

Taşıma Kapasitesi ve Oturma Miktarının Hesaplanmasında Yaygın Kullanılan Yöntemlerin Mersin Arıtma Tesisi Temeli Örneğinde Uygulanması

Application of the Methods Commonly Used for Bearing Capacity and Amount of Settlement on the Mersin City Sewerage Project Example

Ali KAYABAŞI¹, Candan GÖKÇEOĞLU²

¹Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, ANKARA

²Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Beytepe, ANKARA

Geliş (received) : 3 Ocak (January) 2012
Düzeltilme (revised) : 27 Şubat (February) 2012
Kabul (accepted) : 28 Şubat (February) 2012

ÖZ

Bu çalışmada, Mersin İli Kanalizasyon Projesi çalışmaları kapsamında planlanan arıtma tesisinin yer alacağı temel alanında yüzeyleyen kil birimin taşıma kapasitesi ve oturma miktarının belirlenmesine yönelik hesaplamalar yapılmış ve bu amaçla yaygın biçimde kullanılan yöntemler karşılaştırılmıştır. 20 adet sondaj kuyusunun verileri kullanılmış ve bu kuyularda Standart Penetrasyon (SPT) ve Presiyometre deneylerinin (MPT) yanı sıra, sondajlardan alınan örselenmiş ve örselenmemiş örnekler üzerinde gerekli laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Temel alanının taşıma kapasitesi, Presiyometre, Terzaghi, Hansen, Meyeroff ve Skempton yöntemleri ile belirlenmiştir. Oturma miktarının belirlenmesinde Presiyometre Yöntemi'nin yanı sıra, anlık oturma ve konsolidasyon oturmaları hesaplanmıştır. Daha sonra, temel alanını oluşturan kil birimi için değişik yöntemlerle belirlenen taşıma kapasiteleri ve oturma miktarları karşılaştırılmıştır. Temelin taşıma kapasitesinde Presiyometre, Terzaghi, Hansen ve Meyerof yöntemleri nispeten birbirlerine yakın değerler verirken, sadece kohezyona bağlı hesaplama yapan Skempton Yöntemi ile en düşük değerler elde edilmiştir. Oturma hesaplamalarında ise Presiyometre Yöntemi en düşük değerleri vermiş olmakla beraber, âni oturma ve konsolidasyon oturması değerleri nispeten daha yüksek çıkmıştır. Oturma sürecinin uzun süreli olduğu zeminlerde konsolidasyon oturmasının hesaplanmasında, odeometre deneyinin tercih edilmesi, presiyometre ile oturma hesaplaması yönteminin kullanılmasında dikkatli davranılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Oturma, Presiyometre, Taşıma kapasitesi, Temel, Mersin.

ABSTRACT

In this study, bearing capacity and settlement properties of the clay unit outcropping at foundation of Mersin City Sewerage Project site are calculated and the commonly used methods for the determination of bearing capacity and the settlement properties were correlated. The information was used from 20 boreholes opened in this context. Standart Penetration Tests (SPT) and Pressuremeter Tests (MPT) were accomplished in boreholes and a series of laboratory tests were carried out on disturbed and undisturbed samples. The bearing capacity of the foundation was determined with pressuremeter, Terzaghi, Hansen, Meyerof, and Skempton methods. Initial and consolidation settlements were calculated in addition to pressuremeter settlement calculations. Later, calculated bearing capacity and settlement values of clay units from different methods were correlated. The results of the bearing capacity calculations of foundation clays give closer results with Terzaghi, Hansen, Meyerof and Pressuremeter methods but Skempton method gives relatively low values due to the calculation with only cohesion parameters. Pressuremeter settlement values were the lowest results where initial and the consolidation settlement values were calculated relatively higher. Odeometer test is recommended for the litologic units which have long consolidation period. Care should be given for settlement calculations with the pressuremeter method.

Key Words: Settlement, Pressuremeter, Bearing capacity, Foundation, Mersin.

GİRİŞ

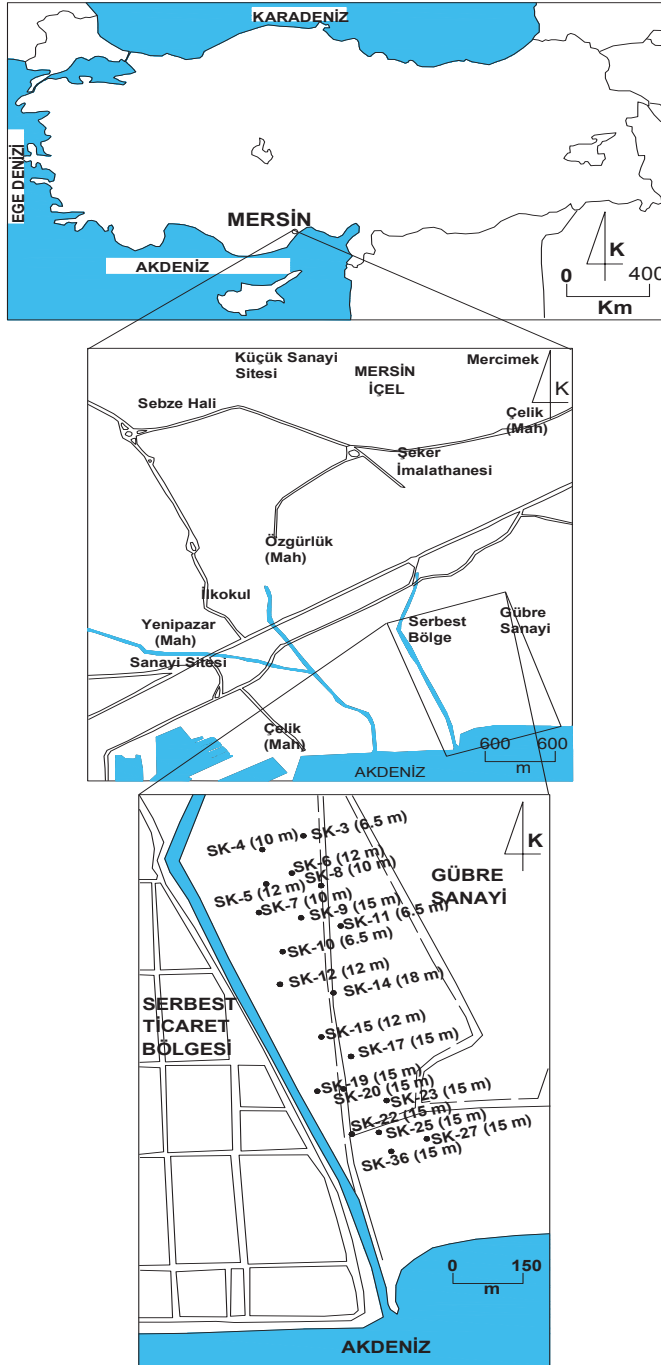
Bu çalışmada Mersin ili kanalizasyon projesi kapsamında planlanan arıtma tesisi temel alanında yapılan jeoteknik araştırmalara ait veriler kullanılmıştır (Gürsoy ve Kayabaşı, 1995). İnceleme alanı, Mersin ili 1/25 000 ölçekli Silifke O33a3 paftasında, Mersin ili doğusunda yer almaktadır (Şekil 1). Temel alanını oluşturan kil birimine ait verilerin değerlendirilmesi ve literatürde tanımlanmış başlıca taşıma ve oturma hesaplamalarının yapılması, sonuçların karşılaştırılması ve yorumlanması amaçlanmıştır.

İnceleme Alanında Yapılan çalışmalar

Arıtma tesisi temel alanında toplam uzunluğu 258.2 m olan, 20 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Sondaj kuyularında 69 adet Presiyometre Deneyi, 115 adet Standart Penetrasyon Deneyi

(SPT), 6 adet Sabit Seviyeli Permeabilite Deneyi, gerçekleştirilmiş, ayrıca el penetrometresi ile 296 adet drenajsız basınç dayanımı tayini yapılmıştır.

Presiyometre Deneyi'ndeki temel ilke, zeminin gerilme-deformasyon ilişkilerini belirlemektir. Bu amaçla, zeminde açılan silindirik bir boşluk genişletilir. Bu düşünce ilk kez 1930'lu yıllarda Alman Koegler tarafından ortaya atılmıştır. 1950 ortalarında Fransız Louis Menard presiyometreyi tasarlayarak patentini almıştır (Baquelin vd., 1978). Gelişen teknolojiyle birlikte G, GA, GB, GC simgeleriyle temsil edilen presiyometre modellerinin yanı sıra, kendi sondaj kuyusunu da açabilen SBP (Self Boring Pressuremeter) de üretilmiştir. Tipik bir presiyometre cihazı kontrol ünitesi, sonda, iletim hortumları ve basınç tüpünden oluşur (Şekil 2). Presiyometre deneyleri sıkı zeminden (kuyu içinde dökülmeden kalabilen zeminler)



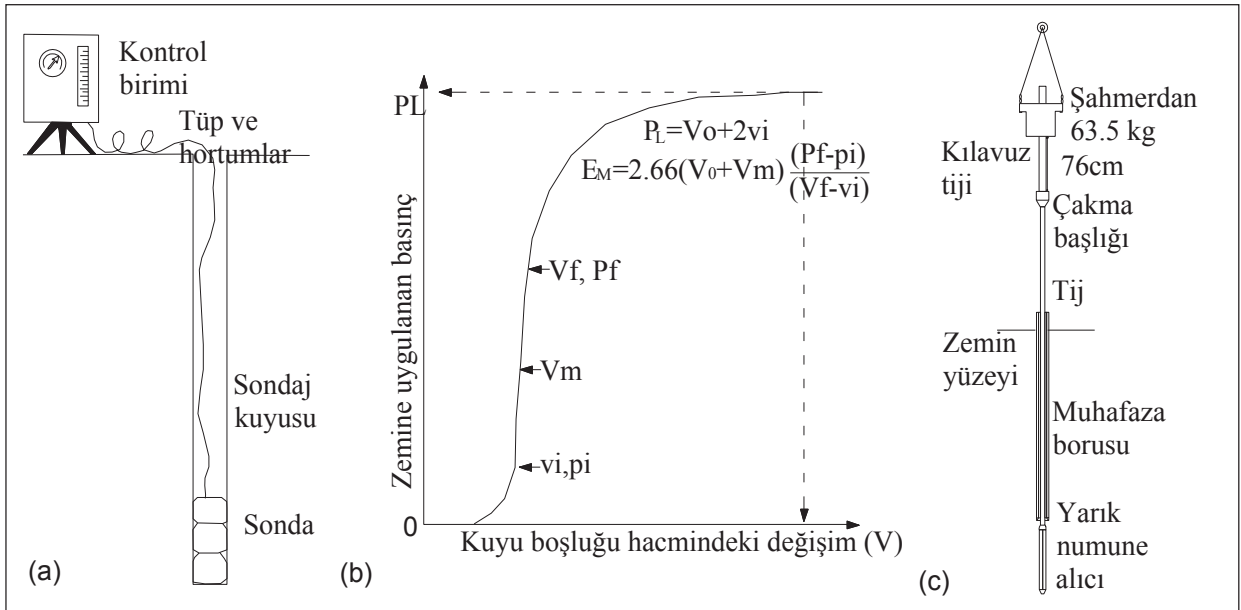
Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası

Figure 1. The location map of the study area

zayıf kaya birimlerine kadar değişen litolojik birimlere uygulanabilir. ASTM, (1994;D4719–87), AFNOR NF P 94–110–1 (Apageo, 2006) ve TSENV (1997-3) presiometre ile ilgili kullanılan standartlardır.

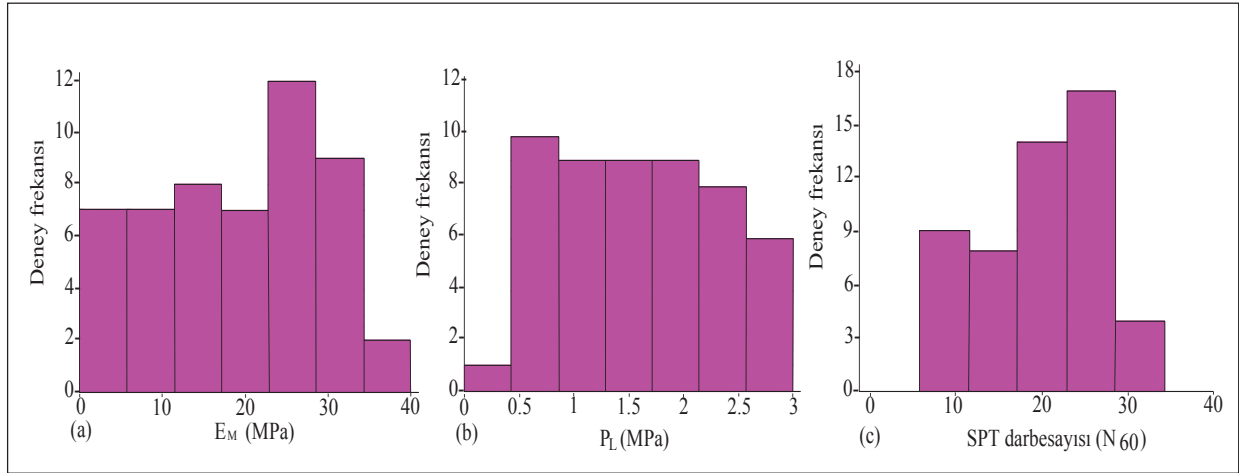
Temel alanı çalışmalarında kullanılan presiometre verileri, GA tipi Menard presiometresinden elde edilmiş olup, deneyin uygulandığı kuyular rotary yöntemle 66 mm çaplı olarak açılmıştır. Deneyler sırasında ise 58 mm çaplı presiometre sondası kullanılmıştır (Gürsoy ve Kayabaşı, 1995). Presiometre deneyi, kuyu içindeki deney zonuna yerleştirilen ve basınç uygulanarak şişirilen sondanın içerisine giden su hacminin veri olarak kaydedilmesi şeklinde uygulanır. Şekil 2’de görüldüğü gibi, deney verisi olan basınç-deformasyon kayıtları

ile oluşturulan grafikten Menard Deformasyon Modülü (E_M), Limit basınç (P_L) değerleri belirlenir. 58 mm çaplı presiometre sondasının orjinal hacmi 535 cm^3 ’tür ve eşitlikte V_0 olarak gösterilirken, V_m : eğrinin doğrusal kısmının orta noktası, V_f : sondanın kuyu duvarını deforme etmeye başladığı ilk basınca karşılık gelen hacim değeri, V_f : grafik eğrisinin doğrusal kısmının tamamlandığı noktadaki hacim değeridir. V_f noktasından sonra zemin davranışı, elastik davranıştan plastik davranışa geçer ve bu aşamadan sonra zeminde oluşan deformasyon kalıcıdır. Şekil 3’te E_M , P_L ve SPT değerlerinin dağılım histogramları verilmiştir. İstatiksel parametrelerin belirlenmesinde SPSS (2002) bilgisayar programı kullanılmıştır. Temel alanını oluşturan kil biriminin ortalama E_M değeri, 19.42 MPa olarak belirlenirken en yüksek E_M değeri



Şekil 2. (a) Menard presiometresi başlıca bölümleri, (b) Presiometre grafiği ve ilgili eşitlikler (c) Standart penetrasyon (SPT) deneyi takımı düzeneği.

Figure 2. (a) Menard pressuremeter main parts, (b) Pressuremeter graph and related equations (c) Standart penetration test (SPT) configuration.



Şekil 3. Yerde deney verilerinin histogram gösterimi (a) elastisite modülü (E_M), (b) limit basınç (P_L), (c) Düzeltilmiş SPT darbesi (N_{60})

Figure 3. Histograms of the in situ test data (a) elasticity modulus (E_M) (b) limit pressure (P_L) (c) corrected SPT blowcount (N_{60}).

Çizelge 1. Kilerde konsolidasyonun E_M/P_L oranı ile belirlenmesi ((Baquelin vd., 1978).

Table 1. Interpretation of consolidation of clay using E_M/P_L ratio (Baquelin et al., 1978).

Malzeme türü	Kil
	E_M/P_L
Aşırı konsolide	>16
Normal konsolide	9-16
Ayrılmış veya altere olmuş	7-9

37.8 MPa ve en düşük E_M değeri ise 2.45 MPa olarak Gürsoy ve Kayabaşı (1995) tarafından tespit edilmiştir. Benzer biçimde ortalama limit basınç (P_L) değeri 1.57 MPa ve değişim aralığı ise 0.42 MPa – 2.80 MPa'dır. Baquelin vd. (1978), E_M/P_L oranı ile konsolidasyon oranının tespit edilebileceğini belirtmiştir (Çizelge 1). Bu çalışmada E_M/P_L oranı 12 olarak belirlenmiş ve Çizelge 1'e göre arıtma tesisinin temelini oluşturan kil birimi, normal konsolide kil olarak belirlenmiştir. Clarke (1995), E_M/P_L oranının 10 - 20 arasında olmasını zeminin sıkı-çok sıkı, 8-10

arasında olmasını ise yumuşak-katı sıklığa sahip olması şeklinde ifade etmiştir. Bu sınıflandırmaya göre de üzerinde çalışılan zemin "sıkı kil" olarak sınıflandırılmıştır.

76 cm yükseklikten düşürülen 63.5 kg ağırlığındaki şahmerdanın 30 cm'lik ilerleme için gereken darbe adedinin belirlenmesi olarak özetlenebilen Standart Penetrasyon Deneyi'nin (SPT), Gürsoy ve Kayabaşı (1995) tarafından inceleme sahasında 1.5 m aralıklarla yapılması planlanmış ve buna uygun biçimde toplam 115 adet deney uygulanmıştır. SPT sonuçları üzerinde

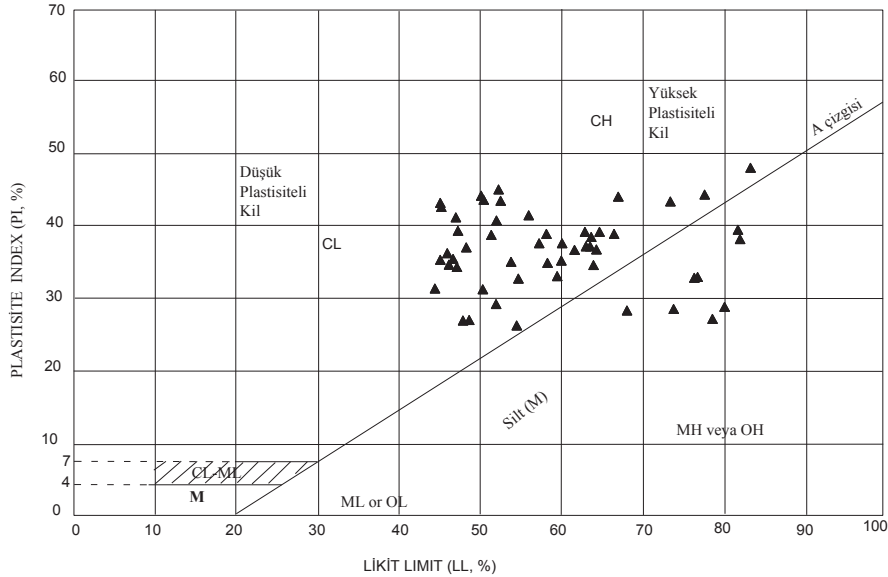
Çizelge 2. Laboratuvar deney adı ve sayısı

Table 2. Laboratory test names and numbers

Deney adı	Deney sayısı
Tane boyu analizi	43
Atterberg Limit tayini deneyi	42
Su içeriği	105
Doğal birim hacim ağırlığı	38
Direk kesme deneyi (CU)	12
Konsolidasyon deneyi	14
Üç eksenli sıkışma dayanımı (UU)	4
Sebest şişme	14

gerekli düzeltmeler (yeraltısuyu, tij enerji oranı, tij uzunluğu, iç tüp ve kuyu çapı düzeltmesi) yapılarak, N_{60} değerleri belirlenerek, Şekil 3'te dağılım histogramı verilmiştir. Buna göre, N_{60} değerleri 6 - 29 arasında değişirken, ortalama değer 19 ve standart sapma 7'dir. Terzaghi ve Peck (1968)'in SPT sınıflandırmasına göre çalışma alanını oluşturan killer, darbe sayısı

ortalama değerlerine göre “çok katı kil” olarak sınıflandırılabilir. Çalışma süresince 6 adet sondaj kuyusunda yeraltısuyu seviyesi ölçümü gerçekleştirilmiştir. Alınan kayıtlara göre temel alanının ortalama 1.5 m derinlikte yeraltısuyu seviyesine sahip olduğu belirlenmiştir (Gürsoy ve Kayabaşı, 1995).



Şekil 4. Temel alanı killerin plastisite abağında dağılımı.

Figure 4. Distribution of the foundation clay on plasticity chart.

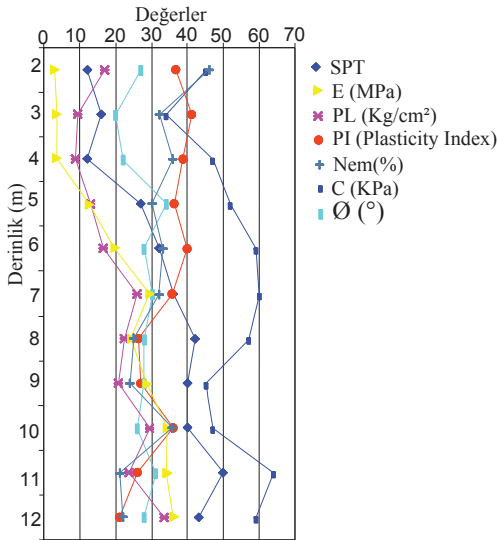
Çizelge 3. Arıtma tesisi temel alanını oluşturan kil biriminin index özellikleri. Parantez içindeki rakamlar ortalama değerlerdir.
Table 3. The index properties of sewerage facility foundation clays. The numbers in paranthesis are the average values.

Litolojik birim	Doğal birim hacim ağırlığı (kN/m ³)	Tane boyu dağılımı (%)		Su içeriği (%)	Atterberg limitleri (%)			Zemin sınıflandırması (USBR)
		4 nolu elek üstü (%)	200 nolu elek altı (%)		LL	PL	PI	
Kil	16.8-19.7 (18.22)	1-26(9)	53-96 (77)	17-55 (34)	35-94 (64)	16-33 (27)	24-62 (37)	CH

Laboratuvarda Yapılan Kaya ve Zemin Mekanik Deneyleri

Kaya ve zemin mekanik deneyleri için alınan örselenmiş (SPT çarık ağızı numuneleri-DS) ve örselenmemiş numuneler (UD) mümkün olduğunca kısa bir sürede laboratuvara taşınmıştır. Laboratuvar deneyleri ASTM (1994) tarafından önerilen standartlara uygun olarak yapılmıştır. Çizelge 2’de yapılan deneyler ve

sayıları verilmiştir. Tane boyu dağılım analizleri sonuçları Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemine (USBR, 1974) göre plastisiteli kil ile düşük plastisiteli kile kadar geniş bir dağılım sunmaktadır (Şekil 4). Temel alanını oluşturan birimin indeks özelliklerine ait ortalama değerler Çizelge 3’te verilmiştir. Plastisite indeksi ortalama değeri ise temel alanını oluşturan kil birimin plastik-çok plastik kil sınıfında olduğunu göstermektedir (Leonards,1962). Likit limit deney sonuçlarının çoğunun %50’den fazla olması montmorillonitik kil minerali içeriğinin bir göstergesidir (Means and Parcher, 1963). Kil biriminin ortalama aktivite değeri ise 1.46 olarak belirlenmiştir. Seed vd. (1964)’e göre killer, aktivitelere göre, “A > 1.25: Aktif kil”, “0.75 < A < 1.25: Normal aktif kil”, “A < 0.75: Aktif olmayan kil” şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmaya göre çalışılan kil birimi “aktif kil” olarak tanımlanmaktadır. Skempton (1951)’e göre ise çalışılan kil birimi için “Ca montmorillonit” tanımlaması yapılabilmektedir. Konsolidasyon deneyleri sırasında yapılan serbest şişme deneylerinden ortalama şişme oranı % 4 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5. Deney sonuçları ortalama değerlerinin derinlikle değişimi.

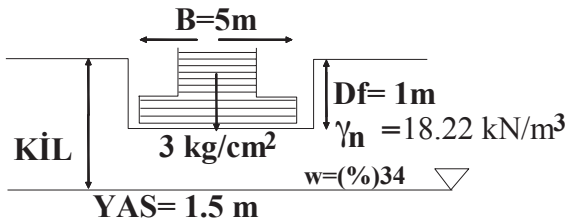
Figure 5. The average value of test results chagement with depth.

Şekil 5’te tüm deneylere ait sonuçların derinliğe bağlı değişimi incelenmiştir. SPT, E_M , PL, Kohezyon (c) ve İçsel sürtünme açısı

(θ) değerleri derinliğe bağlı benzer değişimleri göstermekte iken, Nem içeriği (w) ve Plastisite İndeksi (PI) değerleri diğer deney sonuçlarına göre ters değişim göstermektedir.

TAŞIMA KAPASİTESİNİN HESAPLANMASI

Proje alanında kısa kenarı (B) 5 m, uzun kenarı (L) 10 m ve temel kazı derinliği (Z) 1 m olan dinlendirme havuzlarının yer alması planlanmıştır. Havuzlardan temel birimini oluşturan kil zemin üzerine gelecek yük 3 kg/cm^2 olarak belirlenmiştir (Şekil 6). Sahada zemine gelecek en yüksek proje yükü, havuzlar tarafından oluşturulacaktır. Bu nedenle havuzların bulunduğu kesimdeki ASK4, ASK11, ASK15, ASK25, ASK27 ve ASK36 numaralı sondaj kuyularına ait yerinde deney ve laboratuvar deney sonuçları taşıma kapasitesinin hesaplanmasında kullanılmıştır (Şekil 7). Kil zemine ait taşıma kapasitesi hesaplamaları presiyometre, Baquelin vd. (1978), Terzaghi (1943), Skempton (1951), Meyeroff (1963) ve Hansen (1961) yöntemlerine göre yapılmıştır. Hesaplamalarda kil zemin için doğal birim hacim ağırlığı 18.22 kN/m^3 olarak dikkate alınmıştır. Taşıma kapasitesi hesaplamaları sırasında güvenlik katsayısı (GK)=3 olarak alınmıştır. Dikdörtgen tekil temel



Şekil 6. Temel zemini ve proje özellikleri.

Figure 6. Foundation soil and project specifications.

tipine göre projelendirilen havuzlarda 1 m'lik temel kazısından kaynaklı düşey kazı gerilmesi (σ_v) = 18.22 kPa (0.1822 kg/cm^2)'dir.

Presiyometre Yöntemi İle Taşıma Gücü Hesaplamaları - Menard Yöntemi (Baquelin vd., 1978)

Presiyometre deneyinden elde edilen net limit basınçlarının (PI^*) geometrik ortalamasından eşdeğer limit basınç (PI^*e) değeri elde edilir. Bunun için, etki alanı olan temel kazı derinliğinden 1.5B kadar derinlikteki PI değerleri hesaplamalar sırasında dikkate alınır.

$$PI^*e = [(PI^*)_1 \times (PI^*)_2 \times \dots \times (PI^*)_n]^{1/n} \dots \dots \dots (1)$$

$$q_u = k \times (PI^*e) \dots \dots \dots (2)$$

burada; k taşıma kapasitesi katsayısı faktörü olup, bunun için hazırlanmış grafikler (Baquelin vd., 1978)'den elde edilebileceği gibi Çizelge 4'ten de elde edilebilir.

ASK4 numaralı kuyuda 1.5B derinliği'nde (7.5 m) yapılmış dört adet deneye ait PI değerlerini eşitlik 1'de yerine koyarak, PI^*e aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$PI^*e = [(29.4)_1 \times (11.7)_2 \times (14.6)_3 \times (16.6)]^{1/4} = 16.99 \text{ kg/cm}^2$$

Kil birimler için k taşıma faktörü:

$$k = 1.0 + 0.4(5/10) = 1.2 \text{ (boyutsuz)}$$

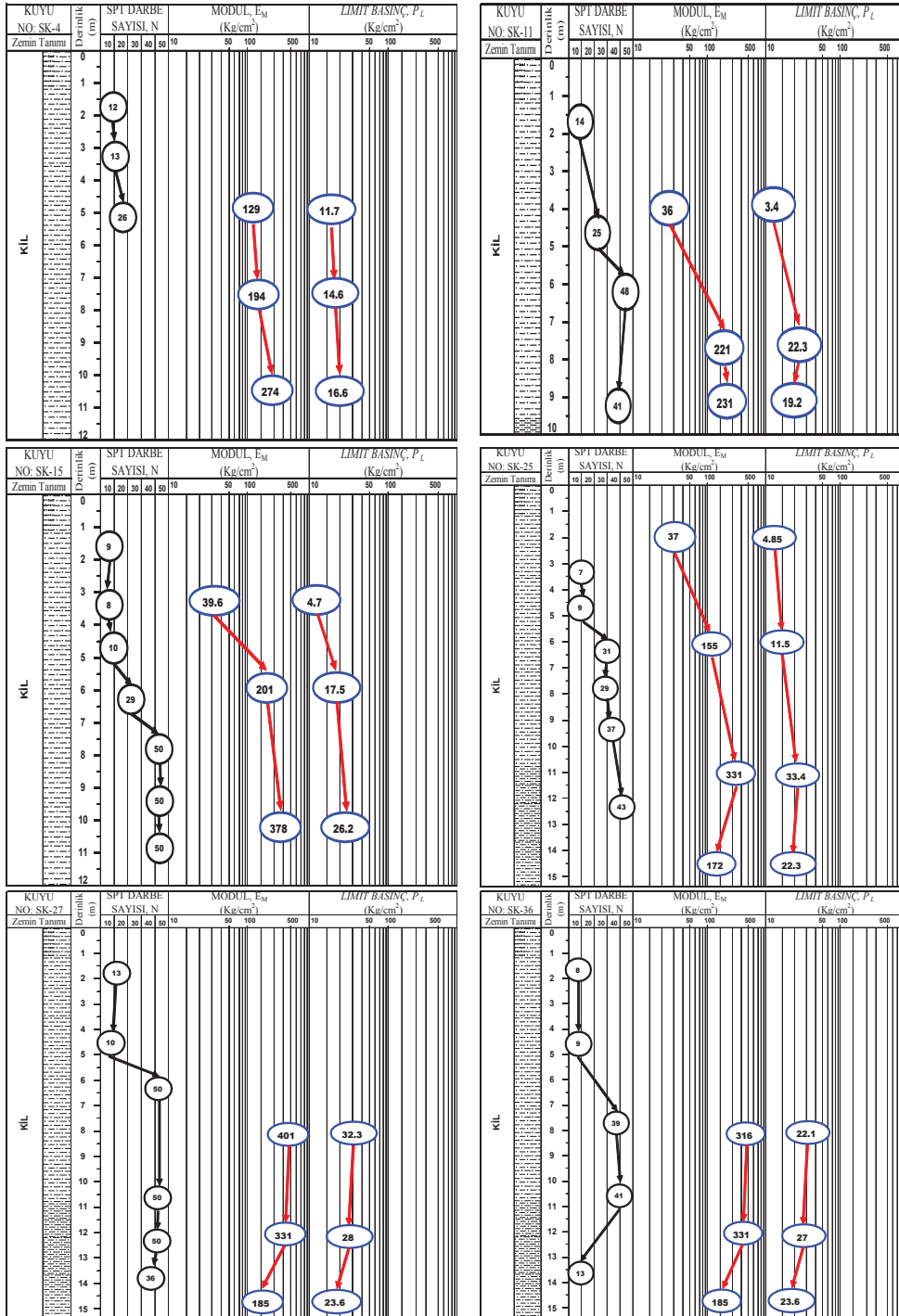
$$q_{ult} = 1.2 \times 16.94 = 20.33 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{net} = 20.33 - 0.1822 = 20.15 \text{ kg/cm}^2$$

GS = 3 alındığında,

$$q_{em} = 20.15/3 + 0.1822 = 6.89 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Emniyetli taşıma kapasitesi)}$$

diğer kuyular için yapılmış presiyometre taşıma kapasitesi hesaplamalarına ait sonuçlar Çizelge 5'te verilmiştir.



Şekil 7. Sondaj kuyularının şematik gösterimi.

Figure 7. Schematic illustration of boreholes.

Çizelge 4. Taşıma faktörü eşitlikleri
Table 4. Bearing capacity factor equations

Kohezyonlu zeminler	$k=(1.0+0.4(2R/L))$
Az kompakt taneli zeminler	$k=(1.1+0.45(2R/L))$
Kompakt taneli zeminler	$k=1.2+0.8(2R/L)$

R=B/2' dir, B=Temel genişliği, L=Temel uzunluğu, Df=Temel kazı derinliği

Terzaghi (1943) Yöntemi ile Taşıma Kapasitesi Hesaplamaları

Temel derinliği D_f olan, tabanı ile zemin arasında kohezyon ve sürtünme bulunan şerit bir temel için taşıma gücü:

$$q_{ult} = K_1 c N_c + \gamma_1 D_f N_q + K_2 \gamma_2 B/2 \cdot N_\gamma \dots \dots \dots (3)$$

Eşitlik 3'teki; N_c, N_q, N_γ = temel seviyesi altındaki zeminin, ϕ kayma direnci açısına bağlı taşıma gücü katsayılarıdır (Terzaghi, 1943). γ_1 = temel tabanı üstündeki zeminin doğal birim hacim ağırlığı, γ_2 = temel tabanı altındaki zeminin doğal birim hacim ağırlığıdır.

Temel alanında yeraltısuyu 1.5 m derinlikte olup, temel taban seviyesi yüzeyden itibaren 1m derinde olacaktır. Yeraltısuyu seviyesi, temel tabanı altından temel genişliği (B = 5 m) kadar derinlik içerisinde olduğu için $\gamma_1 = 17.40$, $\gamma_2 = 3.45$ olarak, laboratuvar deneylerinden belirlenen

doğal birim hacim ağırlığı ve su altındaki birim hacim ağırlık değerleri kullanılmıştır (Kumbasar ve Kip, 1992).

SK4 kuyusu UD1 örneğine ait üç eksenli sıkışma dayanımı deneyinde belirlenen kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) değerleri sırasıyla 28 kPa ve 27° dir.

$$q_{ult} = 1.15 \cdot 28 \cdot 23.90 + 17.40 \cdot 1 \cdot 13.20 + 0.90 \cdot 3.45 \cdot 2.5 \cdot 11.20 = 1046.6 \text{ kPa}$$

$$\gamma D_f = 1 \cdot 17.40 = 17.40 \text{ kPa (Temel kazısı gerilmesi)}$$

$$q_{net} = 1046.6 - 17.40 = 1068.80 \text{ kPa (Net taşıma gücü)}$$

GS = 3 alınmasıyla,

$$q_{em} = q_{net}/3 + \gamma D_f = 1068.80/3 + 17.40 = 3.74 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Emniyetli taşıma gücü)}$$

Çizelge 5. Presiyometre deneyi sonuçlarından taşıma gücü hesaplamaları.
Table 5. Bearing capacity calculations from pressuremeter test results.

Kuyu no	$(Pl)_c$ (kg/cm ²)	k	q_{ult} (kg/cm ²)	q_{em} (kg/cm ²)
SK4	16.99	1.2	20.33	6.89
SK11	14.34	1.2	17.20	5.85
SK15	15.82	1.2	18.98	6.45
SK25	16.45	1.2	19.74	6.70
SK27	27.80	1.2	33.36	11.24
SK36	16.97	1.2	20.36	6.91

Çizelge 6. Taşıma kapasitesinin Terzaghi (1943) yöntemi ile hesaplanması.
Table 6. Calculation of bearing capacity with Terzaghi (1943) method.

Kuyu No	B (m)	L (m)	c (kPa)	Ø (°)	γ_n (kN/m ³)	Nc	Nq	N γ	K ₁	K ₂	γ_z (kN/m ³)	Q _u (kPa)	Kazı yükü (kN/m ²)	q _{net} (kPa)	qs (kPa)	qs (kg/cm ²)
ASK4-1	5.00	10.00	28.00	27.00	17.40	23.90	13.20	11.20	1.15	0.90	3.45	1086.20	17.40	1068.80	356.27	3.74
ASK4-2	5.00	10.00	51.00	28.00	18.50	25.80	14.70	13.10	1.15	0.90	5.45	1945.76	18.50	1927.26	642.42	6.61
ASK4-3	5.00	10.00	57.00	13.00	18.50	9.81	3.26	0.94	1.15	0.90	5.45	714.88	18.50	696.38	232.13	2.50
ASK4-4	5.00	10.00	55.00	16.00	18.50	11.60	4.34	1.72	1.15	0.90	5.45	835.08	18.50	816.58	272.19	2.90
ASK11	5.00	10.00	27.00	30.00	19.70	30.14	18.40	22.40	1.15	0.90	7.46	1674.31	19.70	1654.61	551.54	5.70
ASK15-1	5.00	10.00	37.00	26.00	16.80	11.85	12.54	0.53	1.15	0.90	3.12	718.61	16.80	701.81	233.94	2.52
ASK15-2	5.00	10.00	73.00	21.00	18.80	15.80	7.07	4.19	1.15	0.90	6.11	1516.93	18.80	1498.13	499.38	5.18
ASK15-3	5.00	10.00	75.00	26.00	17.80	22.30	11.90	9.53	1.15	0.90	4.39	2229.33	17.80	2211.53	737.18	7.55
ASK15-4	5.00	10.00	50.00	18.00	18.00	13.10	5.26	4.07	1.15	0.90	4.14	885.84	18.00	867.84	289.28	3.08
ASK25-1	5.00	10.00	73.00	26.00	18.70	22.30	11.90	9.53	1.15	0.90	5.74	2217.69	18.70	2198.99	733.00	7.51
ASK27-1	5.00	10.00	58.00	22.00	18.70	16.90	7.82	4.96	1.15	0.90	5.65	1336.52	18.70	1317.82	439.27	4.57
ASK27-2	5.00	10.00	23.00	35.00	18.60	46.10	33.30	48.03	1.15	0.90	5.64	2448.23	18.60	2429.63	809.88	8.28
ASK36	5.00	10.00	40.00	12.00	18.70	18.05	8.66	8.20	1.15	0.90	5.65	1096.48	18.70	1077.78	359.26	3.77

Terzaghi (1943) yöntemine göre diğer kuyular için yapılmış taşıma hesaplamaları sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir.

Skempton (1951) Eşitliği İle Taşıma Gücü Hesaplamaları

Kil zeminler için önerilen bu eşitlikte $\phi = 0$ kabul edilir. Taşıma gücü faktörü N_c , $D_f/B < 2.5$ olması durumunda, aşağıdaki eşitlikle belirlenir (Skempton, 1951):

$$N_c = 5(1+0.2D_f/B)(1+0.2B/L) \dots \dots \dots (4)$$

$$q_{net} = c5(1+0.2D_f/B)(1+0.2B/L) \dots \dots \dots (5)$$

SK4 numaralı kuyuya ait 1 numaralı örneğin kohezyon değeri $c = 28 \text{ kN/m}^2$

$$q_{net} = 28*5(1+0.2*1/5)(1+0.2*5/10)$$

$$q_{net} = 160.16 \text{ kPa}$$

$$q_{em} = 160.16/3+18.22$$

$$q_{em} = 71.60$$

$$q_{em} = 0.72 \text{ kg/cm}^2$$

Skempton (1951) yöntemine göre diğer kuyular için yapılmış taşıma hesaplamaları sonuçları Çizelge 7'de verilmiştir.

Meyerof (1963) Eşitliği ile Taşıma Kapasitesi Hesaplamaları

Meyerof (1963), Terzaghi (1943) eşitliğine benzer, şekil (s), derinlik (d) ve eğim (i) parametrelerini dikkate alan yeni bir eşitlik önermiştir. Düşey yükler için Meyerof'un nihai taşıma kapasitesi eşitliği aşağıda verilmiştir (Meyerof, 1963):

Çizelge 7. Taşıma kapasitesinin Skempton (1951) yöntemi ile hesaplanması.

Table 7. Calculation of bearing capacity with Skempton (1951) method.

Kuyu no	B(m)	L(m)	Df(m)	Df/B	B/L	C kPa)	ϕ (°)	γ_n (kN/m ³)	N_c	q_{net} (kN/m ²)	q_{net} (kg/cm ²)
ASK4-1	5.00	10.00	1.00	0.20	0.50	28.00	27.00	17.40	5.72	160.16	0.72
ASK4-2	5.00	10.00	1.00	0.20	0.50	51.00	28.00	18.50	5.72	291.72	1.15
ASK4-3	5.00	10.00	1.00	0.20	0.50	57.00	13.00	18.50	5.72	326.04	1.27
ASK4-4	5.00	10.00	1.00	0.20	0.50	55.00	16.00	18.50	5.72	314.6	1.23
ASK11	5.00	10.00	1.00	0.20	0.50	27.00	30.00	19.70	5.72	154.44	0.70
ASK15-1	5.00	10.00	1.00	0.20	0.50	37.00	26.00	16.80	5.72	211.64	0.89
ASK15-2	5.00	10.00	1.00	0.20	0.50	73.00	21.00	18.80	5.72	417.56	1.57
ASK15-3	5.00	10.00	1.00	0.20	0.50	75.00	26.00	17.80	5.72	429.00	1.61
ASK15-4	5.00	10.00	1.00	0.20	0.50	50.00	18.00	18.00	5.72	286.00	1.14
ASK25-1	5.00	10.00	1.00	0.20	0.50	73.00	26.00	18.70	5.72	417.56	1.57
ASK27-1	5.00	10.00	1.00	0.20	0.50	58.00	22.00	18.70	5.72	331.76	1.29
ASK27-2	5.00	10.00	1.00	0.20	0.50	23.00	35.00	18.60	5.72	131.56	0.62
ASK36	5.00	10.00	1.00	0.20	0.50	40.00	23.00	18.70	5.72	228.80	0.94

$$q_u = cN_c S_c d_c + \gamma D_f N_q S_q d_q + 0.5 \gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma \dots \dots \dots (6)$$

$$S_c = 1 + 0.2 K_p B / L \text{ (Şekil faktörü)}$$

$$d_c = 1 + 0.2 (K_p)^{1/2} D_f / B \text{ (Derinlik faktörü)}$$

$$S_q = S_\gamma = 1 + 0.1 K_p B / L \text{ (Şekil faktörü, } \theta > 10^\circ \text{ için)}$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 (K_p)^{1/2} D_f / B \text{ (Şekil faktörü, } \theta > 10^\circ \text{ için)}$$

$$K_p = \tan^2(45 + \theta / 2)$$

SK4 kuyusundan alınan UD1 örneği üzerinde yapılan deneylerden elde edilen değerler eşitliklere konulduğunda:

$$K_p = \tan^2(45 + 27/2) = 2.66$$

$$S_c = 1 + 0.2 * 2.66 * 5 / 10 = 1.27$$

$$d_c = 1 + 0.2 * (2.66)^{1/2} * 1 / 5 = 1.07$$

$$S_q = S_\gamma = 1 + 0.1 * 2.66 * 5 / 10 = 1.13$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 * (2.66)^{1/2} * 1 / 5 = 1.03$$

$$\theta = 27^\circ \text{ için Meyerof taşıma gücü faktörleri } N_c = 23.94, N_q = 13.20, N_\gamma = 9.46$$

(Genç, 2008).

$$q_u = 28 * 23.94 * 1.27 * 1.07 + 17.40 * 1 * 13.20 * 1.13 * 1.03 + 0.5 * 17.40 * 5 * 9.46 * 1.13 * 1.03$$

$$q_u = 1638.569 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{net} = 1638.569 - 18.22 = 1620.35 \text{ kPa}$$

$$q_{em} = 1620.35 / 3 + 18.22 = 558.34 \text{ kPa}$$

$$q_{em} = 5.58 \text{ kg/cm}^2$$

Meyerof yöntemine göre diğer kuyular için yapılmış taşıma kapasitesi hesaplamalarına ait sonuçlar Çizelge 8'de verilmiştir.

Hansen Eşitliği ile Taşıma Kapasitesi Hesaplamaları

Hansen (1961), şekil, eğim, derinlik, temel ve yüzey eğim faktörü gibi parametreler kullanarak

Yeni bir taşıma gücü eşitliği oluşturmuştur. Yatay bir temel için Hansen'in geliştirdiği eşitlik aşağıdaki gibidir (Hansen, 1961):

$$q_{ult} = -c \cot \theta + (\gamma D_f + c \cot \theta) N_q S_q d_q + 0.5 \gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma \dots \dots \dots (7)$$

Eşitlikte:

$$S_q = 1 + \sin \theta (B/L) \text{ (Şekil faktörü),}$$

$$S_\gamma = 1 - 0.4 (B/L) \text{ (Şekil faktörü)}$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \theta (1 - \sin \theta)^2 D / B \text{ (Derinlik faktörü, } D \leq B)$$

$$d_\gamma = (\text{derinlik faktörü, } D \leq B, \text{ yatay temelde} = 1)$$

I_q, i_γ = yük eğim faktörleri (düşey yük konumunda yük eğim faktörleri = 1)

b_q, b_γ = taban eğim faktörleri (taban eğimi (α) = 0 konumunda, taban eğim faktörleri = 1) dir.

SK4 kuyusu, UD1 örneğine ait laboratuvar deneyi sonuçları ve proje değerleri eşitliklere konularak q_{em} hesaplanır.

$$S_q = 1 + \sin 27(5/10) = 1.23$$

$$S_\gamma = 1 - 0.4(5/10) = 0.8$$

$$d_q = 1 + 2 \tan 27(1 - \sin 27)^2 * 5 / 10 = 1.06$$

$\theta = 27^\circ$ için Hansen taşıma gücü faktörleri:

$$N_c = 24.03, N_q = 13.29, N_\gamma = 9.44 \text{ (Genç, 2008)}$$

$$q_{ult} = -28 * \cot 27 + (17.40 * 1 + 28 \cot 27) * 13.29 * 1.23 * 1.06 + 0.5 * 17.40 * 5 * 9.44 * 0.8$$

$$q_{ult} = 1532.10 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{net} = 1532.10 - 18.22 = 1513.88 \text{ kPa}$$

$$q_{em} = 1513.88 / 3 + 18.22 = 523 \text{ kPa} = 5.23 \text{ kg/cm}^2$$

Hansen eşitliğine göre diğer kuyular için yapılmış taşıma hesaplamaları sonuçları Çizelge 9'da verilmiştir.

Kayabaşı ve Gökçeoğlu

Çizelge 8. Taşıma kapasitesinin Meyerof (1963) yöntemi ile hesaplanması.
Table 8. Calculation of bearing capacity with Meyerof (1963) method.

Kıyü No	UD No	C (kN/m ²)	Ø (°)	Df/B	B/L	γ_{r_3} (kN/m ³)	Nc	Nq	N γ	K _p	Sc	Sq=Sy	dc	dq	q _u (kPa)	q _{em} (kg/cm ²)
SK4	UD1	28	27	0.2	0.5	17.40	23.40	13.20	9.46	2.66	1.27	1.13	1.07	1.033	1638.569	5.58
SK4	UD2	51	28	0.2	0.5	18.50	25.80	14.72	11.19	2.76	1.28	1.14	1.07	1.033	2700.352	9.12
SK4	UD3	57	13	0.2	0.5	18.50	9.81	3.26	0.74	1.58	1.16	1.08	1.05	1.025	783.5311	2.73
SK4	UD4	55	16	0.2	0.5	18.50	11.63	4.34	1.37	1.76	1.18	1.09	1.05	1.027	950.5512	3.29
SK11	UD4	27	30	0.2	0.5	19.70	30.14	18.40	15.67	2.99	1.30	1.15	1.07	1.035	2448.843	8.28
SK15	UD1	37	26	0.2	0.5	16.80	22.25	11.85	8.00	2.56	1.26	1.13	1.06	1.032	1710.319	5.82
SK15	UD2	73	21	0.2	0.5	18.80	15.82	7.07	3.42	2.11	1.21	1.11	1.06	1.029	1809.11	6.15
SK15	UD3	75	26	0.2	0.5	17.80	22.25	11.85	8.00	2.56	1.26	1.13	1.06	1.032	2876.086	9.71
SK15	UD4	50	18	0.2	0.5	18.00	13.10	5.26	2.00	1.89	1.19	1.09	1.05	1.027	1026.66	3.54
SK25	UD4	73	26	0.2	0.5	18.70	22.25	11.85	8.00	2.56	1.26	1.13	1.06	1.032	2849.354	9.62
SK27	UD2	58	22	0.2	0.5	18.70	16.88	7.82	4.07	2.19	1.22	1.11	1.06	1.030	1642.706	5.60
SK27	UD5	23	35	0.2	0.5	18.60	46.12	33.30	37.16	3.68	1.37	1.18	1.08	1.038	4369.888	14.69
SK36	UD1	40	23	0.2	0.5	18.70	18.05	8.66	4.82	2.28	1.23	1.11	1.06	1.030	1376.787	4.71

Çizelge 9. Taşıma kapasitesinin Hansen (1961) yöntemi ile hesaplanması.
Table 9. Calculation of bearing capacity with Hansen (1961) method.

Kuyu No	UD No	C (kN/m ²)	Ø (°)	Df/B	B/L	γ_1 (kN/m ³)	Nc	Nq	N γ	sq	s γ	dq	q _u (kPa)	q _{em} (kg/cm ²)
SK4	UD1	28	27	0.2	0.5	17.40	24.03	13.29	9.44	1.23	0.8	1.06	15.32	5.23
SK4	UD2	51	28	0.2	0.5	18.50	25.80	14.72	10.94	1.24	0.8	1.06	25.27	8.54
SK4	UD3	57	13	0.2	0.5	18.50	9.83	3.28	0.80	1.11	0.8	1.06	8.06	2.81
SK4	UD4	55	16	0.2	0.5	18.50	11.63	4.34	1.43	1.14	0.8	1.06	9.64	3.33
SK11	UD4	27	30	0.2	0.5	19.70	30.14	18.40	15.07	1.26	0.8	1.06	21.76	7.37
SK15	UD1	37	26	0.2	0.5	16.80	22.25	11.85	7.94	1.22	0.8	1.06	16.19	5.52
SK15	UD2	73	21	0.2	0.5	18.80	15.86	7.11	3.54	1.18	0.8	1.06	18.11	6.16
SK15	UD3	75	26	0.2	0.5	17.80	22.25	11.85	7.94	1.22	0.8	1.06	27.74	9.37
SK15	UD4	50	18	0.2	0.5	18.00	13.10	5.26	2.08	1.16	0.8	1.06	10.32	3.56
SK25	UD4	73	26	0.2	0.5	18.70	22.25	11.85	7.94	1.22	0.8	1.06	27.43	9.26
SK27	UD2	58	22	0.2	0.5	18.70	16.88	7.82	4.13	1.19	0.8	1.06	16.18	5.51
SK27	UD5	23	35	0.2	0.5	18.60	46.38	41.90	34.41	1.30	0.8	1.05	41.95	14.10
SK36	UD1	40	23	0.2	0.5	18.70	18.10	8.71	4.94	1.20	0.8	1.06	13.45	4.61

TEMEL ALANINI OLUŞTURAN KİL BİRİMİNDE OLUŞACAK OTURMA MİKTARININ BELİRLENMESİ

Temele uygulanan yük nedeniyle temeli oluşturan litolojik birimde oluşacak sıkışmalar oturma olarak tanımlanır. Üç tür oturma vardır: A) Âni (drenajsız-elastik oturma), B) Birincil konsolidasyon oturması, C) İkincil konsolidasyon oturması (plastik oturma).

İkincil konsolidasyon oturması özellikle killi zeminlerin aşırı yüklenmesi halinde söz konusu olur. Temel zemininin aşırı yüklenmemesi nedeniyle ikincil konsolidasyon oturması hesaplanmamıştır (Kumbasar ve Kip, 1992).

Âni (Drenajsız) Oturma

Zeminde hacim değişmesi olmadan meydana gelen oturma olup, Harr (1966) tarafından aşağıdaki eşitlikle ifade edilmiştir:

$$S_i = qB(1-\mu_v/E_u)I_s \dots\dots\dots (8)$$

Eşitlikteki;

S_i = âni oturma, q = uygulanan üniform basınç (Temel alanımızda net proje yükü 282 kPa olarak verilmiştir), B = en küçük yanal boyut (Genişlik veya çap, temel alanımızda $B=5$ m'dir), μ = poisson oranı (Doygun kil zeminler için 0.3 - 0.5 arasında önerilir. Bu çalışmada $\mu = 0.4$ olarak alınmıştır), E_u = drenajsız elastisite (young) modülü (Bu çalışmada zemin izotrop olarak kabullenilmiştir ve presiyometre deneyinden aynı seviyelere eş gelen presiyometre deformasyon modülleri kullanılmıştır), I_s = temel alanı şekli ve rijitliğine bağlı rijitlik faktörü. ($B = 5$, $L = 10$ ve $L/B = 2$ olması ve dikdörtgen ve rijit bir temel için 1.12 olarak Kumbasar ve Kip, (1992)'den belirlenmiştir.

SK4 kuyusunun UD1 numaralı numunenin alındığı seviyedeki ani oturma:

$$S_i = 282*5*(1-0.4^2)/12900*1.12 = 0.109 \text{ m} = 10.28 \text{ cm anlık oturma oluşacaktır.}$$

Diğer âni oturma hesaplamaları sonuçları Çizelge 10'da verilmiştir.

Konsolidasyon Oturması Hesaplamaları

Konsolidasyon oturması âni oturmayı izleyen aşamada, yüklemekten hemen sonra önce taneler arasındaki boşluklardaki havanın sıkışması ve bundan sonra da suyun basıncının zamanla sönümlenmesi ile oluşan oturmadır (Genç, 2008). Bu çalışmada konsolidasyon oturmasının tayini için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır:

$$S_c = m_v \cdot H \cdot \Delta\sigma' \dots\dots\dots (9)$$

Eşitlikte; S_c tabakanın mutlak oturma miktarı, $\Delta\sigma'$ yüklemekten dolayı tabaka ortasında meydana gelen etkin gerilme artışı, m_v hacimsel sıkışabilirlik katsayısı (konsolidasyon deneyi ile belirlenir), H kil tabakasının kalınlığıdır.

$$A_v = de/dp = (e_1 - e_2)/(p_2 - p_1) \dots\dots\dots (10)$$

$$m_v = a_v/(1+e_1) \dots\dots\dots (11)$$

Etkin gerilme artışı ($\Delta\sigma'$) dikdörtgen şekilli temelin uygulayacağı 300 kPa düzeyindeki yük dikkate alınarak Boussinesq Yöntemi (Craig, 1974) ile hesaplanmış ve 33.36 kPa olarak elde edilmiştir (bu değer temele aktarılan yükün %10'a yani 28 kPa'ya kadar sönümlendiği derinliğin yaklaşık 14 m olduğunu ifade eder). Tabaka kalınlığımız (H): 14 m olacaktır. Tabaka kalınlığının orta noktasında ise k etki faktörü:

$$m = 2.5/7 = 0.36, n = 5/7 = 0.71 \text{ değerlerine göre etki faktörü, } k = 0.080$$

$$\Delta\sigma' = 0.080*300*4 = 96 \text{ kPa (yük artışı)}$$

Çizelge 10. Ani oturma hesaplama sonuçları
Table 10. The results of immediate settlement calculation

Kuyu no	UD no	B(m)	L(m)	L/B	E(kPa)	Is	μ	q(kPa)	Si(m)	Si(cm)
SK4-1	UD1	5.00	10.00	2	12900	1.12	0.4	282	0.102832	10.28
SK4-2	UD2	5.00	10.00	2	19400	1.12	0.4	282	0.068378	6.84
SK4-3	UD3	5.00	10.00	2	19420	1.12	0.4	282	0.068307	6.83
SK4-4	UD4	5.00	10.00	2	27400	1.12	0.4	282	0.048413	4.84
SK11	UD4	5.00	10.00	2	27500	1.12	0.4	282	0.048237	4.82
SK15-1	UD1	5.00	10.00	2	33360	1.12	0.4	282	0.039764	3.98
SK15-2	UD2	5.00	10.00	2	20100	1.12	0.4	282	0.065996	6.60
SK15-3	UD3	5.00	10.00	2	37800	1.12	0.4	282	0.035093	3.51
SK15-4	UD4	5.00	10.00	2	19420	1.12	0.4	282	0.068307	6.83
SK25-1	UD4	5.00	10.00	2	33700	1.12	0.4	282	0.039363	3.94
SK27-1	UD2	5.00	10.00	2	19420	1.12	0.4	282	0.068307	6.83
SK27-2	UD5	5.00	10.00	2	40100	1.12	0.4	282	0.03308	3.31
SK36	UD1	5.00	10.00	2	31600	1.12	0.4	282	0.041979	4.20

$\sigma'_0 = 17.34 \cdot 15 - 17.34 - 13.5 \cdot 9.81 = 110.325$ (P_1 basıncı)

$\sigma'_1 = \sigma'_0 + \Delta\sigma' = 110.35 + 96 = 206.325$ (P_2 basıncı)

SK4 numaralı kuyumuzda UD1 numaralı numunemize ait konsolidasyon deneyi eğrisinden P_1 ve P_2 basınçlarındaki karşılık gelen boşluk oranı (e) değerleri bulunur (Şekil 8).

$a_v = (0.893 - 0.855) / 96 = 0.000396$

$m_v = 0.000396 / (1 + 0.893) = 2 \cdot 10^{-4}$ (kPa^{-1})

$S_c = 2 \cdot 10^{-4} \cdot 96 \cdot 14 = 0.281$ m = 28.1 cm olarak bulunur.

Diğer konsolidasyon oturması hesaplamaları Çizelge 11'de verilmiştir.

Presiyometre Yöntemi ile Oturma Hesaplamaları

Menard vd. (1962) presiyometre deney sonuçlarından yararlanarak temel oturmalarının tahminine yönelik homojen zeminler için aşağıdaki eşitliği önermişlerdir:

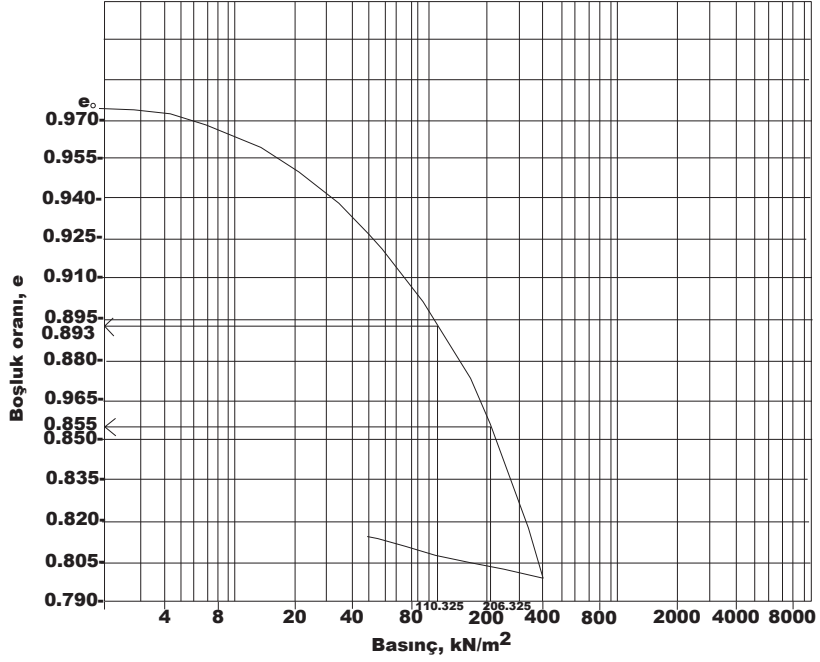
$$S = \frac{2}{(9 \cdot E_M)} \cdot q \cdot B_o \cdot (\lambda d \cdot B / B_o)^{\alpha} + \frac{\alpha}{(9 \cdot E_M)} \cdot q \cdot \lambda c \cdot B \dots \dots \dots (12)$$

Eşitlikteki;

S = toplam oturma (cm),

E_M = homojen kabul edilen zeminde yapılan deneylerden elde edilen presiyometre deformasyon modüllerinin harmonik ortalaması (kg/cm^2),

q = proje yükü (kg),



Şekil 8. SK4 nolu kuyudan alınan UD 1 numunesinden yapılan konsolidasyon deneyi Boşluk oranı (e)-basınç eğrisi (p).

Figure 8. The consolidation test void ratio(e)-pressure (p) line of UD1 from borehole SK4.

Çizelge 11. Konsolidasyon oturması hesaplama sonuçları.

Table 11. The results of consolidation settlement calculation

Kuyu no	B(m)	L(m)	m	n	k	$\Delta\sigma'$	P1(kPa)	P2(kPa)	e1	e2	av	mv	sc(cm)
SK4-1	5.00	10.00	0.36	0.71	0.08	96.00	110.33	206.33	0.876	0.860	0.000167	8.88415E-05	11.94
SK4-2	5.00	10.00	0.36	0.71	0.08	96.00	110.33	206.33	0.823	0.802	0.000219	0.000119995	16.13
SK4-3	5.00	10.00	0.36	0.71	0.08	96.00	110.33	206.33	0.920	0.902	0.000188	9.76563E-05	13.13
SK4-4	5.00	10.00	0.36	0.71	0.08	96.00	110.33	206.33	0.908	0.887	0.000219	0.000114649	15.41
SK11	5.00	10.00	0.36	0.71	0.08	96.00	110.33	206.33	0.752	0.735	0.000177	0.000101075	13.58
SK15-1	5.00	10.00	0.36	0.71	0.08	96.00	110.33	206.33	1.077	1.036	0.000427	0.000205625	27.64
SK15-2	5.00	10.00	0.36	0.71	0.08	96.00	110.33	206.33	0.692	0.677	0.000156	9.23463E-05	12.41
SK15-3	5.00	10.00	0.36	0.71	0.08	96.00	110.33	206.33	0.996	0.981	0.000156	7.82816E-05	10.52
SK15-4	5.00	10.00	0.36	0.71	0.08	96.00	110.33	206.33	1.020	0.988	0.000333	0.000165017	22.18
SK25-1	5.00	10.00	0.36	0.71	0.08	96.00	110.33	206.33	0.723	0.690	0.000344	0.000199507	26.81
SK27-1	5.00	10.00	0.36	0.71	0.08	96.00	110.33	206.33	0.797	0.776	0.000219	0.000121731	16.36
SK27-2	5.00	10.00	0.36	0.71	0.08	96.00	110.33	206.33	0.812	0.783	0.000302	0.000166713	22.41
SK36	5.00	10.00	0.36	0.71	0.08	96.00	110.33	206.33	0.791	0.774	0.000177	9.8874E-05	13.29

Çizelge 12. Presiyometre deneyi ile oturma hesaplaması sonuçları.

Table 12. The results of settlement calculation with pressuremeter test.

Kuyu No	B (m)	L (m)	Df (m)	Bo (m)	L/B	α	λ_d	λ_c	q (kg/cm ²)	E_M (kg/cm ²)	Oturma artış oranı (%)	Oturma S (cm)
SK4	5	10	1	0.6	2	0.66	1.53	1.2	2.82	181.2	0.18	2.31
SK11	5	10	1	0.6	2	0.66	1.53	1.2	2.82	83.3	0.18	5.03
SK15	5	10	1	0.6	2	0.66	1.53	1.2	2.82	91.0	0.18	4.61
SK25	5	10	1	0.6	2	0.66	1.53	1.2	2.82	100.0	0.18	4.20
SK27	5	10	1	0.6	2	0.66	1.53	1.2	2.82	273	0.18	1.54
SK36	5	10	1	0.6	2	0.66	1.53	1.2	2.82	127	0.18	3.3

Bo = temel referans genişliği (genellikle 0.6 m alınır),

λ_d ve λ_c = temel şekli/biçim faktörü (Temel uzunluğunun temel genişliğine oranına (L/B) bağlı olarak çizelge ve/veya grafik değerleri kullanılarak elde edilir (Menard vd., 1962),

a = reolojik katsayı (E_M/P_1 oranına göre çizelgeden belirlenir (Menard vd., 1962).

B = temel genişliğidir (cm).

SK 4 numaralı kuyu içinde yapılan presiyometre deneylerinde elde edilen presiyometre deformasyon modülü (E_M) değerlerinin harmonik ortalaması:

$$n/E_M = 1/E_1 + 1/E_2 + 1/E_3 + \dots + 1/E_n \dots \dots \dots (13)$$

$$3/E_M = 1/129 + 1/194 + 1/274 = 181.2 \text{ kg/cm}^2$$

$$S = (2/(9 \cdot 181.2)) \cdot 2.82 \cdot 60 \cdot (1.53 \cdot (500/60))^{0.66} + (0.66/(9 \cdot 181.2)) \cdot 2.82 \cdot 1.2 \cdot 500$$

$$S = 1.97$$

Yüzey etkisi Df < B durumunda,

oturma değerinde D/B oranına göre artış yapılır (Menard ve Rouseau, 1962). D/B oranı 1/5'tir, yaklaşık %18 artışa neden olur.

Oturma artış oranı: % 18

$S_T = 2.31$ cm olarak bulunur.

Presiyometre yöntemine göre yapılan oturma hesaplamaları Çizelge 12'de verilmiştir.

Temel alanını oluşturan kil biriminde şişme sorunu

Çalışma alanında açılan sondajlardan alınan bozulmamış numunelerde yapılan serbest şişme deneylerinden kil biriminin ortalama % 4 şişme yüzdesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Seed vd., (1962) tarafından yapılan şişme potansiyeli sınıflamasına göre temel alanını oluşturan kil birimi orta dereceli şişme potansiyeline sahiptir. Sridharan ve Gurdug (2004) ise şişme yüzdesi ile şişme basıncı arasında aşağıdaki eşitliği önermişlerdir.

$$P_s = 48.22 \cdot S \dots \dots \dots (14)$$

Eşitlikteki;

Ps: şişme basıncı (kPa)

S: şişme yüzdesi (%)

% 4 şişme yüzdesi Ps = 1.93 kg/cm² şişme basıncı olarak temele etkiyecektir. Net proje

yükünün 2.82 kg/cm² olması durumunda şişme sorunu dengelenebilecekken 1.93 kg/cm²'den düşük proje yükü uygulandığında zeminde kabarma sorunu ortaya çıkacaktır.

SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

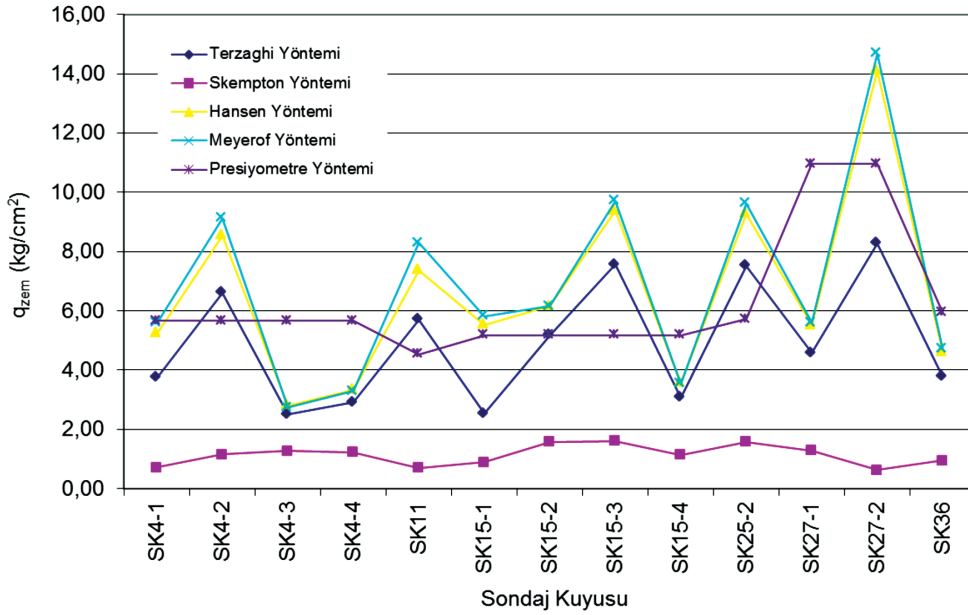
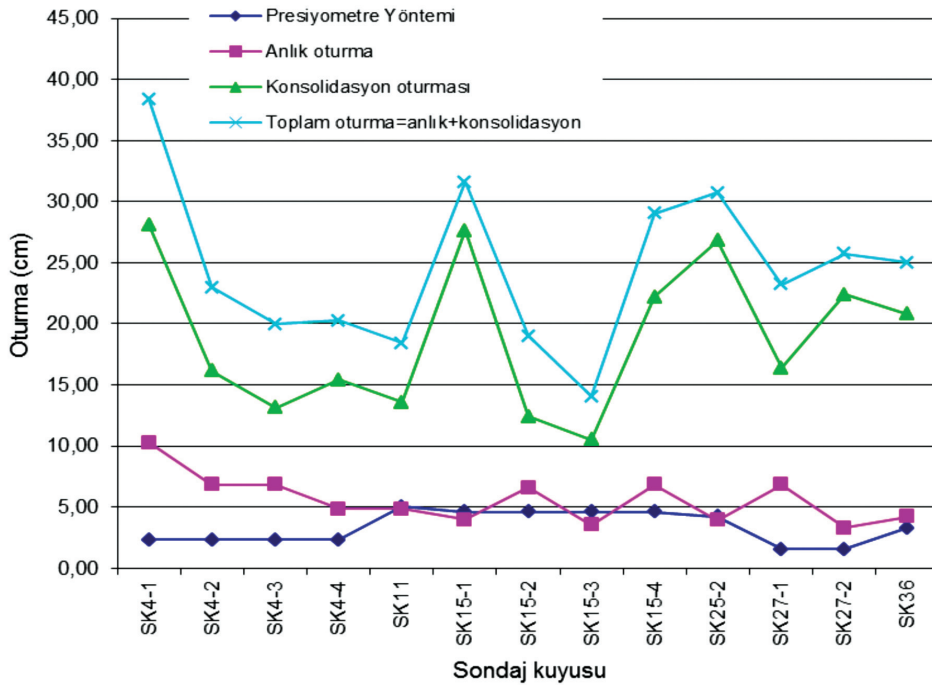
Bu çalışmada Mersin ili atık su arıtma projesi kapsamında inşa edilecek olan arıtma tesislerinin yerleştirileceği temel alanının zemin özellikleri belirlenmiş, temel birimi olan kil zeminin, proje yükü altında sergileyebileceği taşıma, oturma ve şişme davranışları kestirilmeye çalışılmıştır. Taşıma ve oturma hesaplamaları sonuçları kendi aralarında karşılaştırılmış ve farklılıkların nedenleri açıklanmıştır.

Terzaghi, Hansen, Meyerof ve Presiyometre yöntemleri ile belirlenen emniyetli taşıma gücü değerleri birbirine çok yakın değerler verirken, sadece kohezyon değeri ile zemin emniyet gerilmesi hesaplayan Skempton Yöntemi en düşük emniyetli taşıma gücü değerlerinin belirlenmesine neden olmuştur (Şekil 9). Tane boyu dağılım analizleri temel alanını oluşturan birimin çoğunlukla yüksek plastisiteli kil olduğunu göstermekle birlikte birkaç seviyeden alınan numunelerin düşük plastisiteli kil olduğu tespit edilmiştir. Genel kanı olarak killerin içsel sürtünme açısı olmadığı düşüncesi vardır. Doğada içsel sürtünme açısı olmayan kil bulunabilmesi özel özgün koşullara bağlıdır. Temel alanımızdaki kil birimi, gerek üç eksenli sıkışma deneylerinde gerekse de kesme deneylerinde içsel sürtünme açısı değeri vermektedir. Dolayısıyla sadece kohezyon değeri ile emniyetli taşıma gücünün hesaplandığı Skempton Yöntemi bu çalışma için yetersiz kalmış ve düşük zemin emniyet gerilmesi sonuçları vermiştir.

Temel alanını oluşturan kil birimde ani oturma, konsolidasyon oturması ve presiyometre

yöntemi ile oturma hesaplamaları yapılmıştır. En düşük oturma sonuçlarını presiyometre yöntemi vermiştir (Şekil 10). İnce taneli zeminlerde (kil-silt) drenajın zorluğundan kaynaklı olarak konsolidasyonun uzun sürmesi, temeldeki oturmanın da uzun süreli olmasına neden olmaktadır. Presiyometre deneyinin en az on basamaklı ve 1'er dakika beklemeli basınç-hacim değişimi kayıtları ile belirlenen deformasyon modül değerleri, ince taneli zeminlerin uzun süreli konsolidasyonunun tespitinde yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle ince taneli zeminlerde presiyometre ile tespit edilen oturma hesaplamalarında temkinli olunması ve mutlaka konsolidasyon deneyi de yapılarak konsolidasyon oturmasının da hesaplanması önerilmiştir. Önerilmiş olan bu düşünce Baquelin vd., (1978)'in The Pressuremeter And Foundation Engineering kitabında sayfa 291'de yapılan açıklamalarla desteklenmektedir.

Temel alanı için emniyetli taşıma gücü (q_{em}) değerleri Terzaghi, Meyerof, Hansen ve Presiyometre yöntemlerinin tamamında 2'den büyüktür ve güvenlidir. Bununla birlikte aynı güvenilirlik temelini oluşturacağı oturma açısından sağlanamayacaktır. Kil zeminlerde projelendirmeler için maksimum oturma sınırı tekil temellerde 60 mm, yayılı temellerde ise 100 mm'dir (Genç, 2008). Çalışma alanı için tespit edilen toplam oturma değeri en yüksek 39.04 cm ile SK4 numaralı kuyudan alınan UD1 numaralı örnekte, en düşük oturma değeri ise 14.25 cm ile SK15 numaralı kuyuda UD3 numaralı örnekte hesaplanmıştır. Tespit edilen oturma değerleri proje açısından risk teşkil etmektedir. Temel alanını oluşturan kil biriminde yüksek aktivite ve orta derecede şişme potansiyeli tespit edilmiştir. Net proje yükünün şişme basıncından

Şekil 9. Emniyetli taşıma gücü (q_{cm}) değerlerinin çizgi grafiği.Figure 9. The line graph of allowable bearing capacity (q_{al}).

Şekil 10. Hesaplanan oturma değerlerinin çizgi grafiği.

Figure 10. The line graph of calculated settlement values.

fazla olması gerekmektedir. İnşaat aşaması ve öncesinde bu konuların değerlendirilmesi ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- APAGEO., 2006. Menard Pressuremeter (G Type) operating instructions, 2006 edition.
- ASTM (American society for testing and materials), 1994. Annual book of ASTM Standards-Section 4, Construction, V. 0408 Soil and Rock; Building Stones. ASTM Publication, 978 p.
- Baquelin, F., Jezequel, J.F., Shields, D.H., 1978. The Pressuremeter and Foundation Engineering. Trans Tech Publications, Clausthal-Zellerfeld, Germany, 617 p.
- Clarke, B.G., 1995. Pressuremeters in Geotechnical Design (1. Edition). Chapman&Hall, 2-6 Boundary Row, London SE1 8HN. UK, 364 p.
- Craig, R.F., 1974. Soil Mechanics. Longman, England, 410 p.
- Genç, D., 2008. Zemin Mekaniği ve Temeller (1. Baskı). Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını, yayın no:100, Ankara, 848 s.
- Gürsoy, N., Kayabaşı, A., 1995. Mersin Belediyesi Kanalizasyon Projesi Arıtma Tesisleri Zemin Araştırma Sonuçları. EİEİ, yayın no:95-4. Ankara, 285 s.
- Hansen, J.B., 1961. The Bearing Capacity of Sand Tested by Loading Circular Plates. 5 th International Conference on Soil Mechanic Foundation. England:Vol.1, Paris.
- Harr, M.E., 1966. Fundamentals of Theoretical Soil Mechanics. McGraw-Hill, New York.
- Kumbasar, V., Kip, F., 1992. Zemin Mekaniği Problemleri (5. Baskı). Çağlayan Basımevi, İstanbul, 614 s.
- Leonards, G.A., 1962. Foundation Engineering. McGraw Hill, Tokyo, 113 p.
- Means, R.E., Pacher, J.W., 1963. Physical Properties of Soils. Charls E. Merril Publicatipn Company., Columbia, Ohio, 467 p.
- Menard, L., Rouseau, J., 1962. L'evaluation des tassements-Tendances nouvelles-Sols-Soils. Vol. I, No. 1 Juin, 13-29.
- Meyerof, G.G., 1963. Some recent research on the bearing capacity of foundations. Canadian Geotechnical Journal, Vol.1, No.1, 16-26.
- Seed, H., Woodward, R.J. and Lundgren, R., 1962. Prediction of swelling potential of compacted clay. Journal of Soil Mechanic and Foundation Division, A.S.C.E, 88 (3), 53-87.
- Seed, H.B., Woodward, R.J. and Lundgren, R., 1964. Fundamental aspects of the Atterberg Limits. Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, A.S.C.E, Cilt.90, No. SM6, 75-105.
- Sridharan, A., Gurdug, Y., 2004. Swelling behavior of compacted fine-grained soils. Engineering Geology, 72 (1-2), 9-18.
- Skempton, A.W., 1951. The bearing capacity of clays. Proceedings, Building Research Congress, London.
- SPSS., 2002. Statistical Package for the Social Sciences (v.11.5). SPSS Inc., Chicago, IL.
- Terzaghi, K., 1943. Theoretical Soil Mechanics. John Wiley&Sons, New York.
- Terzaghi, K., Peck, R.B., 1968. Foundation Design and Construction. Pitman, London.
- Türk Standartları Enstitüsü (TSE), 1988. İnşaat mühendisliğinde temel zemini özelliklerinin yerinde ölçümü. TS 5744, 35 s.
- Türk Standartları Enstitüsü (TSE), 1997. Jeoteknik Tasarım Bölüm 3, Arazi Deneyleri Yardımıyla Tasarım (TS ENV 1997-3, Eurocode 7), (in Turkish).
- USBR (United States Dep. Int. Bur. Reclamation), 1974. Earth Manual. A water Reseources Technical Publication. Denver, Colo., 810 p.