



EMPEDANS FAKTÖRÜ KULLANILARAK KONSOLİDASYON DENEYİNDE KULLANILAN GÖZENEKLİ TAŞLARIN GEÇİRİMLİLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Mustafa ÖZER^{1*}, Nurcan BAKDI²

¹ Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

² Karayolları 4. Bölge Müdürlüğü, Ankara, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Konsolidasyon Deneyi,
Gözenekli Taş,
Empedans Faktörü,
Geçirimsizlik,
Killi Zemin.*

Öz

Bu çalışmada, konsolidasyon deneyinde kullanılan gözenekli taşların geçirimsizlik katsayıları ölçülmüş ve ASTM D2435 (2011)'de tanımlanan empedans faktörü kullanılarak bu taşların hangi tür zeminler için uygun olabileceği değerlendirilmiştir. Gözenekli taşların geçirimsizliği iki farklı yaklaşımla değerlendirilmiştir. Birinci yaklaşımda, gözenekli taşların empedans faktörünün 100'den büyük olmasını sağlayacak zeminlerin geçirimsizlik katsayıları hesaplanmış ve bu taşların hangi tür zeminler için uygun olabileceği belirlenmiştir. İkinci yaklaşımda ise literatürde bulunan zeminlere ait tipik geçirimsizlik katsayıları kullanılarak gözenekli taşların empedans faktörleri hesaplanmış ve hesaplanan değerlerin 100'den büyük olup olmadığına bakılarak hangi tür zeminler için uygun olabileceği değerlendirilmiştir. Deneysel çalışmalarda, çeşitli kamu kurumlarından ve üretici firmalardan temin edilen 7 farklı gözenekli taş kullanılmıştır. Yapılan ölçümler ve hesaplamalar sonucunda çalışmada kullanılan tüm taşların killi ve siltli-killi zeminlerin konsolidasyon deneyi için uygun olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, ASTM D2435 (2011)'de tanımlanan empedans faktörünün konsolidasyon deneyinde kullanılan gözenekli taşların geçirimsizliğinin değerlendirilmesinde oldukça faydalı sonuçlar verdiğini göstermiştir.

EVALUATION OF THE PERMEABILITY OF POROUS STONES USED IN THE CONSOLIDATION TEST BY USING THE IMPEDANCE FACTOR

Keywords

*Consolidation Test,
Porous Stone,
Impedance Factor,
Permeability,
Clayey Soil.*

Abstract

In this study, the permeability coefficients of the porous stones used in the consolidation test were measured and for which types of soils these stones would be suitable is evaluated by using impedance factor defined in ASTM D2435 (2011). The permeability of porous stones was evaluated with two different approaches. In the first approach, the permeability coefficients of the soils that will make the impedance factor of porous stones greater than 100 is calculated and for which soils these stones may be suitable. In the second approach, the impedance factors of porous stones were calculated by using the typical permeability coefficients of the soils derived from geotechnical literature and it was evaluated for which types of soils are suitable by taking into account whether the calculated value is greater than 100. In the experimental study, 7 different porous stones obtained from various public institutions and manufacturers are used. As a result of the measurements and calculations, it was determined that the stones used in the study are suitable for the consolidation test of clayey and silty-clayey soils. The results obtained showed that the impedance factor defined in ASTM D2435 (2011) gives very useful results in evaluating the permeability of porous stones used in the consolidation test.

Alıntı / Cite

Özer, M., Bakdı, N., (2020). Empedans Faktörü Kullanılarak Konsolidasyon Deneyinde Kullanılan Gözenekli Taşların Geçirimsizliğinin Değerlendirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(2), 533-540.

* İlgili yazar / Corresponding author: ozer.m@gazi.edu.tr, +90-312-202-8878

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
M. Özer, 0000-0001-6846-8441	Başvuru Tarihi / Submission Date	10.02.2020
N. Bakdı, 0000-0002-4093-8306	Revizyon Tarihi / Revision Date	10.04.2020
	Kabul Tarihi / Accepted Date	12.04.2020
	Yayın Tarihi / Published Date	25.06.2020

1. Giriş (Introduction)

Konsolidasyon; düşük permeabiliteli ve suya doymun killi zeminlerde, uygulanan yükler nedeniyle sıkışan suyun zamanla drene olması ve artan boşluk suyu basıncının zamana bağlı olarak sönümlenmesi sonucunda meydana gelen bir hacim azalmasıdır (Budhu, 2011; Holtz, Kovacs ve Sheahan, 2015; Knappett ve Craig, 2012). Geoteknik literatüründe bu hacim azalmasına “konsolidasyon oturması” denilmektedir. Killi zeminlerde meydana gelen konsolidasyon oturmasının miktarı ve bu oturmanın gerçekleşmesi için geçen süre, mühendislik yapılarının güvenli olması bakımından önemlidir. Konsolidasyon oturmasının hesaplanması için “gerilme-şekil değiştirme”, oturmanın gerçekleşeceği sürenin hesaplanması için “şekil değiştirme-zaman” ilişkilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu ilişkilerin belirlenmesi için araziden örselenmemiş numune alınıp, laboratuvarında “konsolidasyon deneyi” yapılması gerekmektedir.

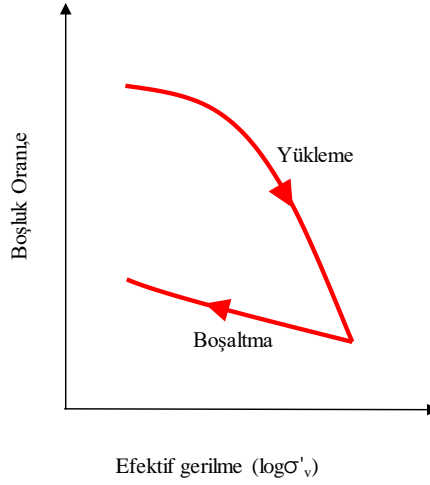
Konsolidasyon deneyinde, sondaj yapılarak UD tüpleriyle araziden alınan örselenmemiş zemin örneği laboratuvara getirilir ve hidrolik baskı yoluyla yine örselenmeden UD tüpünden çıkartılarak konsolidasyon halkasına yerleştirilir. Gerekli ölçümler alındıktan sonra konsolidasyon halkası içindeki zemin numunesiyle birlikte konsolidasyon hücresine yerleştirilir. Bu esnada konsolidasyon halkasının alt ve üst kısmına gözenekli taşlar yerleştirilir (Şekil 1). Gözenekli taş ile zemin numunesi arasına filtre (süzgeç) kağıdı yerleştirilir. Sabitleme halkası ve yük başlığı da takıldıktan sonra konsolidasyon hücresi konsolidasyon deney aletine yerleştirilir.



Şekil 1. Konsolidasyon deneyinde, a) gözenekli taşların yerleştirilmesi, b) numunenin konsolidasyon hücresine yerleştirilmesi (In the consolidation test, a) placing porous stones, b) placing the sample in the consolidation cell)

Konsolidasyon deney aletinde zemin numunesinin üzerine planlanan yükler uygulanır. Her yüklemeden sonra meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının sönümlenmesi için (suyun düşey yönde hareket ederek gözenekli taşlardan geçip drene olması için) 24 saat beklenir. 24 saatin sonunda numunedeki düşey boy değişimi ölçülür ve kaydedilir. Her seferinde yük iki katına çıkartılarak yeterli sayıda (en az 4) yükleme yapılarak planlanan en yüksek basınç mertebesine çıkılır. Son basınç mertebesi yarıya veya dörtte bir düşürülerek yük boşaltılır. Her yük boşaltmasından sonra 24 saat beklenerek numunedeki boy değişimi ölçülür ve kaydedilir. Numune, halkanın içinden çıkartılır ve gerekli ölçümler alınarak deney bitirilir. Deneyin sonunda, her yükleme adımı için numune üzerine uygulanan düşey efektif gerilme (σ') ve boşluk oranı (e) değerleri (veri çiftleri) hesaplanır ve bu değerler kullanılarak e - $\log \sigma'$ grafiği çizilir (ASTM/D2435, 2011; Holtz, Kovacs ve Sheahan, 2015; Yılmaz, Yıldırım ve Keskin, 2016). Killi zeminlerden elde edilen tipik bir e - $\log \sigma'$ grafiği Şekil 2'de verilmiştir.

Boşluk oranı-logaritmik efektif gerilme grafiği yardımıyla zeminin jeolojik geçmişi boyunca maruz kaldığı en büyük gerilme (ön konsolidasyon basıncı) (σ'_p) hakkında bilgi edinilir. Bununla birlikte, sıkışma indisi (c_c) ve kabarma indisi (c_s) gibi parametreler de elde edilebilir. Ayrıca, konsolidasyon deneyi ile elde edilen sonuçlardan yararlanılarak her yükleme adımı için hacimsel sıkışma katsayısı da (m_v) hesaplanabilmektedir. Konsolidasyon oturmasının hesaplanmasında kullanılan bu parametrelerin sağlıklı bir şekilde elde edilebilmesi için deneyde kullanılan gözenekli taşın uygun özelliklere sahip olması gerekir. Bu özelliklerin de başında gözenekli taşın hidrolik iletkenliği (geçirimliliği) gelmektedir. Çünkü konsolidasyonun gerçekleşmesi için zeminin gözeneklerinde bulunan suyun dışarı çıkması (drene olması), bunun için de deneyde kullanılan gözenekli taşların yeteri kadar geçirimli olması gerekmektedir.



Şekil 2. Tipik bir e-logσ' grafiği (a typical e-logσ' graphic)

Konsolidasyon deneyi için yaygın olarak kullanılan standartların başında ASTM D 2435 gelmektedir. ASTM D 2435'in ilk versiyonu 1965 yılında yürürlüğe girmiş olup, belli aralıklarla güncellenmiştir. Son zamanlardaki güncellemeler 1990, 1996, 2002, 2003, 2004 ve 2011 yıllarında gerçekleştirilmiştir. Günümüzde halen 2011 yılında güncellenen sürümü kullanılmaktadır (ASTM, 2020).

ASTM D 2435'in 2011'e kadar olan sürümlerinde gözenekli taşın geçirimsizliği ile ilgili "gözenekli taşın permeabilitesi zeminin permeabilitesinden en az bir derece daha büyük olmalıdır" ifadesi yer almaktadır.

ASTM D2435 (2011)'de ise gözenekli taşların geçirimsizliği "empedans faktörü" kavramıyla ifade edilmektedir. Empedans faktörü, gözenekli taşın hidrolik iletkenliği ile zeminin drenaj yolunun uzunluğunun çarpımının, zeminin hidrolik iletkenliği ile taşın kalınlığının çarpımına oranı olarak tanımlanmaktadır (ASTM D2435, 2011).

Bu ifade eşitlik halinde yazıldığında Eşitlik (1)'de görülen bağıntı elde edilmektedir. Bu bağıntıdan da görülebileceği gibi empedans faktörü, gözenekli taşın geçirimsizliğinin yanı sıra deneyde kullanılan zeminin geçirimsizliğine de bağlıdır.

$$E = \frac{k_{\text{taş}} \times h_{\text{dr}}}{k_{\text{zemin}} \times h_{\text{taş}}} \quad (1)$$

- $k_{\text{taş}}$: Gözenekli taşın geçirimsizlik katsayısı (m/s)
 k_{zemin} : Zeminin geçirimsizlik katsayısı (m/s)
 h_{dr} : Zeminin drenaj yolunun uzunluğu (m)
 $h_{\text{taş}}$: Gözenekli taşın kalınlığı (m)

ASTM D2435 (2011)'de kesin bir ölçüt verilmemiş olmakla birlikte, gözenekli taşın uygun olabilmesi için Eşitlik (1) ile hesaplanan empedans faktörünün en az 100 veya daha büyük olması gerektiği belirtilmiştir (ASTM D2435, 2011). Bununla birlikte ASTM D2435 (2011)'de gözenekli taşın kalınlığı ile ilgili herhangi bir kısıtlama getirilmemiş, yükleme esnasında kırılmasını önleyecek kadar kalın olmasının yeterli olacağı belirtilmiştir.

Zemin mekaniği laboratuvar deneylerinden yaygın olarak kullanılan diğer bir standart olan BS 1377-5 (1990)'da gözenekli taşların geçirimsizliği "gözenekli taşların porozitesi deney numunesinin içinden serbest su akışına izin vermeli ancak gözeneklerinin içine zemin tanelerinin girmesine izin vermemelidir" ifadesiyle belirtilmektedir. Bunun haricinde BS 1377-5 (1990)'da taşların geçirimsizliği ile ilgili herhangi bir ölçüt tanımlanmamıştır.

Ülkemizde halen geçerli olan zemin mekaniği laboratuvar deneyleri standardı TS 1900-2 (2006) 'da ise gözenekli taşların geçirimsizliği ile ilgili "uygun geçirimsizlikte olmalı" ifadesi bulunmakta, ancak bu geçirimsizliğin değerlendirilmesiyle ilgili herhangi bir ölçüt verilmemektedir (TS 1900-2, 2006).

Bu çalışmada, çeşitli kamu kurumlarından ve üretici firmalardan farklı kalınlık ve farklı geçirimsizlik değerlerine sahip gözenekli taşlar temin edilmiş ve çeşitli zeminler için Eşitlik (1) kullanılarak bu taşların hangi zeminler için uygun olabileceği değerlendirilmiştir. Gözenekli taşların geçirimsizlik katsayıları bu çalışma kapsamında ölçülmüş, zeminlerin geçirimsizlik katsayıları ise literatürde bulunan katalog değerleri kullanılarak seçilmiştir.

2. Önceki Çalışmalar (Previous Studies)

Bu konuda daha önce yapılmış çalışmalar araştırılmış fakat doğrudan bu konu üzerine yapılmış bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu konuya yakın olduğu düşünülen bazı çalışmalar ise aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Bishop ve Gibson (1963), konsolidasyon deneyinde kullanılan gözenekli taşın empedans faktörünü dikkate aldığı çalışmasında farklı gözenekli taşlar için kil geçirgenlik oranında %50 empedans faktörü için konsolidasyon katsayısı (c_v) hesabında %7'lik hata oluştuğunu, empedans faktörünün daha büyük değerlerinde bu hataların azaldığını gözlemlemiştir. Sonuç olarak gözenekli taşın geçirimsizliğinin zemin geçirimsizliğinden daha fazla olması gerektiğini açıklamıştır.

Newland ve Allely (1960), basınç artış oranının ve numune kalınlığının Whangamarino killerin konsolidasyon karakteristikleri üzerindeki etkisini araştırdığı çalışmasında, deneylerde filtre kâğıtlı ve filtre kâğıtsız olarak eski ve yeni (daha önce kullanılmış ve kullanılmamış) gözenekli taş kullanılmasının %50 konsolidasyon (t_{50}) için hesaplanan c_v üzerindeki etkisini incelemiştir. Newland ve Allely (1960) çalışmasında, yeni taş kullanarak yaptığı deneylerde t_{50} konsolidasyon için gereken sürenin kısaltıldığını (daha küçük t_{50}) ve bunun sonucunda da daha yüksek c_v katsayısı elde edildiğini göstermiştir. Ayrıca deneylerde filtre kâğıdı kullanılmasının da konsolidasyon süresini kısalttığını ve dolayısıyla c_v katsayısını artırdığını tespit etmiştir.

Sridharan, Rao ve Murthy (1986), yaptıkları çalışmada tek değerli, çift değerli ve üç değerli katyonlar kullanarak bentonit kilinin Atterberg limitleri ve sıkışabilirlik karakterlerini incelemiştir. İncelemeleri sonucunda katyon miktarının artmasıyla birlikte konsolidasyon oranının ve permeabilite katsayısının da arttığını ve bu değerlerin tek değerli katyonlu bentonitte daha etkili olduğunu gözlemlemiştir.

Yılmaz ve Çelik (2012), yaptıkları çalışmada Erzurum Oltu yöresine ait kile ağırlıkça %10, %20, %30 ve %50 oranlarında öğütülmüş kuvars kumu koyarak kil numunesinin konsolidasyon oturması ve şişme davranışlarını iyileştirmeye çalışmışlardır. Kuvars eklenen killi zemine konsolidasyon ve şişme deneyleri yapmışlar ve eklenen kuvars kumunun artmasıyla zemin numunesinin konsolidasyon katsayısının arttığı ve hacimsel sıkışma katsayısının azaldığı gözlemlemiştir.

Arsoy, Keskin ve Yılmaz (2007), yaptıkları çalışmada seçilen bir kil numunesine düşen seviyeli permeabilite deneyi ile konsolidasyon deneyleri yapmışlardır. Sonuç olarak düşen seviyeli permeabilite deneyi ile bulunan permeabilite katsayısının konsolidasyon deneyi ile bulunan permeabilite katsayısından daha büyük olduğu gözlemlemiştir.

3. Malzeme ve Yöntemler (Materials and Methods)

3.1. Malzemeler (Materials)

Bu çalışmada, çeşitli kamu kurumlarından ve üretici firmalardan temin edilen 7 farklı gözenekli taş kullanılmıştır (Şekil 3). Taşların bazıları daha önce konsolidasyon deneylerinde kullanılmış bazıları ise daha önce hiç kullanılmamıştır.



Şekil 3. Deneylerde kullanılan gözenekli taşlar (Porous stones used in experiments)

Gözenekli taşlar 1'den 7'ye kadar numaralandırılmış ve taşların kalınlıkları çapları ve yüzey alanları toplu halde Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. İncelenen gözenekli taşlara ait fiziksel değerler (Physical values of the porous stones examined)

Taşın numarası	Taşın Kalınlığı (mm)	Taşın Çapı (mm)	Taşın Yüzey Alanı (mm ²)	Daha önce kullanılma durumu
1	5	50	1963	Eski (~ 5 yıl)
2	5	50	1963	Eski (~ 5 yıl)
3	6	50	1963	Yeni
4	6	50	1963	Eski (+10 yıl)
5	6	50	1963	Eski (+10 yıl)
6	6	50	1963	Eski (+10 yıl)
7	6	50	1963	Eski (+10 yıl)

1 ve 2 nolu taşlar Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Zemin Mekaniği Laboratuvarından alınmış olup, yaklaşık 5 yıldır kullanılan taşlardır. Taşların kullanım yoğunluğu yılda yaklaşık 10 deney olarak kaydedilmiştir. 3 nolu taş üretici bir firmadan temin edilmiş olup hiç kullanılmamıştır. 4, 5, 6 ve 7 nolu taşlar Karayolları Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiş olup, 10 yıldan fazla bir süredir kullanıldığı öğrenilmiştir.

Empedans faktörünün hesaplanabilmesi için gerekli olan zemin geçirimsizlik katsayıları Geoteknik literatürden elde edilmiştir. Çeşitli kaynaklarda zemin türlerine göre geçirimsizlik katsayıları bulunabilmektedir. Örneğin Terzaghi ve Peck (1948), zeminleri geçirimsizlik derecelerine göre sınıflandırmış ve bu sınıflara denk gelen geçirimsizlik katsayılarını tablo halinde vermiştir. Murthy (2003) zemin türlerine bağlı olarak olası geçirimsizlik katsayılarını tablo halinde vermiştir. Das (2010) suya doygun zeminlerin tipik geçirimsizlik katsayılarını tablo halinde vermiştir. Bahsedilen bu kaynaklardan alınan geçirimsizlik katsayıları sırasıyla Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 2. Zeminlerin geçirimsizlik değerlerine göre sınıflandırılması (Terzaghi ve Peck, 1948). (Classification of soils according to their permeability values)

Geçirimsizlik Derecesi	Ortalama Geçirimsizlik Katsayısı, k (m/s)
Yüksek	$>10^{-3}$
Orta	$10^{-3}-10^{-5}$
Düşük	$10^{-5}-10^{-7}$
Çok Düşük	$10^{-7}-10^{-9}$
Pratikte Geçirimsiz	$<10^{-9}$

Tablo 3. Zemin türlerine bağlı olarak olası geçirimsizlik katsayıları (Murthy, 2003). (Possible coefficient of permeability depending on soil types)

k (m/s)	Zemin türü	Drenaj durumu
(1) - (0,1)	Temiz çakıl	İyi
(0,1)	Temiz kum	İyi
$(10^{-3}) - (10^{-6})$	Temiz kum ve çakıl karışımı	İyi
(10^{-7})	Çok ince kum	Zayıf
(10^{-8})	Silt	Zayıf
$(10^{-9}) - (10^{-11})$	Kil	Pratikte geçirimsiz

Tablo 4. Doygun zeminlerin tipik permeabilite değerleri (Das, 2010). (Typical permeability values of saturated soils)

k (m/s)	Zemin türü
(1) - (10^{-2})	Temiz çakıl
$(10^{-2}) - (10^{-4})$	Kaba kum
$(10^{-4}) - (10^{-5})$	İnce kum
$(10^{-5}) - (10^{-7})$	Siltli kil
$(<10^{-8})$	Kil

3.2. Uygulanan Yöntem (Applied Methods)

Bu çalışmada öncelikle gözenekli taşların geçirimsizlik katsayıları bulunmuştur. Taşların geçirimsizlik katsayılarının bulunmasında killi zeminlerin permeabilitesini bulmakta kullanılan düşen seviyeli permeabilite deneyindeki

temel ilkelerden yararlanılmıştır. Taşların geçirimsizlik katsayısı ve kalınlığı Eşitlik (1)'de yerine yazılıp empedans faktörü 100'e eşitlenerek bağıntıdan zeminin geçirimsizlik katsayısı çekilmiştir (Eşitlik 2). Bu şekilde hesaplanan zemin geçirimsizlik katsayıları Tablo 2 ve 3'te verilen değerlerle kıyaslanarak gözenekli taşın hangi zeminler için uygun olduğu belirlenmiştir.

$$\frac{k_{\text{taş}} \times h_{\text{dr}}}{100 \times (h_{\text{taş}})} \geq k_{\text{zemin}} \quad (2)$$

Hesaplamalarda zemin numunesinin kalınlığı 20 mm olarak alınmıştır. Konsolidasyon deneyinde zemin numunesinin hem altında hem de üstünde gözenekli taş bulunduğundan drenaj yolunun uzunluğu $h_{\text{dr}}=10$ mm (0,01 m) olarak hesaba katılmıştır.

4. Deneysel Bulgular (Experimental Findings)

Bu çalışmada kullanılan gözenekli taşların ve bu taşların kullanılabileceği zeminlerin geçirimsizlik katsayıları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Gözenekli taşların ve zeminlerin geçirimsizlik katsayıları (Permeability coefficients of porous stones and soils)

Taşın numarası	Taşın geçirimsizlik katsayısı ($k_{\text{taş}}$) (m/s)	Zeminin drenaj yolunun uzunluğu, (h_{dr}) (m)	Taşın kalınlığı ($h_{\text{taş}}$) (m)	Uygun olan Zeminin geçirimsizlik katsayısı (m/s) $k_{\text{zemin}} \leq$
1	$2,750 \times 10^{-6}$	0,01	0,005	$0,55 \times 10^{-7}$
2	$0,732 \times 10^{-5}$	0,01	0,005	$1,46 \times 10^{-7}$
3	$1,570 \times 10^{-5}$	0,01	0,006	$2,62 \times 10^{-7}$
4	$0,540 \times 10^{-5}$	0,01	0,006	$0,90 \times 10^{-7}$
5	$0,980 \times 10^{-5}$	0,01	0,006	$1,63 \times 10^{-7}$
6	$1,605 \times 10^{-5}$	0,01	0,006	$2,67 \times 10^{-7}$
7	$1,520 \times 10^{-5}$	0,01	0,006	$2,53 \times 10^{-7}$

Elde edilen bu sonuçlara göre bu çalışmada incelenen gözenekli taşların hemen hepsinin geçirimsizlik katsayısı $k = 10^{-7}$ m/s'den küçük olan zeminler için uygun olduğu görülmüştür. $k = 10^{-7}$ m/s Tablo 2, 3 ve 4'te verilen sınıflamaya göre düşük geçirimsizliğe sahip silt ve killere karşılık gelmektedir. Bu durumda incelenen gözenekli taşların, düşük geçirimsizliğe sahip silt ve kil türü zeminler için uygun olduğu görülmüştür.

Ayrıca, Tablo 3'te verilen zemin türlerine karşılık gelen geçirimsizlik katsayıları kullanılarak Eşitlik (1) ile gözenekli taşların empedans faktörleri hesaplanmış ve sonuçları Tablo 6'te verilmiştir.

Tablo 6. Gözenekli taşların Murty (2003)'te verilen geçirimsizlik katsayıları dikkate alınarak hesaplanan empedans faktörleri (Impedance factors of porous stones calculated by considering the permeability coefficients given in Murty, 2003)

Taş No	Empedans Faktörü, E		
	İnce kum, $k=10^{-7}$ (m/s)	Silt, $k=10^{-8}$ (m/s)	Kil, $k=10^{-9}$ (m/s)
1	55	550	5500
2	146	1464	14640
3	262	2617	26167
4	90	900	9000
5	163	1633	16333
6	268	2675	26750
7	253	2533	25333

Tablo 6'da görülen empedans faktörleri incelendiğinde, ince kum için 1 ve 4 nolu taşların empedans faktörünün 100'den küçük olduğu ve bu taşların ince kum türü zeminler için uygun olmadığı görülmüştür. Ancak düşük geçirimsizliğe sahip kil ve silt türü zeminler için hesaplanan empedans faktörlerine bakıldığında gözenekli taşların tamamının empedans faktörünün 100'den büyük olduğu (Tablo 6) ve bu gözenekli taşların kil ve silt türü zeminlerin konsolidasyon deneyinde kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

Benzer şekilde Das (2010)'da verilen geçirimsizlik katsayıları dikkate alınarak gözenekli taşların empedans faktörleri hesaplanmış ve sonuçları Tablo 7'de sunulmuştur.

Tablo 7. Gözenekli taşların Das (2010)'da verilen geçirimsizlik katsayıları dikkate alınarak hesaplanan empedans faktörleri (Impedance factors of porous stones calculated by considering the permeability coefficients given in Das, 2010)

Taş No	Empedans Faktörü, E		
	İnce kum için, $k=10^{-4}$ (m/s)	Siltli kil için, $k=10^{-5}$ (m/s)	Kil için, $k=10^{-8}$ (m/s)
1	0,055	0,55	550
2	0,146	1,46	1464
3	0,262	2,62	2617
4	0,090	0,90	900
5	0,163	1,63	1633
6	0,268	2,68	2675
7	0,253	2,53	2533

Tablo 7'den görülebileceği gibi Das (2010)'da verilen geçirimsizlik katsayıları dikkate alındığında sadece kil türü zeminler için hesaplanan empedans faktörlerinin 100'den büyük olduğu, dolayısıyla bu çalışmada incelenen gözenekli taşların sadece kil türü zeminler için uygun olduğu değerlendirilmiştir.

5. Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

Bu çalışmada, konsolidasyon deneyinde kullanılan gözenekli taşların geçirimsizlik katsayıları ölçülmüş ve ASTM D2435 (2011)'de tanımlanan empedans faktörü yardımıyla bu taşların hangi tür zeminler için uygun olabileceği değerlendirilmiştir. ASTM D2435 (2011)'de tanımlanan empedans faktörü kullanılarak gözenekli taşların geçirimsizliği iki farklı yaklaşımla ele alınmıştır.

Birinci yaklaşımda, gözenekli taşların empedans faktörünün 100'den büyük olmasını sağlayacak zeminlerin geçirimsizlik katsayıları hesaplanmış ve bu taşların hangi zeminler için uygun olabileceği belirlenmiştir. Buna göre, bu çalışma kapsamında geçirimsizliği ölçülen taşların, geçirimsizlik katsayısı $k = 10^{-7}$ m/s'den küçük olan zeminler için uygun olduğu görülmüştür.

İkinci yaklaşımda ise literatürde zeminler için verilen tipik geçirimsizlik katsayıları kullanılarak gözenekli taşların empedans faktörleri hesaplanmış ve hesaplanan değerlerin 100'den büyük olup olmamasına bakılarak hangi tür zeminler için uygun olduğu değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeye göre incelenen gözenekli taşların killi ve siltli-killi zeminlerin için uygun olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak ASTM D2435 (2011)'de tanımlanan empedans faktörünün konsolidasyon deneyinde kullanılan gözenekli taşların geçirimsizliğinin değerlendirilmesi için rahatlıkla kullanılabilmesi görülmüştür.

Teşekkür (Acknowledgement)

Yazarlar, laboratuvar deneylerindeki katkılarından dolayı Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümü öğrencisi Anıl CAN ÖZTEMUR'a teşekkür ederler.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Arsoy, S., Keskin, E. ve Yılmaz, C. (2007). Permeabilite ve Konsolidasyon Deneyleri ile Elde Edilen Permeabilite Katsayılarının Karşılaştırılması. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 2. Geoteknik Sempozyumunda sunuldu, Adana.
- ASTM, 2020. ASTM resmi web sitesi. https://compass.astm.org/EDIT/html_historical.cgi?D2435+96, indirilme tarihi 06.02.2020).
- ASTM D2435/2435M-11, 2011. Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading. American Society for Testing and Materials.
- Bishop, A. W., ve Gibson, R. E., 1964. The Influence of the Provisions for Boundary Drainage on Strength and Consolidation Characteristics of Soils Measured in the Triaxial Apparatus. Laboratory Shear Testing of Soils. ASTM, 361, 435-451.
- BS 1377-5, 1990. Methods of test for Soils for civil Engineering purposes. Part 5: Compressibility, permeability and durability tests. British Standard, Londra, İNGİLTERE.
- Budhu, M., 2011. Soil Mechanics and Foundations (3rd ed. b.). New York: John Wiley & Sons Inc, 208.
- Das, B. M., 2010. Principles of Geotechnical Engineering (7th ed. b.). Stamford-USA: Cengage Learning, 164.
- Holtz, R. D., Kovacs, W. D., ve Sheahan, T. C., 2015. Geoteknik Mühendisliğine Giriş (Çev. O. Akbaş). Ankara: Nobel Akademik. (Eserin orijinali 2011'de yayımlandı), 347, 350.

- Knappett, J. A. ve Craig, R. F., 2012. Craig's Soil Mechanics (8th ed. b.). USA: Spon Press, 101.
- Murthy, V. N., 2003. Geotechnical Engineering: Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering. New York: Marcel Dekker Inc, 102.
- Newland, P. L. ve Alley, P. H., 1960. A study of the consolidation characteristics. Geotechnique, 10, 62-74.
- Sridharan, A., Rao, S. M. ve Murthy, N. S., 1986 Compressibility Behaviour of Homozonized Bentonites. Geotechnique, 36, 551-564.
- TS 1900-2, 2006. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Lâboratuvar Deneyleri - Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara/TÜRKİYE.
- Yılmaz, I., Yıldırım, M., ve Keskin, İ., 2016. Zemin Mekanığı Laboratuvar Deneyleri ve Çözümlü Örnekler (3. baskı). Ankara: Seçkin Yayıncılık, 93-99.
- Yılmaz, M.K. ve Çelik, S., 2012. Kil Zeminin Şişme Basıncı ve Konsolidasyon Özelliklerine Öğütülmüş Kumun Etkisinin Araştırılması. KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15, 32-36.