

Tane Boyu Analizlerine Dayalı Olarak Hesaplanan Geçirgenlik Katsayılarının Karşılaştırılması: Meşelik ve Tepebaşı (Eskişehir) Örnekleri

Comparison of Permeability Coefficients Calculated on the Basis of Grain Size Analyses: Meşelik and Tepebaşı Examples

Belgin Çelik GÜNEŞ, Galip YÜCE

Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Meşelik, ESKİŞEHİR

ÖZ

Bu çalışma, Eskişehir'deki yerleşim alanlarından Meşelik ve Tepebaşı bölgelerindeki zeminlere ait tane boyu analizlerine dayalı olarak farklı yaklaşımlarla hesaplanan geçirgenlik katsayılarının karşılaştırılması amacıyla yapılmıştır. Çalışmada 6 km²'lik alanda daha önceden açılmış olan 29 adet temel sondaj kuyusunda kesilen alüvyon içerisinde bulunan birimlere ait özellikler jeolojik raporlardaki sondaj logları yardımıyla incelenmiştir. Yapılan elek analizi deneylerine dayalı olarak granülometri eğrileri çizilmiştir. Grafiklerden D₆₀, D₅₀, D₃₀, D₂₀, D₁₀, I₀, U, C_c değerleri hesaplanmıştır. Gözeneklilik değerleri dane özgül ağırlığı (Gs), birim yoğunluk ve su içeriği (w) değerlerinden hesaplanmıştır. Su içeriği değeri bulunmayan birimlere ait gözeneklilik değerleri için literatürden elde edilen değer aralıkları dikkate alınmış ve geçirgenlik katsayısı hesaplamaları yapılmıştır. Gözeneklilik değerlerine bağlı veya bu değerlerden bağımsız olarak, Hazen, Kozeny-Carman, Breyer, Slichter, Terzaghi, United States Bureau of Reclamation (USBR) ve Alyamani-Sen yaklaşımları ile her bir kuyuda, farklı derinliklerden alınan sediman örneklerine ait metraj aralıkları için ayrı ayrı geçirgenlik katsayıları hesaplanmış, hangi yaklaşımın hangi derinlikteki hangi birimler için uygun olduğu belirlenmiştir. Geçirgenlik katsayısının tane boyuna ve gözeneklilik farklılıklarına göre değişimi incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, hesaplanan geçirgenlik katsayılarının, uniform olan birimlerde genellikle birbirine yakın, uniform olmayan birimlerde ise birbirinden farklı değerlerde olduğu belirlenmiştir. Yukarıda belirtilen yaklaşımların, kil cinsi malzeme için yapılan geçirgenlik katsayısı hesaplamalarında doğru sonuçlar vermediği görülmüştür. Sonuç olarak, geçirgenlik katsayısı hesaplamalarında uniform olmayan birimler için Breyer, Slichter, Terzaghi ve Alyamani-Sen yaklaşımların kullanılması, uniform olan birimler için ise Hazen, Kozeny-Carman ve USBR yaklaşımların kullanılması daha uygundur.

Anahtar Kelimeler: Elek analizi, Eskişehir, Geçirgenlik katsayısı, Gözeneklilik, Granülometri eğrisi.

ABSTRACT

This study aims to compare the permeability coefficients calculated based on the particle size analyses peculiar to the soil samples of some districts at Meşelik and Tepebaşı residential areas in Eskişehir. The study area covers 6 km². In this study, the properties of units in alluvial deposit cut by 29 boreholes previously drilled in the area were examined from borehole logs contained in the geological

reports. On the basis of the sieve analyses, particle size distribution curves were drawn. The parameters of D_{60} , D_{50} , D_{30} , D_{20} , D_{10} , I_0 , U , C_c values were calculated by using these graphs. Porosity values were calculated by using G_s , specific density and water content. Permeability coefficients were also calculated for the units having no water content values considering the intervals accepted by the literature. Dependently or independently on porosity values, permeability coefficients were individually calculated by using the Hazen, Kozeny-Carman, Breyer, Slichter, Terzaghi, USBR and Alyamani-Sen formulas, for each core samples from different depths of the boreholes and then the most appropriate formula for different depths and units was determined. Variations of permeability coefficient for different grain sizes and porosities were studied. Based on the outcomes of this study, calculated permeability coefficients are almost similar for uniform soil units, however, different for non-uniform units. It is inferred that using above-mentioned approaches for estimation of permeability coefficient for clay material is not suitable. As a conclusion, estimation of permeability coefficient using Breyer, Slichter, Terzaghi and Alyamani-Sen approaches are more suitable for non-uniform units while Hazen, Kozeny-Carman ve USBR are applicable for uniform units.

Key Words: Sieve analysis, Eskişehir, Permeability coefficient, Porosity, Grain size curve.

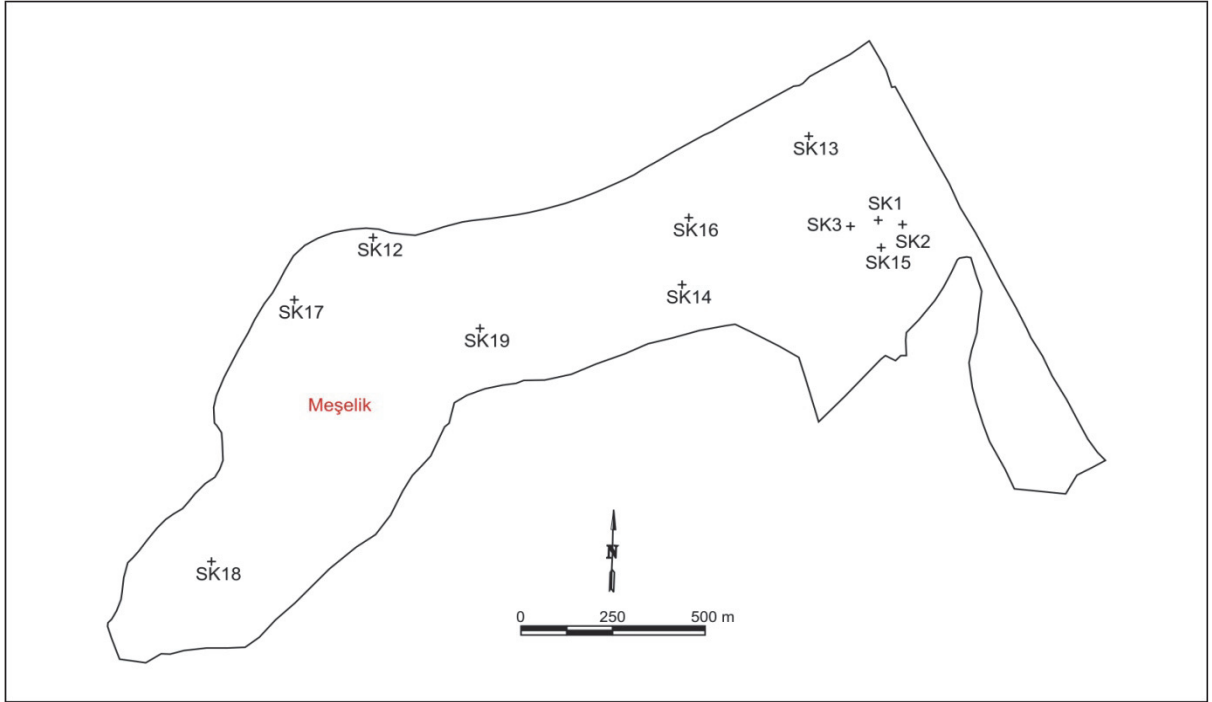
GİRİŞ

Çalışma kapsamında Eskişehir’de Tepebaşı ve Meşelik bölgesi dahilindeki Büyükdere Mahallesi, Bağlar Mahallesi ve Güllük Mahallesi’nde açılan 29 adet temel sondaj kuyusundan (Şekil 1) alınan örneklerde yapılan elek analizi verilerine bağlı olarak, her elekten geçen % miktarına göre çizilen granülometri eğrilerinden, geçirgenlik katsayısı hesaplamaları yapılmıştır. Bu granülometri eğrilerinden, D_{60} , D_{50} , D_{30} , D_{20} , D_{10} değerleri okunup, okunan değerler ile uniformluk katsayısı $U = D_{60}/D_{10}$ ve eğrilik katsayısı $C_c = D_{30}^2/D_{60} * D_{10}$ değerleri bulunmuştur. Uniformluk katsayısı büyüdükçe, tane boyu dağılımı iyiye doğru gitmektedir. İyi derecelenmiş (yani her tane boyundan malzemenin yer aldığı-homojen) bir zeminde, ince taneler (silt ve kil) zemindeki boşlukları (gözenekleri) dolduracağından, geçirgenlik katsayısı değerlerinde azalma olacaktır.

İnceleme alanındaki en önemli akarsu, Eskişehir şehir merkezini batıdan doğuya doğru, boydan boya kat ederek geçen Porsuk Çayı’dır. Porsuk Çayı yan kollarıyla birlikte Eskişehir’in

güneybatısından gelir ve doğuya doğru devam eder. Sarısu Çayı ise İnönü’yü batı-doğu doğrultusunda kat ettikten sonra Eskişehir il merkezinin kuzeybatısında Porsuk Çayı ile birleşmektedir. İnceleme alanı genel olarak düz bir topoğrafya sunmaktadır.

İnceleme alanı sınırları içerisinde, konu ile ilgili yapılan önceki çalışmalarda, Eskişehir İl Merkezi Güney Bölümü temel zemininin jeomühendislik özellikleri (Orhan, 2005) ve Meşelik killilerinin özellikleri (Tosun vd., 1999) çalışılmıştır. Çalışmanın da konusunu oluşturan tane boyu dağılım özelliklerinden geçirgenlik katsayısı hesaplamalarında önemli iki yaklaşım arasında (Hazen ve Kozeny-Carman) karşılaştırmanın yapıldığı ve sonuçta Kozeny-Carman yaklaşımının daha uygun olduğunun önerildiği çalışmalar bulunduğu gibi (Carrier, 2003), yapay sinir ağları kullanılarak taneli zeminlerin geçirgenliğinin tahminine (Sezer vd., 2009) ve tane dağılım kompozisyonlarından gözenekli malzemelerin hidrolik iletkenliğinin belirlenmesine yönelik (Vukoic ve Soro, 1992) çalışmalar da bulunmaktadır.



Şekil 1a. Büyükdere Mahallesi Meşelik Mevki kuyularının haritada gösterimi.

Figure 1a. Location map of the boreholes in Büyükdere-Meşelik district.

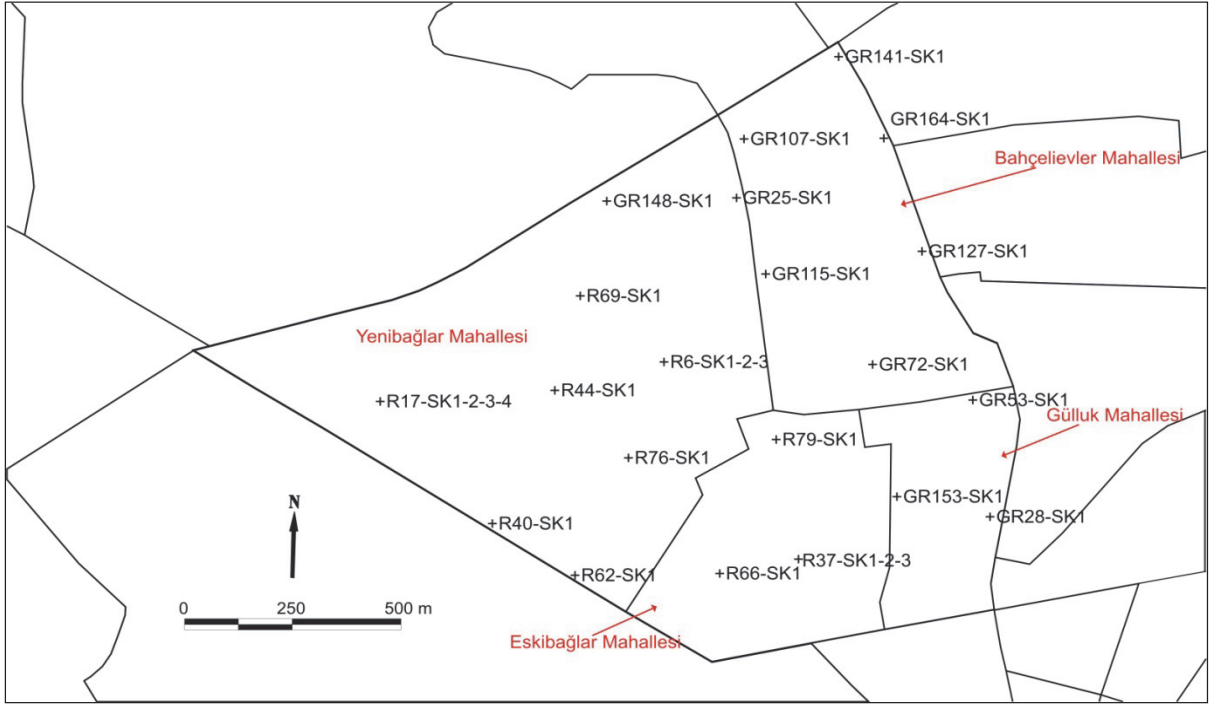
İnceleme alanı, Orta Anadolu Bölgesi'nin kuzeybatı kesiminde I24 ve I25 paftaları içerisinde yer almakta olup, yaklaşık 6 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 2).

Bu çalışmaya benzer bir araştırma da tane boyu dağılım deneyi sonucu elde edilen tane boyu değerlerine dayalı olarak çakıl ve kum boyutundaki malzeme için hidrolik iletkenlik katsayısı değerlerinin hesaplandığı bir çalışma olup, Breyer ve Kozeny-Carman yaklaşımlarının çakıl ve kum türü malzeme için uygun olduğu ileri sürülmüştür (Odong, 2008). Aynı araştırma heterojen malzemeler için Breyer yaklaşımının uygun olduğunu belirtmiştir.

Bu çalışma ile Eskişehir'deki farklı taneli zeminlere ait geçirgenlik katsayılarının hesaplanmasında yedi farklı yaklaşım kullanılmış, tane boyu dağılım grafiklerinden yararlanılarak geçirgenlik katsayısının farklı taneli zeminler için tahmini ve birbiriyle karşılaştırılması yapılmış, mevcut kuyulardaki litoloji ile yaklaşımlardan elde edilen değerlerin uyumluluğu araştırılmıştır. Yapılan çalışmada, her bir örnek için ayrı ayrı belirlenen veya literatürde kabul edilen gözeneklilik değerleri kullanılarak, Hazen, Kozeny-Carman, Breyer, Slichter, Terzaghi, USBR ve Alyamani-Sen formülleri ile geçirgenlik katsayıları hesaplanmış, kuyularda kesilen farklı litolojiler için (kum, silt, kil) hangi hesaplamaların uygun olduğu bulunmuş ve hesaplamalar birbiri ile karşılaştırılmıştır. Çalışma

kapsamında, üniformluk katsayısı ve eğrilik katsayısı aralıkları (Çizelge 1) ile granülometri eğrilerinde malzeme tane boyu aralıklarını

belirlemek için Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi (ASTM, 1992) kullanılmıştır (Çizelge 2).



Şekil 1b. Bağlar ve Güllük mahallesi kuyularının haritada gösterimi.

Figure 1b. Location map of the boreholes in Bağlar and Güllük district.

Çizelge 1. Üniformluk ve eğrilik katsayılarının aralıkları.

Table 1. Uniformity coefficient and coefficient of curvature ranges.

Yüksek üniformluk	$U < 5$	İyi yuvarlanmış çakıl	$Cc > 4$
Orta üniformluk	$5 < U < 15$	İyi yuvarlanmış kum	$Cc > 6$
Üniform olmayan	$U > 15$	İyi yuvarlanmış zemin	$Cc: 1-3$

Çizelge 2. Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sisteminde sediment tane boyu ve gözeneklilik aralıkları.

Table 2. Grain size and porosity ranges in Unified Soil Classification System.

Sediment	Tane boyutu	Gözeneklilik (%)
İri çakıl boyu malzeme	>75 mm	
Çakıl boyu malzeme	75mm-4.75 mm	25-40
Kum boyu malzeme	4.75mm-0.075 mm	30-50
Silt boyu malzeme	<0.075 mm	35-50
Kil	<0.002 mm	35-80

BÖLGENİN JEOLJİK VE HİDROJEOLJİK ÖZELLİKLERİ

Stratigrafi

İnceleme alanı sınırları içerisinde yaşları Jura öncesi ile Holosen arasında değişen birimler yer almaktadır. En alttaki Jura öncesi oluşmuş metamorfik-ofiyolitik metadetritik tektonik birliğin üzerine Jura-Kretase-Eosen-Miyosen-Pliyosen yaşlı sedimanter ve volkanik kayalar gelmektedir. Bölgedeki en genç birimleri ise Pleyistosen yaşlı, Gözler vd. (1996) tarafından eski alüvyon olarak tanımlanan Akçay formasyonu (gevşek tutturulmuş kil, silt, kum ve çakıl) ile güncel alüvyon (kil, silt, kum ve çakıl) oluşturmaktadır. İnceleme alanının ve çevresinin stratigrafik kesiti Şekil 2’de, jeolojik haritası ise Şekil 3’te verilmiştir.

Eskişehir il ve ilçelerinin bulunduğu bölge, Tetis kuşağı içinde yer almakta olup, Tetis’in kuzey kolunun kapanmasıyla birlikte oluşan bir dizi tektonik olaya bağlı olarak gelişmiştir.

Çalışma alanı içerisinde yukarıda belirtilen birimlerin tamamının görülmemesine rağmen,

bölge hakkında genel bir fikir vermesi açısından bu birimlere değinilmiştir. İnceleme alanı ve yakın çevresinde baskın olarak gözlenen birim alüvyondur. Diğer birimler ise Eskişehir metamorfikleri, Karkın formasyonu, Ofiyolitler, Mamuca formasyonu, Porsuk formasyonu, Ilıca formasyonu ve Akçay formasyonudur (Gözler vd.,1996).

Alüvyon

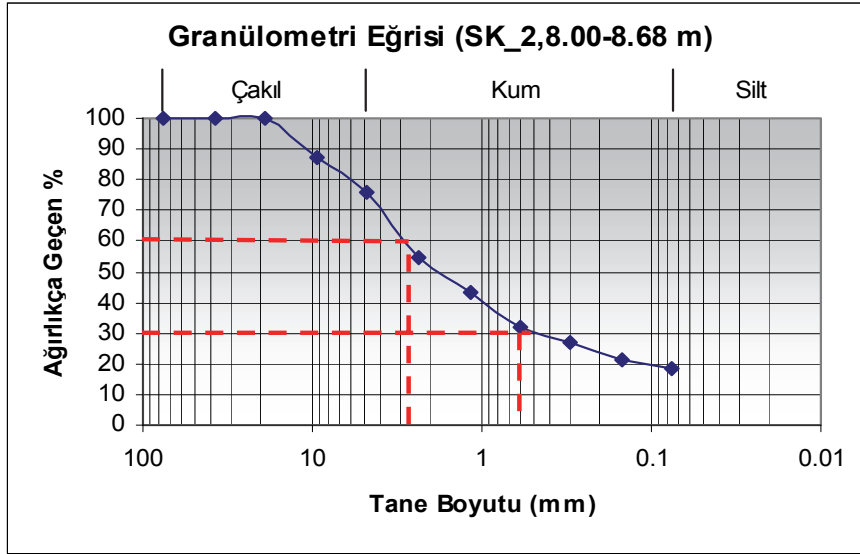
Bölgedeki alüvyon, İnönü Ovası’ndan gelen Sarısu Deresi ile Porsuk Çayı ve yan kollarının getirip ovada biriktirdiği malzemenin oluşmaktadır. Eskişehir Havzası’nda geniş bir alanı kaplayan birim kil, silt, kum ve çakıl seviyelerinden oluşmaktadır. Meşelik mevkiindeki killer yüksek plastisite özelliğinde olup, çoğunlukla kırmızı renkte gözlenmektedir. Bu yüksek plastisiteli kil seviyesi, Tosun vd. (2001) tarafından Meşelik kili olarak adlandırılmıştır. Ovanın diğer kesimlerinde bulunan killer daha çok sarı ve bej renkte gözlenmektedirler. Birimin kalınlığının 10-25 m arasında değiştiği belirtilmektedir (DSİ, 2001 a ve b).

Güneş ve Yüce

Üst Sistem	Sistem/Devir	Seri	Formasyon	Kalınlık	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	Kuvaterner			10-25 m		Altüvyon
		Plevistosen Villafrans	Akçay Formasyonu	10-120 m		Gri, açık gri renkli çapraz tabakalı çakıl, kum, kil ve çamur
	TERSİYER	PLİYOSEN	Ilıca Formasyonu	50-400 m		Kireçtaşı Marn - Kil Bazalt - Andezit Tuf - Tüfit Aglomera Konglomera - Kumtaşı
		MİYOSEN	Porsuk Formasyonu	50-600 m		Kireçtaşı Jips - Marn - Kil Tuf - Tüfit, Bazalt Konglomera - Kumtaşı
		EOSEN	Mamuca Formasyonu	20-400 m		Kireçtaşı Kil - Marn Konglomera - Kumtaşı
MESOZOYİK	TRİYAS	ORTA - ÜST TRİYAS	TEKTONİK BİRİMLE R		Ofiyolit	

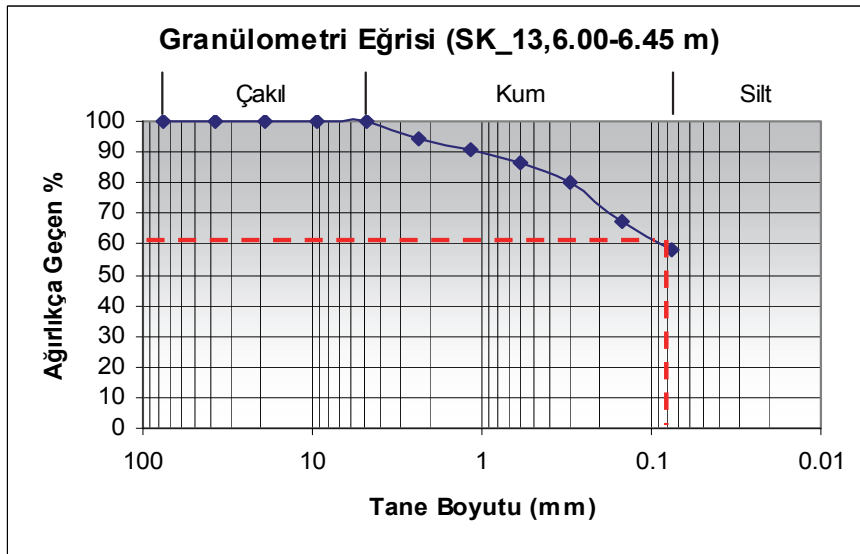
Şekil 2. İnceleme alanı ve yakın çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Gözler vd., 1996 ve Orhan, 2005 tarafından sadeleştirilerek yeniden çizilmiştir).

Figure 2. Generalized stratigraphic section of the investigation area and close vicinity (Gözler et al., 1996 and redrawn with simplification from Orhan, 2005)



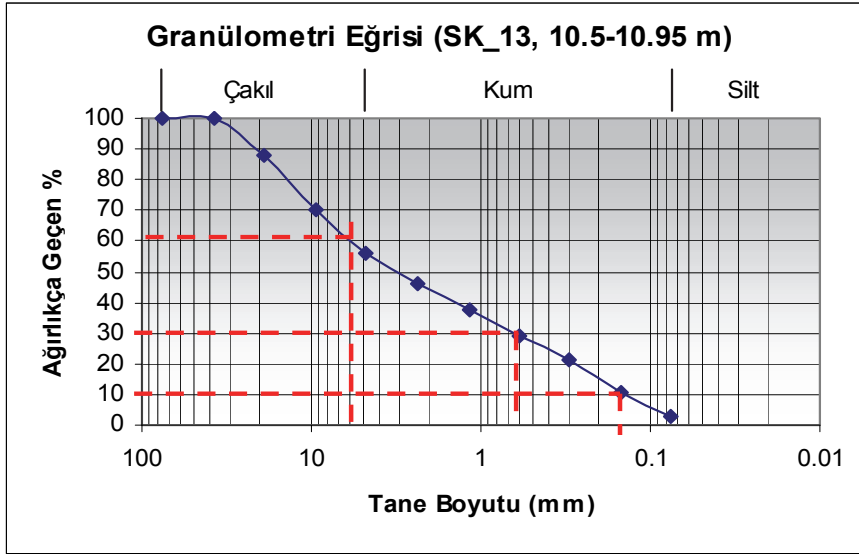
Şekil 4a. Meşelik SK_2 (8.00-8.68) kuyusu örneğinin tane boyu dağılımı.

Figure 4a. Grain size distribution of the sample from Meşelik SK_2 (8.00-8.68) borehole.



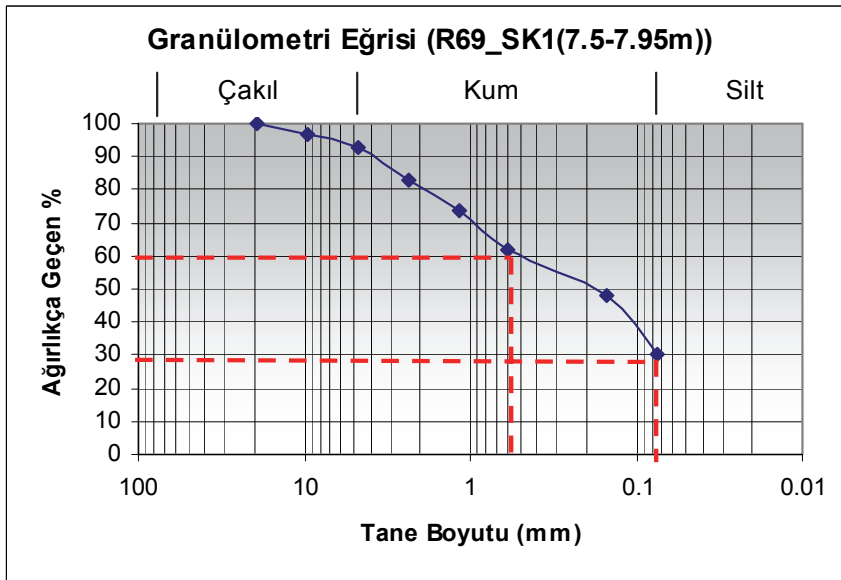
Şekil 4b. Meşelik SK_13 (6.00-6.45) kuyusu örneğinin tane boyu dağılımı.

Figure 4b. Grain size distribution of the sample from Meşelik SK_13 (6.00-6.45) borehole.



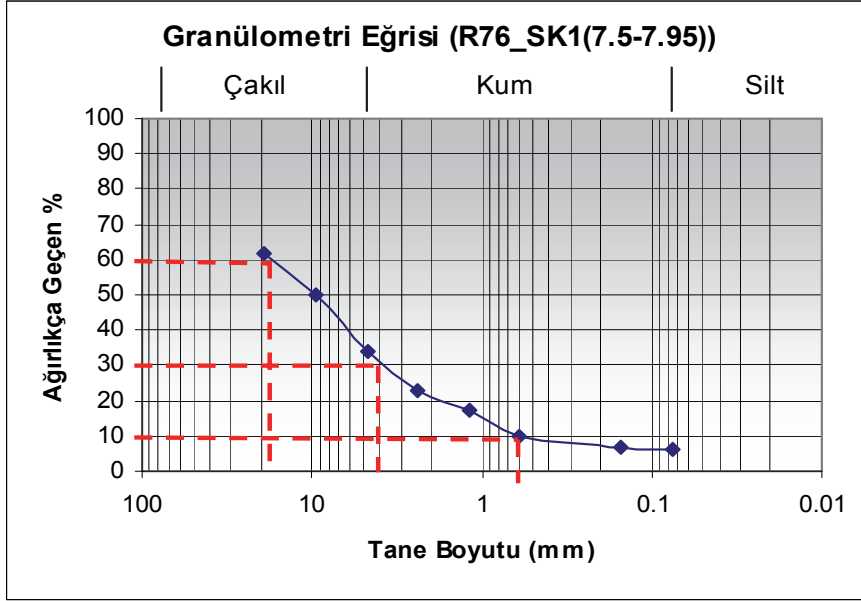
Şekil 4c. Meşelik SK_13 (10.50-10.95) kuyusu örneğinin tane boyu dağılımı.

Figure 4c. Grain size distribution of the sample from Meşelik SK_13 (10.50-10.95) borehole.



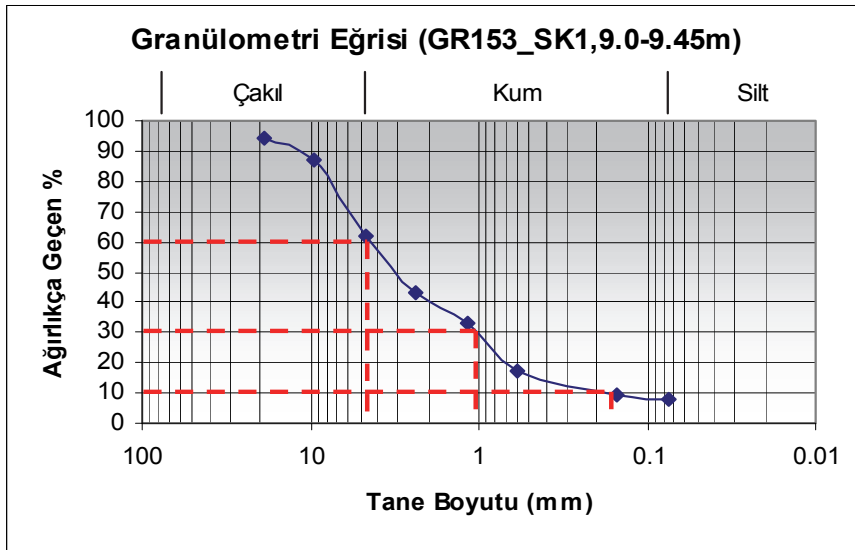
Şekil 5a. Bağlar R69_SK1 (7.50-7.95) kuyusu örneğinin tane boyu dağılımı.

Figure 5a. Grain size distribution of the sample from Bağlar 69_SK1 (7.50-7.95) borehole.



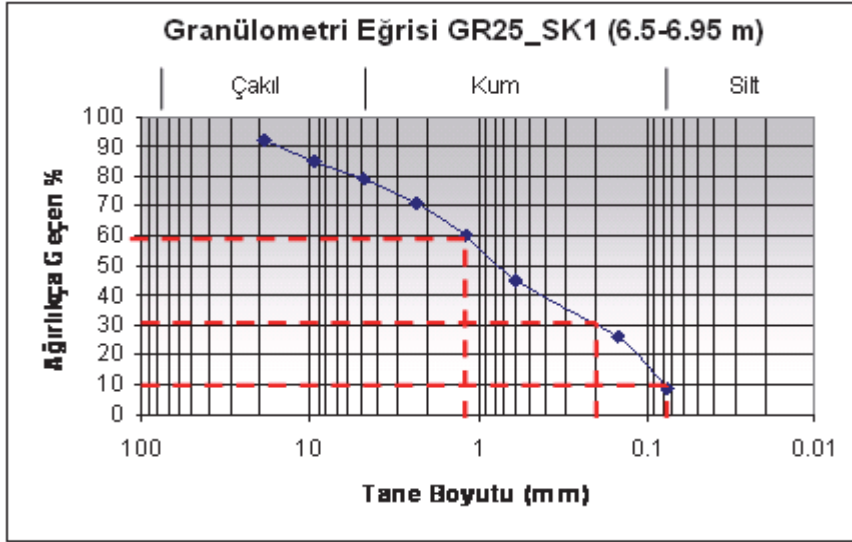
Şekil 5b. Bağlar R76_SK1 (7.50-7.95) kuyusu örneğinin tane boyu dağılımı.

Figure 5b. Grain size distribution of the sample from Bağlar R76_SK1 (7.50-7.95) borehole.



Şekil 6a. Güllük GR153_SK1 (9.0-9.45) kuyusu örneğinin tane boyu dağılımı.

Figure 6a. Grain size distribution of the sample from Güllük GR153_SK1 (9.0-9.45) borehole.



Şekil 6b. Güllük GR25_SK1 (6.5-6.95) kuyusu örneğinin tane boyu dağılımı.

Figure 6b. Grain size distribution of the sample from Güllük GR25_SK1 (6.5-6.95) borehole.

Hidrojeoloji

Sulama amaçlı olarak Eskişehir Ovası'nda kullanılan Porsuk Çayı'nın inceleme alanı sınırları içerisindeki kotu yaklaşık 790 – 800 m'dir. DSİ tarafından Porsuk Çayı üzerine yapılmış bir regülatörden şehrin değişik bölgelerine kanallar vasıtasıyla sulama suyu iletilmektedir.

İnceleme alanının yakın civarında sıcak su kaynakları bulunmaktadır. Eskişehir il merkezinde bulunan kaplıcaların bazıları kaynak şeklinde doğrudan yüzeye çıkmakla birlikte, resmi kurumlar ve özel şahıslar tarafından da termal suların yararlanmak amacıyla sığ (7-15 m) ve derin (50-800 m) kuyular açılmıştır.

Eskişehir Ovası'nda özellikle akifer sistemini oluşturan birimler, Kuvaterner yaşlı olup, önceki araştırmacılar (Esen vd., 1975; Kaçaroğlu, 1991) tarafından eski alüvyon olarak tanımlanan, Akçay formasyonu ve güncel alüvyondur. Ova içerisinde gerek resmi, gerekse özel kuruluşlar tarafından açılan çok sayıda sondaj kuyusu aracılığıyla alüvyon birimlerden su alınmaktadır. İnceleme alanı ve yakın çevresinde açılan su ve temel sondaj kuyularında, düzenli aralıklarla su seviyesi ölçümleri yapılarak ovanın yeraltısu haritası hazırlanmıştır (Yüce vd., 2001). Buna göre, Eskişehir il merkezinin bulunduğu kesimlerde yeraltısu seviyesindeki mevsimsel değişimler 0.1 – 0.5 m arasında olup, bu kesimlerde Porsuk Çayı, yeraltısu ile hidrolik ilişkidir (Yüce vd., 2002, 2006; Yüce, 2007).

YÖNTEM**Gözeneklilik ve geçirgenlik katsayısı hesabı****Gözeneklilik (Porozite)**

Bir kayacın toplam boşluk hacminin toplam hacmine oranı gözeneklilik olarak adlandırılır. Gözeneklilik % cinsinden tanımlanır ve n ile gösterilir.

Gözeneklilik = (Boşluk hacmi/Toplam hacim) * 100

$$n = (V_b/V_t) * 100$$

n değerinin hesabında boşluk oranı (e) hesaplamalarından yararlanılmıştır:

$$\rho = G_s (1+w) / e+1$$

$$e = (G_s (1+w) / \rho) -1$$

$$n = e/1+e$$

G_s = Özgül yoğunluk

ρ = Kütlenin birim yoğunluğu

w = Su muhtevası (%) dir.

G_s , ρ ya da w gibi parametreler bazı örneklerde bulunmamaktadır. Bu örneklerle ait n (gözeneklilik) değerleri için, literatürde değişik (McWorter ve Sunada, 1977) tane boyları için verilen minimum ve maksimum gözeneklilik değerleri dikkate alınarak kabuller yapılmıştır (Çizelge 3).

Çizelge 3. Gözeneklilik kabul aralıkları (McWorter ve Sunada, 1977'den değiştirilerek) . En düşük ve en yüksek değer hesaplamalarında kullanılmıştır.

Table 3. Porosity acceptance ranges (modified from McWorter and Sunada, 1977). Minimum and maximum values are used for the calculations.

	Toplam Gözeneklilik		Etkin Gözeneklilik	
	Aralık	Aritmetik Ortalama	Aralık	Aritmetik Ortalama
Sedimanter materyal				
Kumtaşı (ince)	-	-	0.02 – 0,40	0.21
Kumtaşı (orta)	0.14 – 0.49	0.34	0.12 – 0,41	0.27
Silttaşı	0.21 – 0.41	0.35	0.01 – 0,33	0.12
Kum (ince)	0.25 – 0.53	0.43	0.01 – 0,46	0.33
Kum (orta)	-	-	0.16 – 0,46	0.32
Kum (iri)	0.31 – 0.46	0.39	0.18 – 0,43	0.30
Çakıl (ince)	0.25 – 0.38	0.34	0.13 – 0,40	0.28
Çakıl (orta)	-	-	0.17 – 0,44	0.24
Çakıl (iri)	0.24 – 0.36	0.28	0.13 – 0,25	0.21
Silt	0.34 – 0.51	0.45	0.01 – 0,39	0.20
Kil	0.34 – 0.57	0.42	0.01 – 0,18	0.06

Geçirgenlik Katsayısı (Permeabilite)

Çeşitli kütlelerin, yeraltılarını tutması, bir yandan diğer bir yana geçirmesi ve bu suyu vermesi farklı oranlardadır. Kütlelerin suyu tutması ve iletmesi, akifer türlerine ve geçirgenlik özelliklerine bağlıdır. Geçirgenlik, bir akışkanın boşluklu bir ortamdan geçebilme yeteneğidir.

$$k = Q/(A * i)$$

Darcy eşitliği olarak bilinen yukarıdaki eşitlikte k geçirgenlik katsayısı, Q (l/s) debi, A (m²) kesit alanı ve i hidrolik eğimi ifade etmektedir.

Geçirgenlik katsayısının ölçülmesi

Zeminin en önemli hidrolik özelliklerinden biri olan geçirgenlik değeri laboratuvarında ve arazide çeşitli yöntemlerle bulunur. Laboratuvar çalışmalarında geçirgenlik değerlerinin eldesinde permeametre adı verilen aletler kullanılmaktadır. Darcy eşitliğindeki değişkenler ölçülerek geçirgenlik katsayısı değeri elde edilir.

Laboratuvarında zemin örneğinin geçirgenliğinin yüksek veya çok düşük olmasına bağlı olarak, içinden geçen suyun basıncının sabit ya da değişken biçimde uygulanmasına göre düşen ya da sabit seviyeli permeametreler vardır (Carrier, 2003). Granülometrik analiz (tane boyu analizi) yoluyla k hesaplanabilir.

$$k = c (D_{10})^2 \text{ dir.}$$

D₁₀, zemin örneğinin %10'unun elek altına geçtiği çaptır. c sabit bir katsayıdır.

Etkin tane boyunun karesi ile geçirgenlik katsayısı doğru orantılı olarak artar. Teorik olarak tane boyu ile gözeneklilik arasında bir ilgi olmamasına rağmen pratikte ince taneli çökeller iri taneli olanlara oranla daha fazla gözeneğe sahiptir. Geçirgenliğin tane boyu ile doğru orantılı olarak arttığı, ancak, tane boyu küçüldükçe geçirgenliğin azaldığı bilinmektedir (Shepherd, 1989; Freeze ve Cheery, 1979) (Çizelge 4). Geçirgenlikteki bu azalma, boşluklar arasındaki boğazların daralmasından ve buna bağlı olarak kapiler basıncın artmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4. Zemin tiplerine göre kabul edilen geçirgenlik katsayıları (Freeze ve Cherry, 1979).

Table 4. Accepted permeability coefficients according to soil types (Freeze and Cherry, 1979).

Zemin Tipi	Geçirgenlik Katsayısı (m/s)	Geçirgenlik Katsayısı (m/gün)
Çakıl	$1 \times 10^0 - 1 \times 10^{-3}$	$86.4 \times 10^3 - 86.4$
Temiz Kum	$1 \times 10^{-2} - 5 \times 10^{-5}$	864-4.32
Siltli Kum	$1 \times 10^{-2} - 1 \times 10^{-7}$	$864 - 86.4 \times 10^{-4}$
Silt, Lös	$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-9}$	$4.32 - 86.4 \times 10^{-6}$

Tane Boyu Analizlerine Dayalı Olarak Geçirgenlik Katsayısının Hesaplanmasında Uygulanan Yaklaşımlar

Konu ile ilgili yaklaşımların açıklanmasında Odong (2008)'den yararlanılmıştır.

Hazen (Hazen, 1892)

Bu yaklaşım $U < 5$ olduğunda ve 0.1 – 0.3 mm arasında etkin tane boyuna (D_{10}) sahip yüksek üniform kütlelerde uygulanabilir.

$$k = (g/v) * 6 * 10^{-4} [1 + 10(n - 0.26)] D_{10}^2$$

D_{10} : Etkin tane boyu (% 10'a karşılık gelen tane boyu)

D_{30} : % 30'a karşılık gelen tane boyu

D_{60} : % 60'a karşılık gelen tane boyu

$$C_c: D_{30}^2 / D_{60} * D_{10}$$

$$U: D_{60} / D_{10}$$

g : Yerçekimi ivmesi 9.807 m/s²

v : Kinematik viskozite 1.14 * 10⁻⁶ m²/s $v = \left[\frac{\mu}{\rho} \right]$

μ : Dinamik viskozite m²/s

ρ : Akışkan yoğunluğu g/m³

Kozeny-Carman (Kozeny, 1927; Carman 1937 ve 1956)

Bu yaklaşım $U < 2$ olduğunda ve 0.5- 4 mm arasında etkin tane boyuna (D_{10}) sahip üniform (çakıl-kum) kütlelerde uygulanabilir.

$$k = (g/v) * 8,3 * 10^{-3} \left[n^3 / (1 - n)^2 \right] D_{10}^2$$

Breyer

Bu yaklaşım $U = 1-20$ olduğunda ve 0.06- 0.6 mm arasında etkin tane boyuna (D_{10}) sahip heterojen, kötü boylanmış kütlelerde uygulanabilir. Gözenekliliğe bağlı değildir.

$$k = (g/v) * 6 * 10^{-4} \log(500/U) D_{10}^2$$

Slitcher

Bu yaklaşım 0.01 - 5 mm arasında etkin tane boyuna (D_{10}) sahip heterojen kütlelerde uygulanabilir.

$$k = (g/v) * 1 * 10^{-2} n^{3,287} D_{10}^2$$

Terzaghi (Terzaghi ve Peck, 1964)

Bu yaklaşım kum tane boyuna sahip kütlelerde uygulanabilir.

$$k = (g/v) * C_t * \left[(n - 0.13) / (1 - n)^{1/3} \right]^2$$

C_t (sorting coefficient) kabul aralığı $C_t = 6.1 * 10^{-3} < C_t < 10.7 * 10^{-3}$

(Hesaplamalarda C_t 'nin ortalama değeri $8.4 * 10^{-3}$ kabul edilmiştir)

USBR

Bu yaklaşım $U < 5$ olduğunda ve iri kumlarda uygulanabilir (Cheng ve Chen 2007). Gözenekliliğe bağlı değildir.

$$k = (g/v) * 4.8 * 10^{-4} D_{20}^{0,3} * D_{20}^2$$

D_{20} : % 20'ye karşılık gelen tane boyu

Alyamani-Sen (Alyamani ve Sen,1993)

Bu yaklaşım I_0 , D_{50} ve D_{10} etkin tane çapı değerlerinin bulunabildiği kütlelere uygulanır. Gözenekliliğe bağlı değildir.

$$k= 1300 [I_0 + 0,025(D_{50} - D_{10})]^2$$

D_{50} :% 50'ye karşılık gelen tane boyu

I_0 : Grafikte, tane boyu eğrisi üzerinde D_{10} ve D_{50} noktalarından geçen doğrunun tane boyu ekseninde kesişim yaptığı değerdir.

Tane boyu analizlerine dayalı olarak hesaplanan geçirgenlik katsayıları için kullanılan eşitlikler ve uygulanabilme koşulları Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Tane boyu analizlerine dayalı olarak hesaplanan geçirgenlik katsayıları için kullanılan eşitlikler ve uygulanabilme koşulları (Sezer vd., 2009'dan değiştirilerek).

Table 5. Equations used for permeability coefficients that are calculated on the basis of grain size analyse,s and their applicability (modified from Sezer et al., 2009).

Yaklaşım Adı	Formülü	U	d_{10} (mm)	Uygulanan Malzemeler	Gözeneklilik (n)
Hazen	$k = \frac{g}{v} \times 6 \times 10^{-4} [1 + 10(n - 0,26)] D_{10}^2$	<5	0.1-0.3	İyi boylanmış	Var
Kozeny-Carman	$k = \frac{g}{v} \times 8,3 \times 10^{-3} \left[\frac{n^3}{(1-n)^2} \right] D_{10}^2$	<2	0.5-4	Kum boyu	Var
Breyer	$k = \frac{g}{v} \times 6 \times 10^{-4} \log \left(\frac{500}{U} \right) D_{10}^2$	-	0.06-0.6	Heterojen kötü boylanmış	Yok
Slitcher	$k = \frac{g}{v} \times 1 \times 10^{-2} n^{3,287} D_{10}^2$	-	0.01-5	-	Var
Terzaghi	$k = \frac{g}{v} \times C_t \times \left[\frac{n - 0,13}{(1-n)^{1/3}} \right]^2$	-	-	Kum boyu	Var
USBR	$k = \frac{g}{v} \times 4,8 \times 10^{-4} D_{20}^{0,3} \times D_{20}^2$	<5	-	İri kum	Yok
Alyamani ve Sen	$k = 1300 [I_0 + 0,025(D_{50} - D_{10})]^2$	-	-	D_{10} ve D_{50} olan tüm sedimanlar	Yok

YAPILAN ÇALIŞMALAR

Büyükdere Mahallesi Meşelik Mevkii'nde (8 adet), Bağlar Mahallesi'nde (10 adet) ve Güllük Mahallesi'nde (11 adet) açılan temel sondaj kuyularından elde edilen verilere dayalı olarak elek analizi granülometri eğrileri çizilmiş, çizilen bu eğriler yardımı ile D_{60} , D_{50} , D_{30} , D_{20} , D_{10} , I_0 , U ve C_c parametreleri belirlenmiştir. İlgili bölgelere ait parametreler ve granülometri eğrilerine ait örnekler, Çizelgeler 6-8 ve Şekiller 4-6 ile verilmiştir.

Elek analizi granülometri eğrileri çizimlerinden, Meşelik Mevkii, Bağlar Mahallesi ve Güllük Mahallesi'nde D_{60} , D_{30} , D_{50} , D_{20} , D_{10} değerleri okunup, okunan değerler ile U , C_c parametreleri bulunmuş ve yukarıda belirtilen yaklaşımlar ile geçirgenlik katsayıları hesaplanmıştır. Grafikten okunmayan etkin tane boyu değerleri ise D_{60} değerlerinin bulunduğu grafiklerdeki eğrilerin son noktası D_{10} değeri kabul edilerek belirlenmiştir. (Çizelgeler 6-8). Yapılan hesaplamalarda alt ve üst değer veren yaklaşımlar (örneğin Slitcher-Terzaghi) için n_1 ve n_2 , sırasıyla en düşük ve en yüksek gözeneklilik değer aralıkları dikkate alınarak kullanılmıştır (Çizelge 3, McWorter ve Sunada, 1977). Gözeneklilik değerleri G_s , birim yoğunluk ve w değerlerinden hesaplanmıştır. G_s değerleri olmayan örnekler için de literatürde öngörülen alt ve üst sınır değerlerinden yararlanılmıştır (<http://gozips.uakron.edu/>). İkişer değer veren yaklaşım formüllerinde (Slitcher-Terzaghi) ise gözeneklilik değeri vardır. Tek değer veren yaklaşımlarda ise (Breyer, USBR, Alyamani-Sen) gözeneklilik değeri yoktur. Meşelik Mevkii, Bağlar ve Güllük Mahalleleri'nde hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerleri harita üzerinde Şekil 7 ve 8'de görülmektedir. Haritalarda bulunan geçirgenlik katsayısı hesaplamaları ise, Slitcher ve Terzaghi

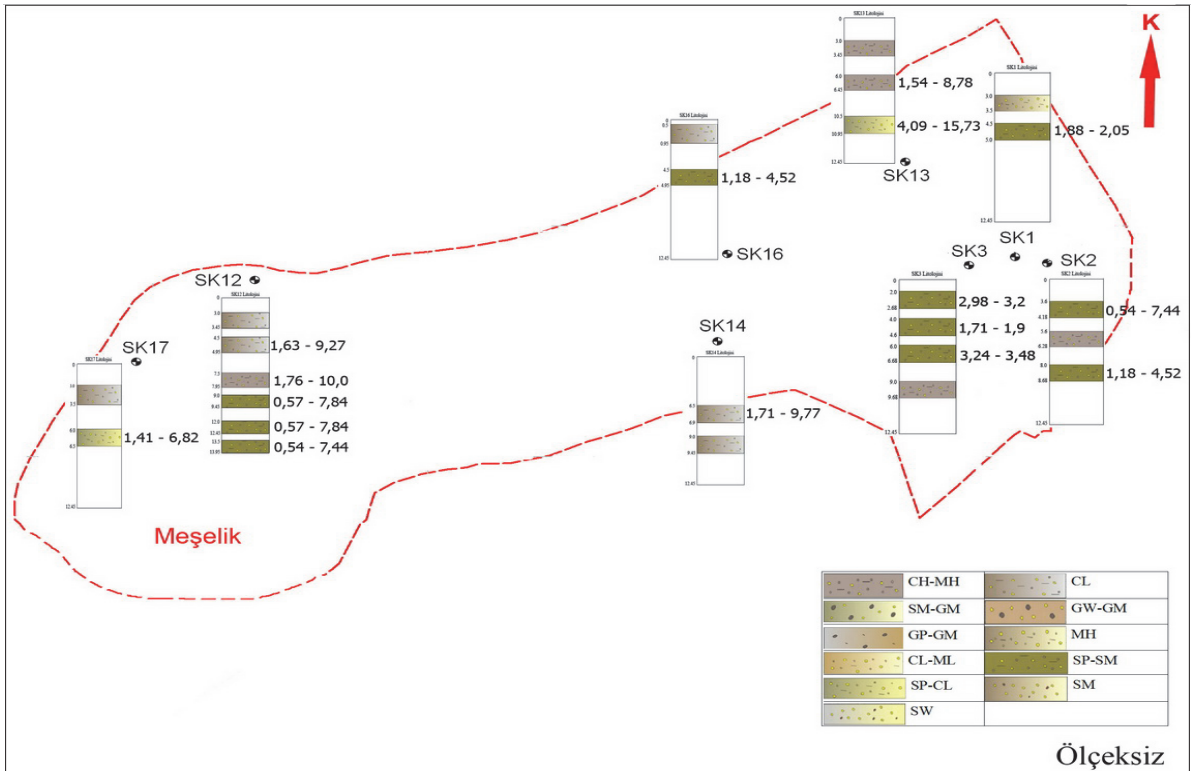
yaklaşımlarından elde edilen en düşük geçirgenlik katsayılarının ortalaması ile yine aynı yaklaşımlardan elde edilen en yüksek geçirgenlik katsayılarının ortalaması dikkate alınarak yapılmıştır. Örneğin; Çizelge 6'da SK 2 için, 3.60 – 4.18 m aralığında, en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla Slitcher'a göre 0.45 – 5.33 m/gün ve Terzaghi'ye göre 0.63 – 9.55 m/gün olarak bulunmuştur. Şekil 7'de bu iki yaklaşıma ait en düşük ve en yüksek değerlerin ortalamaları 0.54 – 7.44 m/gün olarak bulunmuş olup, Breyer yaklaşımı da çoğunlukla bu aralıklar arasında kalmaktadır. Aynı hesaplamalar Şekil 8 için de yapılmıştır.

Hazen yaklaşımı, iyi boylanmış malzemelere uygulanabilir olup, uygulama aralıkları $U < 5$, D_{10} : 0.1 - 3 mm arasındadır (Çizelge 5). Bu çalışma kapsamında hesaplanan D_{10} ve U değerleri uygun olmadığından dolayı Hazen fomülüyle yapılan hesaplamalar uygun değildir. Kozeny-Carman yaklaşımı, kötü boylanmış, çakıl, kum boyu kütlelerde uygulanır. Kozeny-Carman yaklaşımı için uygulama aralıkları $U < 2$, D_{10} : 0.5-4 mm arasındadır. Bu aralıklar, bu çalışma kapsamında hesaplanan bazı U değerleri için uygundur, ancak D_{10} değerlerine uymamaktadır. Bu yüzden Kozeny-Carman yaklaşımıyla yapılan hesaplamalar uygun değildir. Breyer yaklaşımı uygulama aralıkları $U = 1 - 20$, D_{10} : 0.06 – 0.6 mm arasındadır. Breyer yaklaşımı bazı kuyulardan elde edilen veriler için uygulanmıştır. Slitcher yaklaşımı ise heterojen malzemeler için uygulanmıştır. Slitcher yaklaşımı için uygulama aralıkları D_{10} : 0.01 - 5 mm arasındadır. Slitcher yaklaşımı bu çalışma kapsamında hemen tüm değerler için uygundur. USBR yaklaşımı orta boylanmış kum boyu kütleler için uygundur. USBR yaklaşımı uygulama aralıkları $U < 5$ ve D_{20} tane boyu belirlenmiş olmalıdır. Çalışma kapsamında D_{20} değeri olmayan değerler uygun değildir. Terzaghi

yaklaşımı iri taneli kum boyu malzemelerde uygulanmaktadır. Alyamani ve Sen (1993), I_0 değerinin bulunduğu tüm hesaplamalarda uygulanır. Çizelgeler 6-8’de altı çizgili koyu renkte belirtilmiş olan sonuçlar, ilgili yaklaşımlardaki koşulları sağlamış olan, kabul edilebilir değerlerdir.

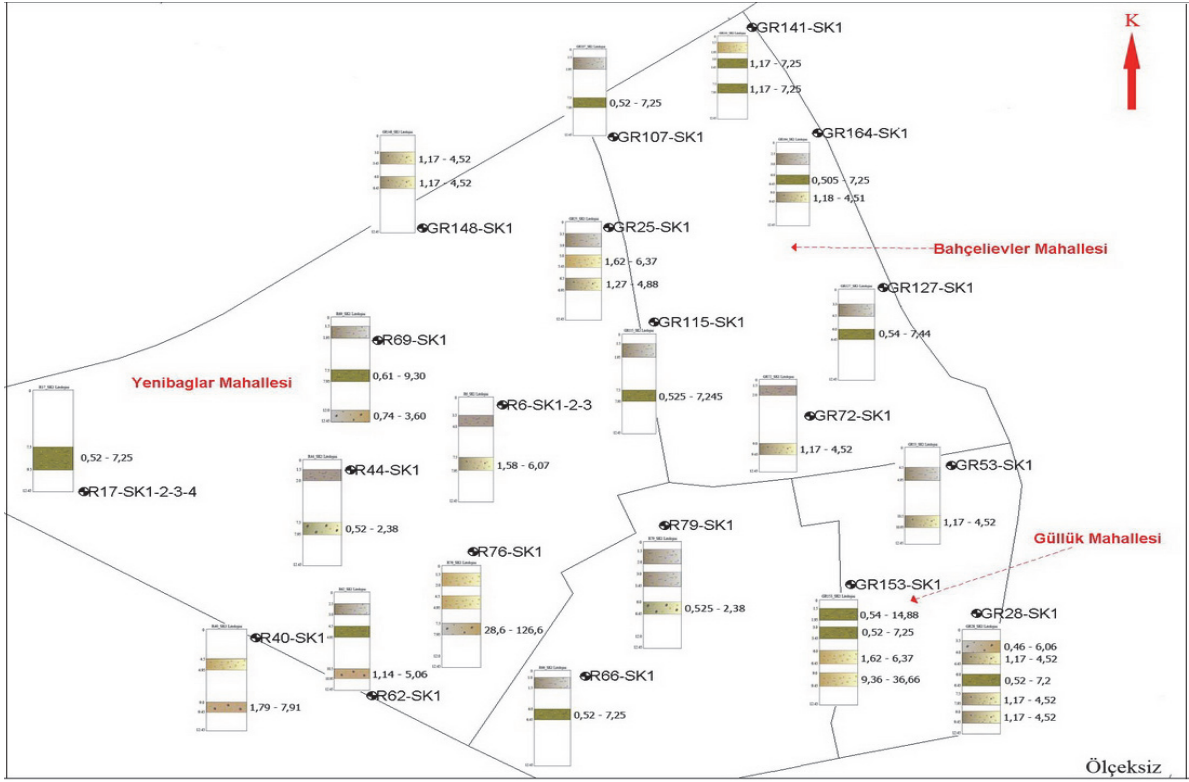
Meşelik Mevkii’nde genellikle Breyer, Slichter ve Terzaghi yöntemleri ile hesaplamalar yapılabilmektedir. SK2 ve SK13 kuyularından alınan örnekler ile yapılan geçirgenlik katsayıları hesaplamaları sonuçları şu şekildedir:

SK2 kuyusunun 3.60 – 4.18 metreleri arasında az killi, siltli, çakıllı orta derecelenmiş kum boyu malzeme mevcuttur. Bu metreler arası için, Breyer, Slichter ve Terzaghi yöntemleri uygulanabilmiş olup, her bir yöntem için ayrı ayrı hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerleri birbirine yakın çıkmıştır. SK2 kuyusunun 8.00 – 8.68 metreleri arasında az killi, siltli, çakıllı orta derecelenmiş kum boyu malzeme mevcuttur. Burası için de Breyer, Slichter, ve Terzaghi yaklaşımları uygulanmış olup, hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerleri birbirine yakındır (Çizelge 6).



Şekil 7. Meşelik mevkiinde hesaplanan geçirgenlik katsayılarının kuyular üzerinde gösterimi. Kırmızı renkli gösterilenler, yaklaşık olarak hesaplanan geçirgenlik katsayılarıdır.

Figure 7. Permeability coefficients of the samples shown at the borehole locations belonging to Meşelik site. Approximately calculated permeability coefficients are shown with red.



Şekil 8. Bağlar ve Güllük mahallelerinde hesaplanan geçirgenlik katsayılarının kuyular üzerinde gösterimi. Kırmızı renkli gösterilenler, yaklaşık olarak hesaplanan geçirgenlik katsayılarıdır.

Figure 8. Permeability coefficients of the samples shown at the borehole locations belonging to Bağlar and Güllük distinct. Approximately calculated permeability coefficients are shown with red.

SK13 kuyusunda 3.00 – 3.45 m arasında az kumlu, siltli, yüksek plastisiteli kil malzeme mevcuttur fakat tane boyu değerleri (D_{60} , D_{50} , D_{30} , D_{20} , D_{10}) uygun olmadığından geçirgenlik katsayısı hesaplamaları yapılamamıştır. 6.00 – 6.45 m arasında ise az kumlu siltli yüksek plastisiteli kil boyu malzeme mevcuttur. Breyer, Slichter, Terzaghi yaklaşımları uygulanabilmiş ve hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerleri birbiri ile uyumlu çıkmıştır. 10.5 – 10.95 m arasında çok az killi siltli kötü derecelenmiş kum boyu malzeme mevcuttur. Hazen, Kozeny-Carman dışındaki tüm yaklaşımlar uygulanabilmiş, her bir yöntem için ayrı olarak hesaplanan

geçirgenlik katsayısı değerleri birbirine yakın çıkmıştır (Çizelge 6).

Bağlar mahallesinde Breyer, Slichter, Terzaghi, Alyamani-Sen yaklaşımları ile hesaplamalar yapılabilmektedir. R69_SK1 ve R76_SK1 kuyularından alınan örnekler ile yapılan geçirgenlik katsayıları hesaplamalarında; R69_SK1 kuyusunda 1.50 – 1.95 m arasında az kumlu siltli düşük plastisiteli kil boyu malzeme olmasına rağmen tane boyu değerleri (D_{60} , D_{50} , D_{30} , D_{20} , D_{10}) uygun olmadığından geçirgenlik katsayısı hesaplamaları yapılamamıştır. Gene aynı kuyuda 7.50 – 7.95 m arasında çok az killi siltli çakıl

orta derecelenmiş kum boyu malzeme mevcuttur. Breyer, Terzaghi yaklaşımları uygulanabilmiş olup, hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerleri birbiriyle uyumludur. Aynı kuyunun 12.00 – 12.45 m arasında kötü boylanmış çakıl taneleri içeren kumlu çakıl boyu malzeme mevcuttur. Terzaghi ve Alyamani-Sen yaklaşımları uygulanabilmiş ve her bir yaklaşım için ayrı olarak hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerlerinin birbirine yakın olduğu gözlenmiştir (Çizelge 7).

R76_SK 1 kuyusunda 1.50 – 2.00 m ve 4.50 – 4.95 m arasında az kumlu yüksek plastisiteli killi silt boyu malzeme mevcuttur fakat bu metreler arasında tane boyu değerleri (D_{60} , D_{50} , D_{30} , D_{20} , D_{10}) uygun olmadığından, geçirgenlik katsayısı hesaplamaları yapılamamıştır. Aynı kuyunun 7.50 – 7.95 metreleri arası kötü boylanmış çakıl taneleri içeren kumlu çakıl boyu malzemedir. Slichter, Terzaghi yaklaşımları uygulanabilmiş, hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. D_{60} değerleri çok yüksek olduğundan dolayı geçirgenlik katsayısı hesaplamaları diğer kuyulara oranla daha yüksek çıkmıştır (Çizelge 7).

Güllük Mahallesi'nde Breyer, Slichter, Terzaghi, Alyamani-Sen yaklaşımları uygulanabilmiştir. GR25_SK1 nolu kuyunun 5.00 – 5.45 m arasında az kumlu yüksek plastisiteli killi silt boyu malzeme mevcuttur. Bu metreler arasına Breyer, Slichter, Terzaghi yaklaşımları uygulanabilmiş, geçirgenlik katsayısı değerleri de yine birbirine yakın çıkmıştır. Aynı kuyunun 6.50 – 6.95 m arasında çakıllı orta derecelenmiş kum boyu malzeme mevcuttur. Breyer, Slichter, Terzaghi, Alyamani-Sen yaklaşımları uygulanabilmiş ve her bir yaklaşım için ayrı olarak hesaplanan geçirgenlik katsayısı da birbirine yakın çıkmıştır (Çizelge 8).

GR153_SK1 kuyusunda 1.50 – 1.95 m arasında çok az killi siltli çakıllı orta derecelenmiş kum boyu malzeme mevcuttur. Slichter, Terzaghi yaklaşımları uygulanabilmiştir ve her bir yaklaşım için ayrı olarak hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerleri birbirine yakın çıkmıştır. 3.00 – 3.45 m arasında çok az killi siltli çakıllı orta derecelenmiş kum boyu malzeme mevcuttur. Slichter, Terzaghi, yaklaşımları uygulanabilmiş, hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerleri birbirine yakın çıkmıştır. 6.00 – 6.45 m arasında az kumlu düşük plastisiteli killi silt boyu malzeme mevcuttur. Breyer, Slichter, Terzaghi yaklaşımları uygulanabilmiş, hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerleri birbiriyle uyumlu çıkmıştır. 9.00 – 9.45 m arasında az kumlu düşük plastisiteli killi silt boyu malzeme mevcut olup, Slichter, Terzaghi, Alyamani-Sen yaklaşımları uygulanabilmiş, hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerleri birbirine yakın çıkmıştır (Çizelge 8).

ANALİZ SONUÇLARINA İLİŞKİN DEĞERLENDİRMELER

Elde edilen değerlendirmeler sonucunda Meşelik Mevkii'nde genellikle düşük plastisiteli, iyi derecelenmemiş, kum, kil, silt boyu kütleler bulunmaktadır. Kil ve silt boyu kütlelerin gözeneklilikleri yüksek ancak geçirgenlikleri düşüktür ve bu kütlelerin etkin tane boyu çapları belirlenemediğinden SK1'in 3.00 – 3.50 m ile 6.0 – 6.28 m, SK3'ün 9.00 – 9.60 m, SK13'ün 3.00 – 3.45 m, SK14'ün 9.00 – 9.45 m, SK15'in 6.00 – 6.45 m, ile 10.50 – 10.95 m, SK17'nin 3.00 – 3.50 m ve SK19'un 3.00 – 3.30 m aralıkları için geçirgenlik katsayısı hesaplamaları yapılamamıştır. Güllük Mahallesi'nde, genellikle düşük plastisiteli, kötü boylanmış, çakıl, kum, kil, silt boyu kütleler bulunmaktadır. Bağlar Mahallesi'nde, genellikle düşük plastisiteli, iyi derecelenmemiş, çakıl, kum, kil, boyu malzeme bulunmaktadır.

Bazı hesaplamalarda, örneğin (Çizelge 6) SK3 kuyusu 4.00 – 4.60 m ve SK12 kuyusu 12.00 – 13.95 metreler arasında D_{10} değerleri kabul görülen değerler (eğrinin son noktası kabul görülen değer olarak alınmıştır) olduğundan dolayı I_0 değeri belirlenememiş ve Alyamani-Sen'e göre hesaplamalar yapılamamıştır.

Ortalama olarak üniformluk katsayısı, kum boyutu malzeme için $U = 10 - 30$, silt boyu malzeme için $U = 2 - 4$, kil boyutu malzeme için $U = 10 - 100$ aralığında bulunmuştur (Çizelgeler 6 - 8).

Meşelik Mevkii SK13 kuyusunun 6.00 – 6.45 metreleri arasında geçirgenlik katsayısı değerleri Slitcher'e göre 3.10 – 11.35 m/gün, Terzaghi'ye göre 5.8 – 20.10 m/gün, Alyamani-Sen'e göre ise 6.38 m/gün olarak hesaplanmıştır. SK3 kuyusunun 4.00 – 4.60 metreleri arasında Slitcher'e göre 1.27 – 1.39 m/gün ve Terzaghi'ye göre 2.16 – 2.38 m/gün olarak hesaplanan değerler birbirine yakındır.

Bağlar Mahallesi R6_SK1 kuyusu 7.5 – 7.95 m arasında formüllerde geçirgenlik katsayısı değerleri Slitcher'e göre 1.20 – 4.38 m/gün, Terzaghi 1.96 – 7.76 m/gün, Alyamani-Sen 3.26 m/gün olarak hesaplanmış olup, değerler birbirine yakındır. R40_SK1 kuyusunun 9.00 – 9.45 m aralığı incelendiğinde, geçirgenlik katsayısı değerleri Slitcher için 1.54 – 5.82 m/gün ve Terzaghi için 2.04 -10,1 m/gün olarak hesaplanmış olup, bu değerler birbirine yakındır.

Güllük Mahallesi GR25_SK1 kuyusu 3.5 – 3.95 metre ve GR164_SK1 kuyusu 2.5 – 3.0 metreler arası CL tipi malzeme için hesaplanan geçirgenlik katsayılarının birbirinden oldukça farklı ve kil malzemenin geçirgenliğini yansıtmayacak ölçüde yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Bu durum, yaklaşımların kil malzeme dışında geçerli olacağını ifade etmektedir. Çünkü kil gibi yüksek gözenekliliğe sahip zeminin geçirgenliğinin çok düşük olması

beklenirken birbirinden oldukça farklı ve yüksek değerlerde olması, kil malzeme için yaklaşımların doğru olmayacağını göstermektedir. Gözeneklilik verisi bulunmayan örneklerde, değerler literatürden minimum ve maksimum aralıklar için (Çizelge 5) alındığından diğer hesaplamalarda da farklılıkların ortaya çıkması doğaldır. Ancak, kil malzeme için geçirgenlik katsayısı değişim oranları çok yüksek olup değerlendirme dışında tutulmuştur.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda, hesaplanan geçirgenlik katsayılarının genelde, sondaj kuyularında geçilen malzemenin türü ile (kötü ve iyi boylanmış silt, kum, çakıl) uyumlu olduğu görülmüştür (Şekil 7 ve 8). Elde edilen geçirgenlik katsayılarının Breyer, Slitcher, Terzaghi ve Alyamani-Sen yaklaşımları ile uyumlu, Hazen, Cozeny-Carman ve USBR yaklaşımları ile uyumlu olmadığı görülmüştür. Bunun nedeni, Hazen ve USBR yaklaşımları için $U < 5$ ve Cozeny-Carman yaklaşımı için $U < 2$ koşulunun sağlanmasıdır. Bu koşulu sağlayan kuyulardaki ilgili seviye aralıklarına ilişkin litoloji ile Kozany-Carman ve Hazen yaklaşımlarından elde edilen geçirgenlik katsayıları SK-1 (4.5 – 5.0 m arası SM), SK-2 (3.60 – 4.18 m arası SM), SK-3 (6.0 – 6.68 m arası SM), SK-16 (4.5 – 4.95 m arası SM-SH), GR115 - SK-1 (7.5 – 7.95 m arası SM) Çizelge 4'de verilen literatüre uygun sonuçlar vermektedir. $U < 5$ koşulunun aranmadığı diğer kuyular için Breyer, Slitcher ve Terzaghi yaklaşımları (iri kum olmak üzere) kullanılarak hesaplanan geçirgenlik katsayıları da Çizelge 4 ile uyumlu sonuçlar vermektedir. Örneğin; Meşelik Mevkii'nde açılan SK-2 kuyusunda 8.00 – 8.68 m arasında siltli kum boyutunda malzeme mevcut olup, bu aralıkta, değişik yaklaşımlardan yararlanılarak hesaplanan ortalama geçirgenlik katsayısı değerlerinin 0.89 – 5.77 m/gün arasında değiştiği ve bu değerlerin literatürdeki (Çizelge 4) değerler ile uyumlu olduğu görülmektedir. Benzer şekilde, R76_SK 1 kuyusunda, 7.50 – 7.95 m arasındaki kötü derecelenmiş çakıl-siltli çakıl

(GP-GP) türü malzeme için hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerleri 24.56 m/gün – 160.10 m/gün arasında olup, Çizelge 4 ile

verilen malzeme cinsine ilişkin geçirgenlik katsayılarının aralığıyla uyumludur.

Çizelge 6. Meşelik mevkii kuyularına ait grup sembolleri, doğal yoğunluk, su muhtevası, G_s kabul aralığı, hesaplanan e_1 , e_2 ve n_1 , n_2 aralıkları, granülometri eğrilerinden okunan, D_{60} , D_{50} , D_{30} , D_{10} , I_0 değerleri ve hesaplanan C_c değerleri, farklı yaklaşımlarla hesaplanan geçirgenlik katsayıları (H: Hazen, K-C: Kozeyn-Carman, B: Breyer, S: Slitcher, T: Terzaghi, U: USBR, A-S: Alyamani-Sen). Granülometri eğrilerinden okunan D_{10} ve hesaplanan U değerleri olup, koyu renk gösterilenler ise kabul edilen değerleridir.

Table 6. Group symbol, natural density, water content, G_s acceptance interval and calculated e_1 , e_2 and n_1 , n_2 intervals, D_{60} , D_{50} , D_{30} , D_{10} , I_0 values that are read from grain size curve, and the calculated C_c values that belong to Meselik area boreholes (H: Hazen, K-C: Kozeyn-Carman, B: Breyer, S: Slitcher, T: Terzaghi, U: USBR, A-S: Alyamani-Sen). D_{10} and U values are read and calculated from grain size distribution curves, respectively. The accepted values are shown with bold.

SK1	Grup Sembolü	ρ (g/cm ³)	Aralığı	n_1	n_2	D_{60}	D_{50}	D_{30}	D_{10}	I_0	U	C_c	H	K-C	B	S	T	USBR	A-S					
																				Kabul				
3,00-3,50	MH	1,71	0,35	2,65	2,70	0,52	0,53	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
4,50-5,00	SM	1,97	0,16	2,63	2,67	0,35	0,36	0,20	0,11	—	2,67	—	4,87	5,12	3,70	4,14	5,08	1,88	1,51	2,87	2,69			
3,60-4,18	SM	—	0,19	2,63	2,67	0,25	0,53	0,20	0,10	—	0,08	—	2,32	9,53	0,99	24,02	5,87	0,45	5,33	0,63	0,65			
5,60-6,28	CH-MH	1,8	0,28	2,67	2,90	0,47	0,51	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
8,00-8,68	SM	—	0,09	—	—	0,31	0,46	2,60	2,00	0,60	0,13	0,07	34,67	1,85	3,77	7,53	2,17	11,58	2,91	0,89	3,26	1,46	5,77	0,41
2,00-2,68	SM	1,96	0,25	2,63	2,67	0,40	0,42	0,60	0,14	—	0,07	—	6,18	6,40	6,60	7,25	4,51	2,16	2,32	3,79	4,08	—	—	
4,00-4,60	SM	1,92	0,11	2,63	2,67	0,34	0,35	4,00	2,37	0,30	0,08	0,07	53,33	0,30	4,65	4,89	3,33	3,74	2,44	1,27	1,39	2,16	2,38	0,12
6,00-6,68	SM	1,78	0,16	2,63	2,67	0,42	0,42	0,20	0,10	—	0,07	—	6,44	6,66	7,37	8,08	5,70	2,85	2,52	4,13	4,43	—	—	
9,00-9,68	CH-MH	—	0,38	2,67	2,90	0,34	0,57	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
3,00-3,45	CL-ML	—	0,06	2,67	2,90	0,34	0,57	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
4,50-4,95	CL-ML	—	0,07	2,67	2,90	0,34	0,57	0,12	—	—	1,60	—	4,52	10,29	3,13	34,76	6,26	1,21	6,59	2,04	11,94	—	—	
7,50-7,95	CH-MH	—	0,09	2,67	2,90	0,34	0,57	0,08	—	—	1,03	—	4,89	11,13	3,39	37,59	7,62	1,31	7,13	2,21	12,91	—	—	
9,00-9,45	SM-ML	—	0,05	2,63	2,67	0,25	0,53	0,28	0,16	—	0,08	—	3,59	10,04	1,04	25,30	5,82	0,48	5,61	0,66	10,06	—	—	
12,00-12,45	SM	—	—	2,63	2,67	0,25	0,53	2,90	1,50	0,30	0,16	0,08	37,18	0,40	2,44	10,04	1,04	25,30	3,06	0,48	5,61	0,66	10,06	0,66
13,50-13,95	SM	—	—	2,63	2,67	0,25	0,53	2,50	1,50	0,30	0,16	0,08	32,89	0,47	2,32	9,53	0,99	24,02	3,05	0,45	5,43	0,63	9,48	0,66
3,00-3,45	CH-MH	—	—	2,67	2,90	0,34	0,57	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
6,00-6,45	CH	—	—	2,67	2,90	0,34	0,57	0,30	—	—	1,09	—	4,28	9,74	2,97	32,93	6,32	1,14	6,24	1,84	11,31	—	—	
10,5-10,95	SP	—	—	2,63	2,67	0,31	0,46	6,00	3,00	0,60	0,29	0,14	42,86	0,43	13,11	26,22	7,57	40,36	9,33	3,10	11,85	5,08	20,10	2,61
6,50-6,90	CL-ML	—	0,3	2,67	2,90	0,34	0,57	2,30	1,00	0,22	0,14	0,08	29,87	0,27	4,76	10,84	3,30	36,64	3,24	1,27	6,95	2,15	12,58	0,49
9,00-9,45	CL-CH	—	—	2,67	2,90	0,34	0,57	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
6,50-6,95	CL	—	—	2,67	2,90	0,34	0,57	0,23	0,14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
4,50-4,95	SM-SH	—	—	2,67	2,90	0,31	0,46	0,40	0,20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
3,00-3,50	CL	1,97	0,13	2,67	2,90	0,35	0,40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
6,00-6,50	SP-CL	2,07	0,14	2,67	2,90	0,32	0,38	0,17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Çizelge 7. Bağlar Mahallesi kuyularına ait grup semböli, doğal yoğunluk, su muhtevası, G_s kabul aralığı, hesaplanan e_1 , e_2 ve n_1 , n_2 aralıkları, granülometri eğrilerinden okunan, D_{60} , D_{50} , D_{30} , D_{10} , D_{10} , I_p değerleri ve hesaplanan C_c değerleri, farklı yaklaşımlarla hesaplanan geçirgenlik katsayıları (H: Hazen, K-C: Kozevyn-Carman, B: Breyer, S: Slichter, T: Terzaghi, U: USBR, A-S: Alyamani-Sen). Granülometri eğrilerinden okunan D_{10} ve hesaplanan U değerleri olup, koyu renk gösterilenler ise kabul edilen değerlerdir.

Table 7. Group symbol, natural density, water content, G_s acceptance interval and calculated e_1 , e_2 and n_1 , n_2 intervals, D_{60} , D_{50} , D_{30} , D_{10} , I_p values that are read from grain size curve, and the calculated C_c values that belong to Bağlar area boreholes (H: Hazen, K-C: Kozevyn-Carman, B: Breyer, S: Slichter, T: Terzaghi, U: USBR, A-S: Alyamani-Sen). D_{10} and U values are read and calculated from grain size distribution curves, respectively. The accepted values are shown with bold.

Grup Semböli	n_1	n_2	D_{10}	D_{20}	D_{30}	D_{40}	D_{50}	D_{60}	I_p	U	C_c	H	K-C	B	S	T	USBR	A-S			
R6_SKI 7,5-7,95m	0,31	0,46	5,00	2,00	0,40	0,13	0,09	0,05	57,47	0,37	5,06	10,13	2,92	15,59	3,17	1,70	4,38	1,56	7,76	0,41	3,76
R17_SKI 7,5-9,5m	0,25	0,53	0,50	0,30	0,11	—	0,08	—	6,67	0,32	2,26	9,28	0,97	23,39	4,70	0,44	5,19	0,61	9,30	—	—
R37_SKI 7,5-7,95	0,25	0,53	6,00	4,00	1,00	0,60	*0,14	0,06	42,86	1,19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
R40_SKI 9,00-9,45m	0,24	0,36	18,00	8,00	2,40	0,88	*0,15	0,06	120,00	2,13	8,03	20,07	3,32	15,81	6,22	1,54	5,83	2,04	10,01	33,47	4,71
R44_SKI 7,5-7,95m	0,25	0,38	7,00	5,50	0,95	0,25	0,08	—	93,33	1,72	2,26	5,52	0,96	4,95	1,83	0,44	1,74	0,61	3,02	1,85	—
R62_SKI 2,5-3,00m	0,34	0,57	0,15	—	—	—	0,08	—	*	—	4,52	10,29	3,13	34,76	6,02	1,21	6,59	2,04	11,54	—	—
10,5-10,95m GM-GW	0,24	0,36	6,00	4,00	0,95	0,60	*0,12	0,05	50,00	1,25	5,14	12,84	2,13	10,12	6,42	0,98	3,73	1,31	6,40	13,87	3,06
R66_SKI 6,00-6,45m	0,25	0,53	0,320	0,25	0,15	—	0,08	—	*4,27	0,94	2,26	9,28	0,96	23,39	5,19	0,44	5,19	0,61	9,30	—	—
R69_SKI 7,5-7,95m	0,25	0,53	0,570	0,18	0,08	—	0,08	—	*7,60	0,14	2,26	9,28	0,96	23,39	4,56	0,44	5,19	0,61	9,30	—	—
12,00-12,45m GP-GM	0,24	0,36	7,00	4,00	0,90	0,30	*0,09	0,04	77,78	1,29	2,89	7,23	1,20	5,69	2,92	0,55	2,10	0,74	3,60	2,82	2,09
R76_SKI 7,5-7,95	0,24	0,36	18,00	9,51	4,00	1,80	*0,60	—	30,00	1,48	128,44	321,09	53,15	252,97	196,16	24,56	93,11	32,66	160,10	173,59	—
R79_SKI 3,00-3,45m	0,34	0,57	0,14	—	—	—	0,08	—	*1,87	—	4,52	10,29	3,13	34,76	6,09	1,21	6,59	2,04	11,54	—	—
6,00-6,45m GM	0,25	0,38	4,70	2,36	0,15	—	0,08	—	62,67	0,06	2,26	5,52	0,96	4,95	2,26	0,44	1,74	0,61	3,02	—	—

Çizelge 8. Güllük Mahallesi kuyularına ait grup semböli, su muhtevası, G_s kabul aralığı, hesaplanan e_1 , e_2 ve n_1 , n_2 aralıkları, granülometri eğrilerinden okunan, D_{60} , D_{50} , D_{30} , D_{10} , I_0 değerleri ve hesaplanan C_c değerleri, farklı yaklaşımlarla hesaplanan geçirgenlik katsayıları (H: Hazen, K-C: Kozeyn-Carman, B: Breyer, S: Sitcher, T: Terzaghi, U: USBR, A-S: Alyamani-Sen). Granülometri eğrilerinden okunan D_{10} ve hesaplanan U değerleri olup, koyu renk gösterilenler ise kabul edilen değerlerdir.

Table 8. Group symbol, natural density, water content, G_s acceptance interval and calculated e_1 , e_2 and n_1 , n_2 intervals, D_{60} , D_{50} , D_{30} , D_{10} , I_0 values that are read from grain size curve, and the calculated C_c values that belong to Güllük area boreholes (H: Hazen, K-C: Kozeyn-Carman, B: Breyer, S: Sitcher, T: Terzaghi, U: USBR, A-S: Alyamani-Sen). D_{10} and U values are read and calculated from grain size distribution curves, respectively. The accepted values are shown with bold.

Grup Semböli	n_1	n_2	D_{60}	D_{50}	D_{30}	D_{10}	I_0	U	C_c	H	K-C	B	S	T	USBR	A-S					
GR25 SKI																					
CL	0,34	0,57	0,08	—	—	—	0,08	1,01	—	4,52	10,29	3,13	34,76	6,76	1,21	6,59	2,04	11,94	—		
ML	0,34	0,51	0,12	—	—	—	0,08	1,60	—	4,52	8,78	3,13	19,17	6,26	1,21	4,57	2,04	8,16	—		
SP-SM	0,31	0,46	1,18	0,80	0,20	0,12	*0,08	15,13	0,44	4,07	8,14	2,35	12,53	4,14	0,98	3,57	1,58	6,24	0,34	4,68	
GR28 SKI																					
GP-GM	0,24	0,36	5,50	4,90	2,36	1,00	*0,08	0,07	72,37	13,33	2,06	5,15	0,85	4,06	0,40	1,49	0,52	2,57	44,92	6,39	
SP-SM	0,31	0,46	1,60	1,20	0,80	0,60	*0,08	0,04	21,33	5,33	3,76	7,53	2,17	11,50	3,44	0,82	3,26	1,46	5,77	13,87	2,08
SM	0,25	0,53	1,50	0,90	0,20	0,09	0,08	20,00	0,16	2,26	9,28	0,96	23,39	4,51	0,44	5,12	0,61	9,30	0,16	—	
SP-SM	0,31	0,46	2,40	1,15	0,65	0,30	*0,08	0,04	32,00	2,35	3,76	7,53	2,17	11,59	3,00	0,89	3,26	1,46	5,77	2,82	2,08
SP-SM	0,31	0,46	3,00	1,60	0,70	0,34	*0,08	0,04	40,00	2,18	3,76	7,53	2,17	11,59	2,75	0,82	3,26	1,46	5,77	3,76	2,02
GR33 SKI																					
SP-SM	0,31	0,46	1,40	0,70	0,15	0,10	*0,08	0,06	18,67	0,22	3,76	7,53	2,17	11,59	3,58	0,89	3,26	1,46	5,77	0,23	4,68
GR72 SKI																					
SP-SM	0,31	0,46	5,50	3,60	0,90	0,55	*0,08	0,03	73,33	1,97	3,76	7,53	2,17	11,59	2,02	0,89	3,26	1,46	5,77	11,36	1,18
GR107 SKI																					
SM	0,25	0,53	0,65	0,30	0,10	—	0,08	8,67	0,21	2,26	9,28	0,96	23,39	4,43	0,44	5,12	0,61	9,30	—	—	
GR115 SKI																					
SM	0,25	0,53	0,35	0,14	—	—	0,08	—	4,67	—	2,26	9,28	0,96	23,39	5,02	0,44	5,12	0,61	9,30	—	—
GR127 SKI																					
SM	0,25	0,53	0,85	0,50	0,10	—	0,08	—	11,19	0,16	2,32	9,53	0,99	24,02	4,25	0,45	5,33	0,63	9,55	—	—
GR141 SKI																					
SM	0,25	0,53	0,95	0,70	0,20	—	0,08	—	12,67	0,56	2,26	9,28	0,96	23,39	4,01	0,44	5,12	0,61	9,30	—	—
SM	0,25	0,53	0,90	0,60	0,20	0,10	0,08	—	12,00	0,59	2,26	9,28	0,96	23,39	4,06	0,44	5,12	0,61	9,30	0,23	—
GR148 SKI																					
SP-SM	0,31	0,46	1,15	0,95	0,65	0,35	*0,08	0,04	15,33	4,90	3,76	7,53	2,17	11,58	3,80	0,89	3,26	1,46	5,77	4,02	2,08
SP-SM	0,31	0,46	2,00	1,20	0,60	—	*0,08	0,04	26,67	2,40	3,76	7,53	2,17	11,58	3,19	0,89	3,26	1,46	5,77	4,02	2,08
GR153 SKI																					
SM	0,25	0,53	2,30	0,92	0,14	—	0,08	—	30,26	0,11	2,32	9,53	0,99	24,02	3,14	0,45	5,33	0,63	9,55	—	—
SM	0,25	0,53	1,80	1,20	0,70	0,33	0,08	—	24,00	3,63	2,26	9,28	0,96	23,39	3,31	0,44	5,12	0,61	9,30	3,51	—
ML	0,34	0,51	0,23	—	—	—	0,08	—	3,07	—	4,52	8,78	3,13	19,17	5,55	1,21	4,58	2,04	8,16	—	—
ML	0,34	0,51	4,50	3,00	1,10	0,70	*0,18	0,10	25,00	1,50	26,01	50,57	18,04	110,43	18,30	6,45	26,33	11,77	47,00	19,78	13,02
GR164 SKI																					
CL	0,34	0,57	4,50	3,10	1,10	0,70	*0,18	—	25,00	1,50	26,01	59,24	18,04	200,20	18,30	6,95	37,95	11,77	68,74	19,78	—
SM	0,25	0,53	0,40	0,08	—	—	0,08	—	5,33	—	2,26	9,28	0,96	23,39	4,95	0,4	5,12	0,61	9,30	—	—
SP-SM	0,31	0,46	3,50	2,50	0,95	0,60	0,08	0,03	46,67	3,44	3,76	7,53	2,17	11,58	2,38	0,8	3,26	1,46	5,77	13,87	1,18

Geçirgenlik katsayısı hesaplamalarında Hazen, Cozeny-Carman ve USBR yaklaşımlarının yalnızca uniform birimler için uygun olduğu, oysa bu çalışmadaki birimlerin çoğunun uniform olmadığı, yani her tip tane boyutunun olmadığı, homojen özellik sunan malzemelerden oluştuğu dikkate alınır, uniformluk koşulu istemeyen Breyer, Slitcher, Terzaghi ve Alyamani-Sen yaklaşımlarının literatür ve malzeme türü ile uyumlu şekilde kabul edilebilir ölçülerde geçirgenlik katsayısı değerleri verildiği görülmektedir. Bulunan sonuçlar, bu konuda yapılmış benzer çalışma ile de örtüşmektedir (Odong, 2008). Ancak, kil malzeme için bu yaklaşımların sağlıklı sonuçlar vermediği anlaşılmıştır.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, Eskişehir yerleşim alanı Meşelik ve Tepebaşı'nın bazı bölgelerinin tane boyu analizlerine dayalı olarak geçirgenlik katsayılarının farklı yaklaşımlarla karşılaştırılması, çeşitli hesaplamalar ve grafikler yardımıyla yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1) Çalışma alanında zemin alüvyondur. Alüvyon zemin, nehir depoziti şeklinde oluşmuş olup, değişken bir profile sahiptir. Yüzeye yakın kısımlarda ince taneli olan zemin, daha aşağıda göreceli olarak daha iri taneli heterojen dağılım gösteren bir yapıya sahiptir.

2) Meşelik, Bağlar ve Güllük mahalleri olarak her 3 bölge için temsili olarak seçilen kuyularda yapılan hesaplamalar sonucunda, kuyularda geçilen belirli aralıklar için elde edilen geçirgenlik katsayılarının, ilgili aralıklarda kesilen litoloji ile kısmen uyumlu olduğu gözlenmiştir. Bu uyumluluk Breyer, Slitcher ve Terzaghi yaklaşımlarından elde edilen geçirgen-

lik katsayısı değerleri için geçerli olup, literatürde verilen geçirgenlik katsayısı aralıkları ile nispeten örtüşmektedir (Çizelge 4). Hazen, Cozeny-Carman ve USBR yaklaşımlarından elde edilen geçirgenlik katsayısı değerleri anılan yaklaşımlarda $U < 5$ olma şartı sağlanmadığı için literatüre göre kabul edilebilir büyüklükte değildir.

3) Geçirgenlik katsayısının tane boyuna dayalı olarak değişik yaklaşımlar ile tahminine yönelik bu çalışmadan elde edilen en önemli sonuç, yaklaşımların malzemenin türüne göre seçilmesi, tane boyutunun belirleyici bir öge olmasıdır. Ayrıca uniform olan birimler için yapılacak hesaplamalarda Hazen, Cozeny-Carman ve USBR yaklaşımlarının literatürle daha uyumlu sonuçlar verdiği izlenmiştir. Tane boyu uniform olmayan birimler için ise Breyer, Slitcher ve Terzaghi yaklaşımlarının malzeme türü ile uyumlu geçirgenlik katsayısı değerlerinin tahmin edilebildiği anlaşılmıştır.

KATKI BELİRTME

Çalışmada verilerin sağlanmasında yardımcı olan Yrd. Doç. Dr Ahmet Orhan'a, Üç Eksen firmasından Şener Altun'a ve İsmail Korkmaz'a, makalenin hazırlanmasında katkısı bulunan Didem Yasin'e teşekkürü borç biliriz. Ayrıca bilimsel yöndeki eleştirileri ve önerileriyle makalenin geliştirilmesine önemli katkıları olan her iki hakeme de şükranlarımızı sunarız.

KAYNAKLAR

- Alyamani, M.S., Sen, Z., 1993. Determination of Hydraulic Conductivity from Grain-Size Distribution Curves. *Groundwater*, 31, 551-555.
- ASTM, 1992. Classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System), ASTM D2487, 325-335.

- Carman, P. C., 1937. Fluid Flow through Granular Beds. *Trans.Inst.Chem. Eng.*, 15,150p.
- Carman, P.C., 1956. *Flow of Gases through Porous Media*. Butterworths Scientific Publications, London.
- Carrier, W.D., 2003. Goodbye Hazen; Hello Kozeny-Carman. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 129, 1054-1056.
- Cheng, C., Chen, X., 2007. Evaluation of methods for determination of hydraulic properties in an aquifer-aquitard system hydrologically connected to river. *Hydrogeology Journal*, 15, 669-678.
- DSİ, 2001a. Porsuk havzası su yönetim planı projesi hidroloji raporu, s. 223, Eskişehir.
- DSİ, 2001b. Porsuk havzası su yönetim planı projesi ara raporu, s. 248, Eskişehir.
- Esen, E., Yakal, M., Gökçen, M., Mumcu, N., Türkman, M., Dirik, M., 1975. Eskişehir ve İnönü ovaları hidrojeolojik etüt raporu. DSİ Rapor No: 40, 49 s, Ankara.
- Freeze, A.R, Cherry, J.A., 1979. *Groundwater*. Pentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA.
- Gözler, M.Z., Cevher, F. Ergül, E. Asutay, H.J., 1996. Orta Sakarya ve güneyinin jeolojisi, MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Rapor no: 9973, s. 87, Ankara (yayımlanmamış)
- Hazen, A., 1892. Some Physical Properties of Sands and Gravels, with Special Reference to their Use in Filtration. 24th Annual Report, Massachusetts State Board of Health, Pub.Doc. No.34, 539-556 <http://gozips.uakron.edu/~mcbelch/documents/SpecificGravityofSoils.ppt>
- Kaçaroğlu, F., 1991. Eskişehir ovası yeraltısuyu kirliliği incelemesi. Doktora Tezi, H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 340 s, Ankara (yayımlanmamış).
- Kozeny, J., 1927. Über Kapillare Leitung Des Wassers in Boden. *Sitzungsber Akad. Wiss.Wien Math.Naturwiss.Kl., Abt.2a*, 136, 271-306.
- McWorter, D. B., Sunada, D. K., 1977. *Ground-water hydrology and hydraulics*. Water Resources Publications, Littleton, Colorado.
- Odong, J., 2008. Evaluation of empirical formula for determination of hydraulic conductivity based on grain-size analysis. *Journal of American Science*, 4 (1), 1-6.
- Orhan, A., 2005. Eskişehir il merkezi güney bölümü temel zemin birimlerinin jeo-mühendislik özellikleri ve coğrafi bilgi sisteminin uygulanması. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Doktora Tezi, 125 s, Eskişehir (yayımlanmamış).
- Sezer, A., Goktepe, A.B., Altun S., 2009. Estimation of the permeability of granular soils using neuro-fuzzy system. *Artificial Intelligence Applications in Environmental Protection Workshop collocated with 5th IFIP Conference on Artificial Intelligence Applications and Innovations*, Thessaloniki, Greece, April 23-25, 86-95.
- Shepherd, G.R., 1989. Correlations of permeability and grain size. *Ground Water*, 27 (5), 633-638.
- Terzaghi, K., Peck, R.B., 1964. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. Wiley, New York.
- Tosun, H., Türköz, M., Orhan, A., Çamdalı, B., 2001. Meşelik killilerinin geoteknik özellikleri, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Fonu Raporu no:1999-15015, s. 86, Eskişehir.
- Vukoic, M., Soro, A., 1992. Determination of hydraulic conductivity of porous media from grain-size composition. *Water Resources Publications*, Littleton, Colorado
- Yüce, G., 2007. Spatial distribution of groundwater pollution in the Porsuk river basin (PRB), Turkey. *International Journal of Environment and Pollution*, 30, 539-547.
- Yüce, G., Kuran, U., Gördük, S., 2001. Yeraltısı seviye değişimleri ile depremler arasındaki ilişkinin araştırılması: Eskişehir civarındaki gözlemler. *ATAG-5 Toplantısı*, 37-38, Ankara.
- Yüce, G., Pınarbaşı, A., Özçelik, Ş., 2002. Eskişehir ovası yeraltısuyu kirliliğinin incelenmesi.

Güneş ve Yüce

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Araştırma projesi sonuç raporu, Proje No: 2001/28, s.135, Eskişehir.

Yüce, G., Pınarbaşı, A., Özçelik, Ş., Uğurluoğlu, D., 2006. Soil and water pollution derived from

anthropogenic activities in the Porsuk River Basin, Turkey. *Environmental Geology*, 49 (3), 359–375.