı analiz bölümünde yalnızca analiz türü olarak sadece “NF P94-261” yönteminin (programın taşıma gücü yaklaşımı olarak yalnızca Fransız standardı yöntemini sunması) tercih edilebilmesi, süreci sınırlayan faktörlerden biridir. Yatay yönde taşıma kapasitesi için de “Drenajlı Durum” seçilmiştir. Bu veriler Şekil 14’te verilmiştir.

Şekil 14. PMT analizi için kullanılan yöntemlerin tayini**Figure 14.** PMT analizi için kullanılan yöntemlerin tayini

PMT tasarımı için zemin profili ve zemin parametreleri SPT verileri ile aynı alınmıştır. Temel boyutu, temel malzemesi ve temele gelen yük sabit tutulmuştur.

Sonrasında, değerler tablodan alınarak SPT bölümüne aktarılmıştır. Programa girilen veriler Şekil 15’te gösterilmiştir.

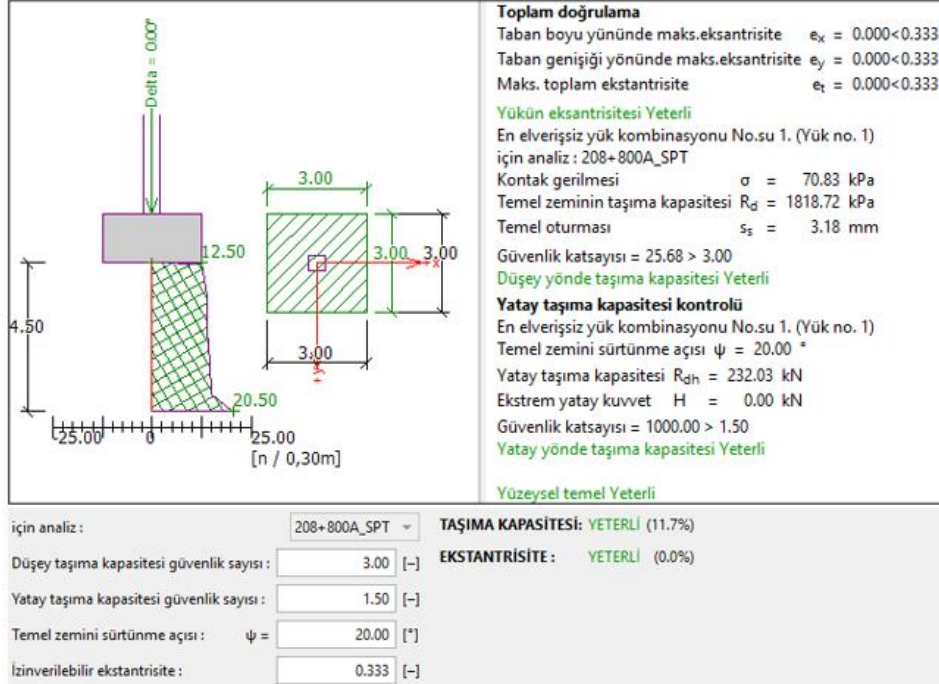
**Şekil 15.** PMT verilerinin girilmesi**Figure 15.** Entering PMT data

SPT analizi için yapılan adımlar tekrarlanarak 4 farklı kuyu için PMT verileri girilerek analizler yapılmıştır.

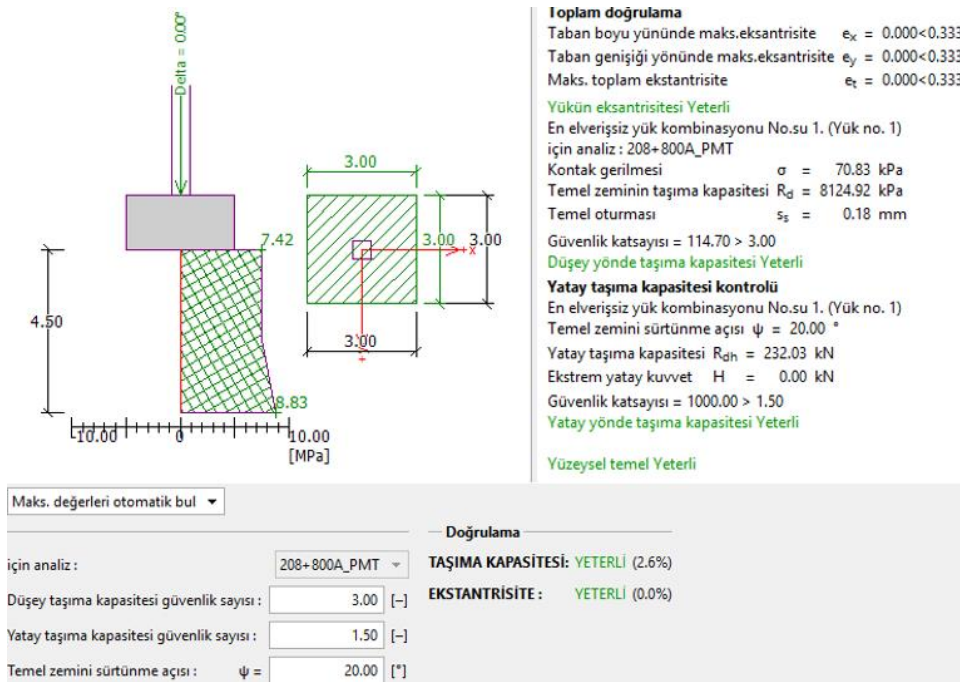
3. Bulgular

3. Results

SPT ve PMT verileri programa aktarıldan sonra analiz aşamasına geçilmiştir. Analizin sonunda, verilen analiz ekranında planlanan temel için zeminin taşıma kapasitesinin yeterli olup olmadığını göstermektedir. Taşıma kapasitesinin yeterli olduğunu gösteren sonuç elde edilene kadar temel tasarımın gerekli değişiklik yapılmıştır. SK-208+800A sondajında, SPT için Şekil 16'da, PMT için ise Şekil 17'de analiz ekranı görülmektedir. Belirlenen 3,00 m x 3,00 m temel boyutları ile yapılan analizlerin sonuçları incelendiğinde, temel boyutunun yeterli olduğu görülmüş ve boyutlarda değişiklik yapılmamıştır.

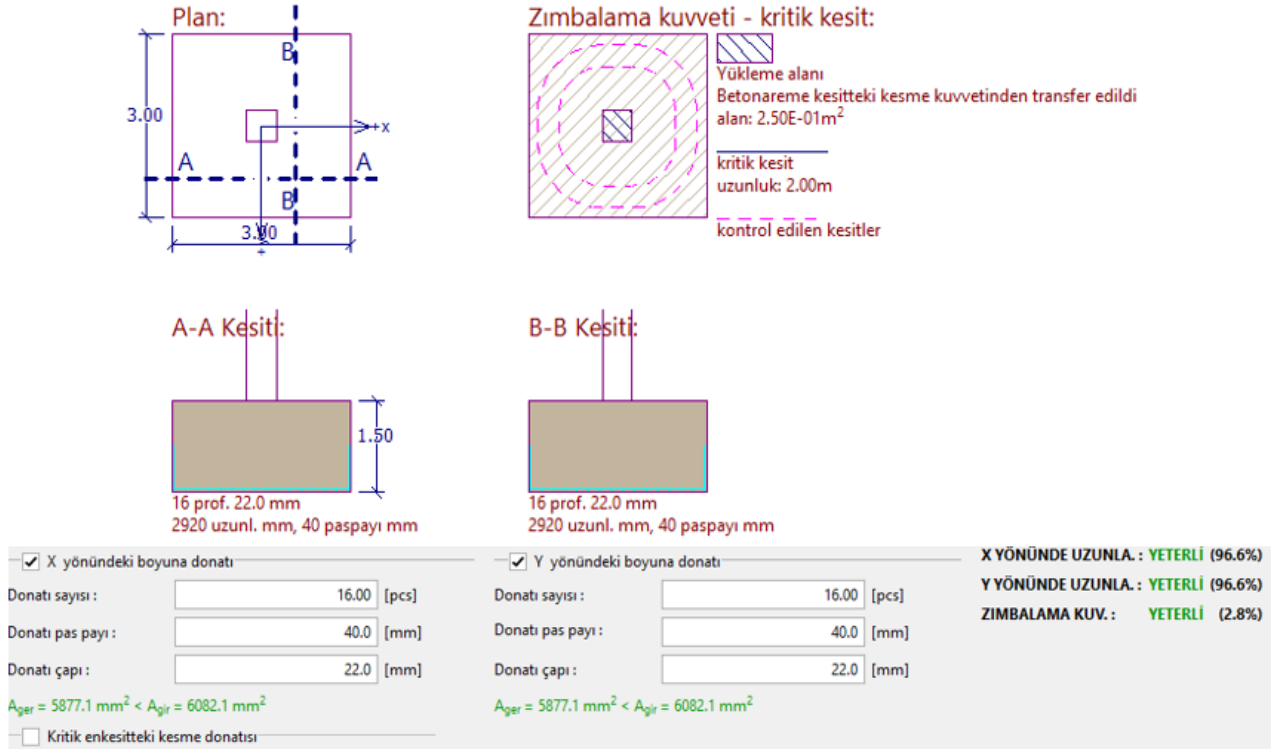


Şekil 16. SPT analiz sonuçları
Figure 16. SPT analysis results



Şekil 17. PMT analiz sonuçları
Figure 17. PMT analysis results

Boyutlandırma aşamasında, planlanan temele uygun donatı miktarı ve zımbalama tahkikleri yapılmıştır. Bu doğrultuda, X yönünde boyuna donatı 16 adet, 22 mm çapında; Y yönünde boyuna donatı ise 16 adet, 22 mm çapında olarak seçilmiştir. Yük ve temel boyutlarının sabit olması nedeniyle, bütün analizlerde donatı miktarı ve zımbalama kuvveti aynı kalmıştır. SK-208+800A sondajında, SPT ve PMT için Şekil 18’de, analiz ekranı görülmektedir.



Şekil 18. SPT ve PMT verilerine göre temel boyutları

Figure 18. Foundation dimensions according to SPT data

Dört adet sondaj kuyusunda SPT ve PMT deneylerinden faydalanılarak yukarıdaki adımlar izlenmiş ve sekiz adet analiz yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar tablo haline getirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları Tablo 9’da sunulmaktadır.

Tablo 9. SK-208+800A SPT ve PMT için analiz sonuçları

Table 9. Analysis results for SK-208+800A SPT and PMT

Sondaj No	Analiz Sonuçları	Kontak Gerilmesi σ (kPa)	Temel Zemini Taşıma Kapasitesi R_d (kPa)	Güvenlik Katsayısı $3 <$	Temel Tasarımında Yapılan Değişiklik
SK-208+800A	SPT	70.83	1818.72	25.67	Donatı sayısı ve çapı arttırıldı. X Yönünde Donatı: 16Ø22 Y Yönünde Donatı: 16Ø22
	PMT	70.83	8124.92	114.71	
SK-208+800C	SPT	70.83	1532.48	21.63	
	PMT	70.83	6241.01	88.11	
SK-208+800E	SPT	70.83	2600.67	36.71	
	PMT	70.83	8266.73	116.71	
SK-208+800H	SPT	70.83	2436.60	34.40	
	PMT	70.83	10629.96	150.07	

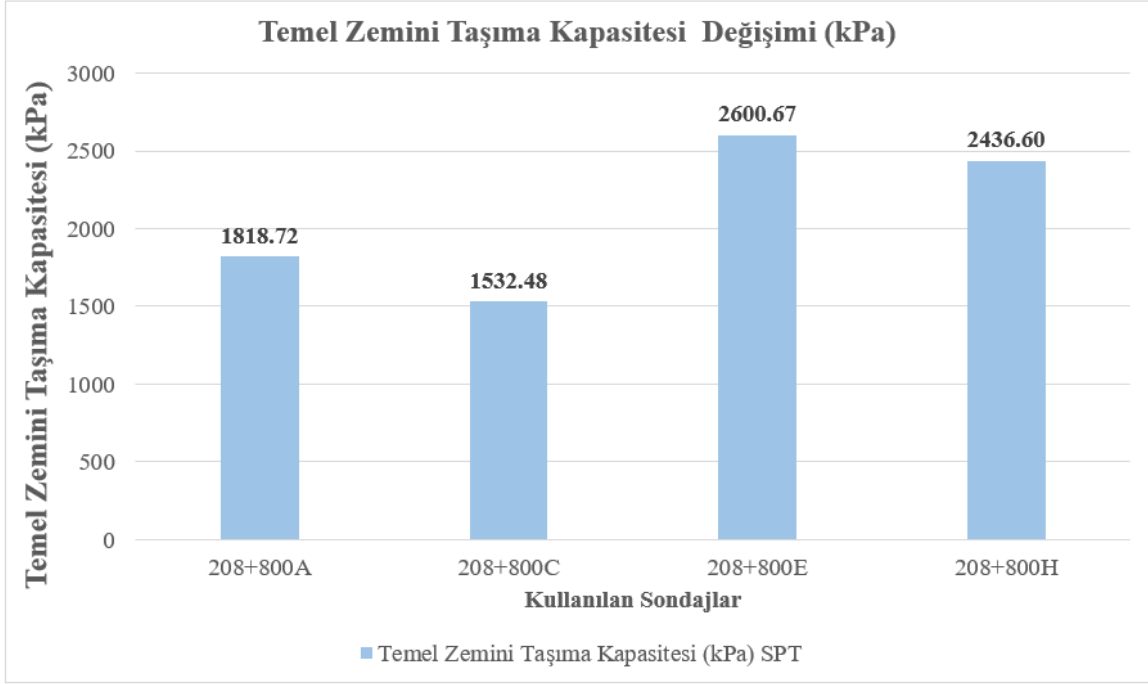
4. Tartışma ve sonuçlar

4. Discussion and conclusions

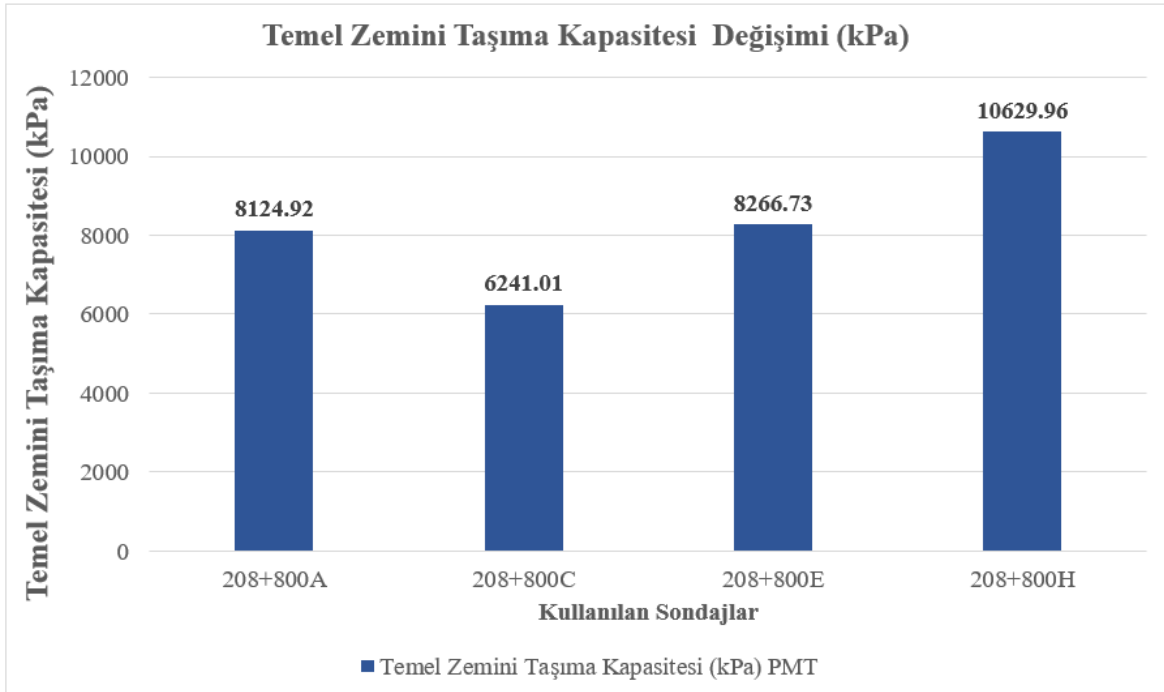
Bu çalışmada dört farklı sondaj kuyusunda yapılan SPT ve PMT verisi kullanılarak aynı yük ve temel boyutları için yüzeysel temel taşıma gücü analizleri yapılmıştır. Literatürde taşıma gücü analizlerinde “FS” güvenlik kat sayısının genellikle 2,5 ila 3,5 değerleri arasında olduğu belirtilmektedir (Das, 1999; Kamt,

2003). Geo5 programında yüzeysel temel taşıma gücü analizlerindende araştırmacılar tarafından önerilen güvenlik kat sayısı 3 değerini kullanmaktadır.

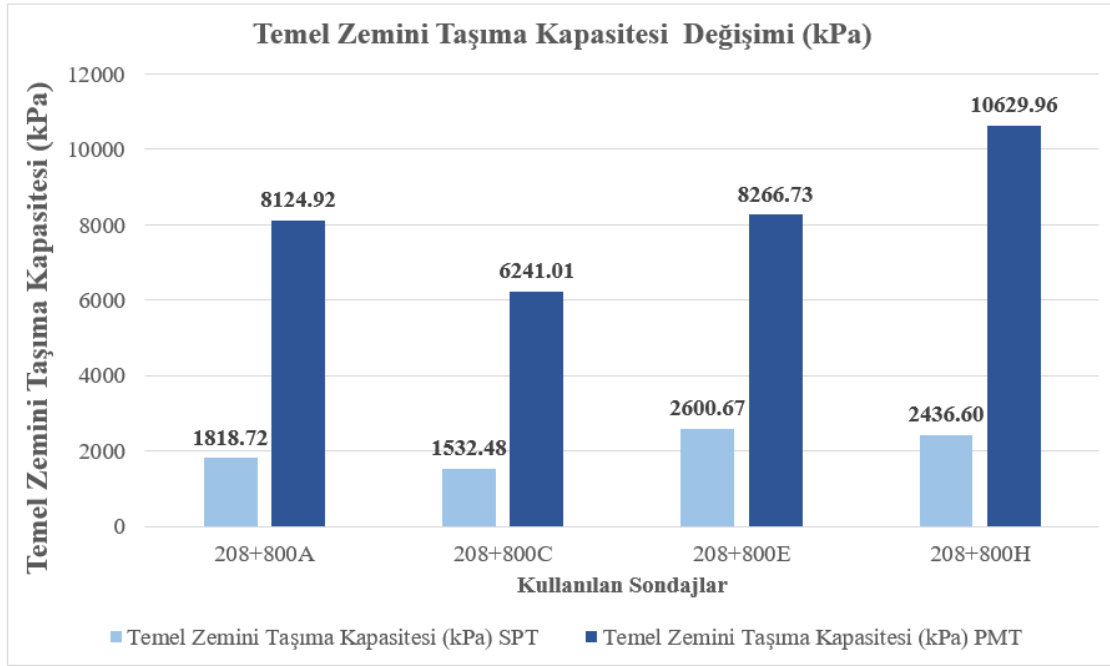
Analizler sonucunda elde edilen taşıma gücü değerleri SPT verilerine göre Şekil 19'da, PMT verilerine göre Şekil 20'de ve her iki değerin karşılaştırması Şekil 21'de verilmiştir.



Şekil 19. SPT verilerine göre taşıma gücü değeri değişimi
Figure 19. Bearing capacity value change according to SPT data



Şekil 20. PMT verilerine göre taşıma gücü değeri değişimi
Figure 20. Bearing capacity value change according to PMT data



Şekil 21. SPT ve PMT verilerine göre taşıma gücü değeri değişimi
Figure 21. Bearing capacity value change according to SPT and PMT data

Şekil 21’de görüldüğü gibi temel zemini taşıma kapasitesinin SPT deneyinde 2600,67 kPa ile 1532,48 kPa arasında; PMT deneyinde ise 6241,01 kPa ile 10629,69 kPa arasında değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. 8 deney için temel zemini taşıma kapasitesine yönelik hesaplanan PMT/SPT oranı ortalaması 4,02 olarak hesaplanmıştır. Araştırma sonucunda presiyometre deneyinden elde edilen verilerin standart penetrasyon deneyinden elde edilen verilere göre taşıma gücünün anlamlı bir şekilde daha yüksek hesaplandığı tespit edilmiştir. Bu durum, temel tasarımının seçimi aşamasında zemin analizlerinin kritik öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Elde edilen sonuçlar, aynı kuyuda gerçekleştirilen iki farklı zemin araştırması deneyinin birbirinden belirgin şekilde farklı sonuçlar verebileceğini göstermektedir. Bu farklılığın başlıca nedenlerinden biri olarak, SPT ve PMT deneylerinin zeminin davranışını farklı şekillerde ölçmesinden kaynaklanmaktadır. SPT deneyinin dinamik bir deney olup, zeminin darbe yüküne verdiği tepkiyi ölçerken, PMT deneyi ise statik bir deney olup, zeminin kademeli olarak artan basınca verdiği tepkiyi ölçmesinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Literatürde PMT deneyi ve SPT deneyi bilgisayar yazılımında taşıma gücü karşılaştırması ile karşılaşılmamıştır. Bu çalışmaya en yakın olarak; Tonyalı (2011), çalışmada arazi, laboratuvar ve jeofizik deneylerden yararlanarak taşıma gücü hesap yöntemlerini karşılaştırılmıştır. 7 adet Presiyometre deney sonucu ile yapılan nihai taşıma gücü değerleri ile yapılan kıyaslamada, Meyerhof SPT-N analiz yöntemi ile %75’lik uyum belirlenmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda, klasik yöntemler ile arazide yapılan SPT ve Presiyometre deney sonuçlarının oldukça uyumlu olduğu görülmektedir (Tonyalı, 2011).

Ağan (2014) çalışmada, kumlu siltlerde elde edilen Menard presiyometresi, standart penetrasyon ve bazı laboratuvar test verileri arasındaki belirtiler incelenmiş, regresyon analizleri yapılmış, determinasyon katsayıları yüksek denklemler elde edilmiştir. Laboratuvar testlerinin zemin kütlelerini yeterince temsil edememiş, Menard presiyometre testi geoteknik incelemelerinde oldukça doğru sonuçlar verirken SPT verilerinde yüksek determinasyon sayılarının elde edildiği görülmüştür. Bu durumun silt birim içerisindeki bazı iri kum taneciklerinin üç eksenli basınç ve SPT sonuçlarını saptırmasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır (Ağan, 2014).

Yıldız (2021) çalışmada, dolgu alanında yapılan PMT ve SPT deneylerinden elde edilen zemin parametreleri incelenmiştir. İki deney sonucuna elde edilen, yatay ve düşey rijitlik değerleri derinlikle tutarsız bir şekilde artmaktadır. Presiyometre deneylerinden elde edilen taşıma gücü değerleri artan derinlikle tutarlı

bir şekilde artmaktadır. SPT Presiyometre deney sonuçları ile SPT-N darbe sayısı arasında elde edilen korelasyon katsayılarında yüksek sonuçlara ulaşılmıştır (Yıldız, 2021).

Elde edilen bulgulardan ve yapılan araştırma çalışmalarından PMT test sonuçlarından elde taşıma gücü analizleri SPT test sonuçlarından elde taşıma gücü analizlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Sonuç olarak yüzeysel temellerin tasarımında zemin taşıma kapasitesinin daha doğru belirlenebilmesi için farklı zemin araştırma yöntemlerinden elde edilen verilerin birlikte değerlendirilmesi önerilmektedir. Bu amaçla, özellikle SPT ve PMT gibi yaygın kullanılan deneylerin birbirini tamamlayıcı şekilde kullanılması, daha güvenilir bir temel tasarımı yapılmasına katkı sağlayabilir. Farklı deney sonuçları arasındaki uyumsuzlukların minimize edilmesi ve her iki test yönteminin sağladığı avantajlardan yararlanılması için çoklu deney sonuçları doğrultusunda bir ortalama veya güven aralığı belirlemek, tasarım sürecinde daha güvenilir sonuçlara ulaşılmasına olanak tanıyacaktır.

Böylece, zemin taşıma gücünü daha detaylı bir şekilde çözümlenerek ve testler arasındaki farklılıkları göz önünde bulundurularak daha güvenli temel tasarımı yapılabilir.

Yazar katkısı

Author contribution

Yazar 1: Analiz yapma, Modelleme yapma, Literatür taraması,
Yazar 2: Fikir verme, Denetleme/Danışmanlık, Eleştirel inceleme

Etik beyanı

Declaration of ethicalcode

"Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir."

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

"Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder"

Bilgilendirme

Information

Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Kurumu, Fine Firması tarafından sağlanan GEO5 Geoteknik Yazılım Paketini kullanmaktadır.

Kaynaklar

References

- Ağan, C. (2014) *Silt Biriminde (Kastamonu, Türkiye) Yapılan Menard Presiyometre, Standart Penetrasyon ve Laboratuvar Deney Sonuçları Arasındaki İlişkilerin Araştırılması*. İMO Teknik Dergisi, 25(122), 6679-6698.
- Bekdemir, T. & Toprak, B. (2023). *Taşıma gücü düşük farklı zeminlerde cpt değerlerine göre yüzeysel temel tasarımı*. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi. 15(3), 270-288. DOI:10.29137/umagd.1370297.
- Birand, A. (2006). *Sığ (yüzeysel) temeller*. Teknik Yayınevi.
- Bowles, J., E. (1996). *Foundation analysis and design*. New York, The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Clarke, B., G. (1995). *Pressuremeters in Geotechnical Design*. Chapman&Hall, Boundary Row.
- Coduto, Donald P. (2001). *Temel tasarımı ilkeler ve uygulamalar* (M. Mollamahmutoglu, K. Kayabalı, Çeviri). Gazi Kitabevi.

- Dağlı, E. (2013). *Sayısal ve Analitik Yöntemler ile Kohezyonsuz Zeminlerin Taşıma Gücü Hesabı*. [Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Das, B., M. (1999). *Shallow foundations bearing capacity and settlements*. CRC Press.
- Erol, O., A. & Çekinmez, Z. (2014). *Geoteknik mühendisliğinde saha deneyleri*. Yüksel Proje Yayınları.
- Federal Highway Administration. (2002b). *Revised forecast and benefit-cost analysis of the San Francisco Bay Area state highway project*. U.S. Department of Transportation.
- Kant, R., (2003). *Temel İnşaatı*. Gazi Kitabevi.
- Koçak, D., B. (2017). *Zemin taşıma gücünün belirlenmesi için bir yaklaşım*. [Yüksek lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Mair, R., J. & Wood, D. M. (1987). *Pressuremeter testing: Methods and interpretation*. CIRIA Ground Engineering Report: In-situ testing. Butterworths.
- Önalp, A. & Sert, S., (2016). *Geoteknik bilgisi III bina temelleri temel tasarımı*. Birsen Yayınevi.
- Pişen, S. & Pekşen, E. (2016). *Sığ zeminler için farklı yöntemlerden elde edilen zemin emniyet gerilmesi değerlerinin karşılaştırılması*. Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi, 8(2), 36-46.
- Sivrikaya, O. & Toğrol, E. (2019). *Arazi Deneyleri ve Geoteknik Tasarımda Kullanımları*. Birsen Yayınevi.
- Tonyalı, İ. (2011). *Laboratuvar, Arazi ve jeofizik deney sonuçlarını kullanan zemin taşıma gücü hesap yöntemlerinin incelenmesi ve karşılaştırılması*. [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Uzuner, B., A. (2007). *Temel Zemin mekaniği*. Derya Kitabevi.
- Yıldırım, S. (2009). *Zemin incelemesi ve temel tasarımı*. Birsen Yayınevi.
- Yıldırım, B. (2022). *Yüzeysel Temellerin Tasarımında Presiyometrenin Kullanımı*. [Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Yıldız, C. & Yıldırım, B. (2013). *Yüzeysel temellerin tasarımında presiyometrenin kullanımı*. [Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].