



## HİDROLİK İLETKENLİK İLE İNCE TANELİ ZEMİNLERİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ARAŞTIRILMASI

İsmail Hakkı ÖZOK<sup>1</sup>, Enes ZENGİN<sup>2</sup>, Hüseyin KARAKUŞ<sup>3</sup>, Zeynal Abiddin ERGÜLER<sup>4,\*</sup>

<sup>1</sup> Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kütahya, [i.hakki.ozok@gmail.com](mailto:i.hakki.ozok@gmail.com),

<sup>2</sup> Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kütahya, [enes.zengin@dpu.edu.tr](mailto:enes.zengin@dpu.edu.tr),

<sup>3</sup> Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kütahya, [huseyin.karakus@dpu.edu.tr](mailto:huseyin.karakus@dpu.edu.tr),

<sup>4</sup> Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kütahya, [zeynal.erguler@dpu.edu.tr](mailto:zeynal.erguler@dpu.edu.tr),

Geliş Tarihi: 02.03.2017

Kabul Tarihi: 02.05.2018

### ÖZ

Hidrolik iletkenlik mühendislik jeolojisi ile ilgili projelerde suyun zemin taneleri arasındaki iletiminin sayısal ifadesi olarak 19. yüzyılın son dönemlerinden beri kullanılmaktadır. Hidrolik iletkenliğin doğrudan belirlenebilmesi için sabit ve düşen seviyeli permeabilite deneyleri örneklerin tane boyu dağılımları ile uygun olacak şekilde yaygın olarak tercih edilmektedir. Sabit ve düşen seviyeli permeabilite deneylerinin yapılabilmesi için arazi çalışmalarının gerçekleştirilmesi ve örselenmemiş örnek alınması gerekmektedir. Örneklemeye çalışmalarının zaman alıcı ve zor olması nedeniyle birçok araştırmacı tarafından hidrolik iletkenlik değerinin zemin malzemelerinin fiziksel özelliklerinin kullanılarak belirlenmesine yönelik olarak görgül eşitlikler önerilmiştir. Önerilen bu görgül eşitliklerin birçoğu ise boşluk oranı, porozite, özgül yüzey, Atterberg limitleri ve tane boyu dağılım eğrisi ile ilişkili parametreleri içermektedir. Araştırmacılar tarafından önerilen bu eşitlikler zemin malzemelerinin fiziksel özellikleri ile ilgili sınırlamalara sahip olmasından dolayı özellikle ince taneli zemin malzemelerinin hidrolik iletkenlik değerlerinin tahmininde kullanılamamaktadır. Bu çalışma kapsamında hidrolik iletkenlik ile zeminlerin fiziksel özellikleri arasındaki ilişkinin ortaya konulabilmesi için arazi çalışmaları sırasında 15 farklı lokasyondan alınan örnekler üzerinde düşen seviyeli permeabilite deneyleri, tane boyu dağılım analizleri, Atterberg limitleri deneyleri gerçekleştirilmiştir ve tane boyu indeksi değerleri hesaplanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler kullanılarak yapılan istatistiksel analizlerde çakıl tane boyu oranı %10'un altında olan örneklerin hidrolik iletkenlikleri ile tane boyu indeksi değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı ( $R^2=0,94$ ) bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** *Hidrolik iletkenlik, İnce taneli zeminler, tane boyu dağılımı, tane boyu indeksi*

### INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN HYDRAULIC CONDUCTIVITY AND PHYSICAL PROPERTIES OF FINE GRAINED SOILS

#### ABSTRACT

Hydraulic conductivity has been used for engineering geology related projects since last decades of 19th century in order to estimate the ability of soils to transportation of water through soil particles. Constant and falling head test are widely used to directly measure the hydraulic conductivity values of

soil samples based on their grain size distributions. In order to perform constant and falling head test, field investigation and undisturbed sampling works should be performed. In order to overcome the time consuming and difficult processes of field works and undisturbed sampling, numerous empirical equations have previously proposed based on physical properties of soil materials to estimate the hydraulic conductivity of soil samples. Most of these equations are based on void ratio, porosity, specific surface area, Atterberg limits and some parameters related with grain size distribution. These equations are not applicable to estimate particularly hydraulic conductivity of fine grained soils due to limitations regarding with physical properties of soil samples. In this study, in order to describe the relationship between hydraulic conductivity and physical properties of soils, tests including falling head methods and measurements of grain size distributions and Atterberg limits were performed on 15 soil samples which collected from different locations during field studies. Considering the results obtained from laboratory test, it can be concluded that there is statistically significant relationship ( $R^2=0.94$ ) between hydraulic conductivity and grain size index values of samples which contains gravel size materials lower than % 10.

**Keywords:** *Hydraulic conductivity, fine grained soils, grain size distribution, grain size index*

## 1. GİRİŞ

Hidrolik iletkenlik başta mühendislik projelerinde olmak üzere jeoloji, jeoteknik, inşaat ve bunlarla ilişkili diğer disiplinlerle de yüz yıldan daha uzun bir süredir suyun zemin malzemeleri içindeki iletiminin sayısal bir ifadesi olarak kullanılmaktadır. Hidrolik iletkenlik ile ilgili ilk teorem 1856 yılında Dijon (Fransa) kentinin içme suyu şebekesinde filtrasyon amaçlı olarak kullanılması planlanan kum filtreler üzerinde yapmış olduğu deneysel çalışmalar sonucunda Darcy [1] tarafından önerilmiştir. Araştırmacı tarafından doymuş koşullar altında kum tane boyu malzeme içinde suyun akış hızını etkileyen parametreler incelenmiştir. Tek boyutlu akış koşulları altında günümüzde de kullanılan ve “Darcy Yasası” olarak bilinen eşitlik önerilmiştir. Araştırmacı tarafından yapılan çalışma sonucunda göreceli olarak daha küçük gözenekler barındıran zemin malzemelerinin daha büyük ve bağlantılı gözenekler içeren zemin malzemelerine göre suyu daha yavaş ilettiği ve suyun iletiminin daha uzun zaman aldığı belirlenmiştir. Hidrolik iletkenlik değerlerinin doğrudan belirlenebilmesi için zemin malzemelerinin tane boyu dağılımlarına uygun olacak şekilde sabit veya düşen seviyeli permeabilite deneyleri laboratuvar koşullarında yaygın olarak yapılmaktadır. Ancak, bu deneyler için ihtiyaç duyulan örselenmemiş örnek temininin zor ve zaman alıcı olması, özellikle ince taneli zeminler üzerinde yapılan deneylerin çok uzun süreler alması nedeniyle hidrolik iletkenliğin görgül yaklaşımlar ile tahmin edilebilmesine yönelik olarak çok sayıda görgül eşitlik önerilmiştir. Önerilen eşitliklerin temeli Darcy [1] tarafından yapılan çalışmanın ardından Hazen [2] tarafından doğrudan tane boyu ile ilişkili olarak hidrolik iletkenliğin belirlenebilmesi amacıyla önerilen yaklaşıma dayanmaktadır. Hazen [2] tarafından yapılan ve doğrudan zemin malzemesinin tane boyu dağılımı ile ilişkili olarak hidrolik iletkenliğin görgül olarak tahmin edilmesinin önerildiği çalışmayı baz alan birçok araştırmacı [3-13] tarafından yine bu eşitlik ile ilgili olacak şekilde modifikasyonlar önerilmiştir. Literatürde “Hazen eşitliği” olarak bilinen bu görgül yaklaşım tane boyu ile ilgili sınırlamalara sahip olup genellikle  $0,1 < d_{10} < 0,3$  cm koşulunu sağlayan örnekler üzerinde uygulanabilmekte ve sağlıklı sonuçlar verdiği yaygın olarak kabul edilmektedir. Önerilen eşitliklerde yer alan sınırlamaların aşılabilmesi ve daha geniş bir aralıkta uygulanabilir olması için sonraki dönemlerde de farklı tane boyu, sıcaklık ve diğer fiziksel parametrelere bağlı olarak yeni görgül eşitlikler de önerilmiştir. Hidrolik iletkenliğin görgül yaklaşımlar ile tahmin edilmesine yönelik olarak önerilen eşitliklerin tamamına yakını, iri tane oranı yüksek zeminlerde uygulanabilir olmasına karşın, ince taneli zeminlerde kabul edilebilir aralığın dışında da sonuçlar vermektedir. Bu çalışma

kapsamında önerilen eşitlikler ve yeni yaklaşımlar da esas alınarak arazi ve laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar ile ince taneli zeminlerin hidrolik iletkenlik ve fiziksel özellikleri arasındaki ilişkinin araştırılması hedeflenmiştir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR ve DEĞERLENDİRME

İnce taneli zeminlerin hidrolik iletkenlik değerleri ile fiziksel özellikleri arasındaki ilişkinin belirlenebilmesi amacıyla yapılan laboratuvar deneylerinde ihtiyaç duyulan örselenmiş ve örselenmemiş örneklerin temini için 15 farklı lokasyonda arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu arazi çalışmaları sırasında hidrolik iletkenlik değerlerinin doğrudan belirlenmesi için yapılması gereken düşen seviyeli permeabilite deneylerinde ihtiyaç duyulan örselenmemiş örnekler kesici uçlu metal kalıplara alınmış, örneklerin su içeriğinin değişmemesi için gerekli önlemler alınarak doğrudan laboratuvara getirilerek deneylere başlanmıştır. Bununla birlikte analizlerde ihtiyaç duyulan tane boyu dağılımı, özgül ağırlık, Atterberg limitleri gibi diğer fiziksel parametrelerinin de belirlenebilmesi amacıyla örselenmemiş örnekler kullanılarak gerekli olan laboratuvar deneyleri yapılmıştır.

## 3. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

### 3.1. Hidrolik İletkenlik Değerlerinin Belirlenmesi

15 farklı lokasyondan alınan örneklerin hidrolik iletkenlik değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla alınan örselenmemiş örnekler hücrelere aktarılmış ve düşen seviyeli permeabilite deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylere başlanmadan önce örneklerin suya tamamen doygun hale gelmesi için 24 saat beklenmiştir. Daha sonrasında ise örneklerin içinde hapsedilmiş olması muhtemel hava kabarcıklarının ortamdaki uzaklaştırılabilmesi amacıyla düşük kapasiteli vakum kullanılmıştır. Yapılan deneylerde, örneklerin hidrolik iletkenlik değerlerinin  $5,96 \times 10^{-6}$  ile  $1,12 \times 10^{-10}$  m/s arasında değiştiği belirlenmiştir.

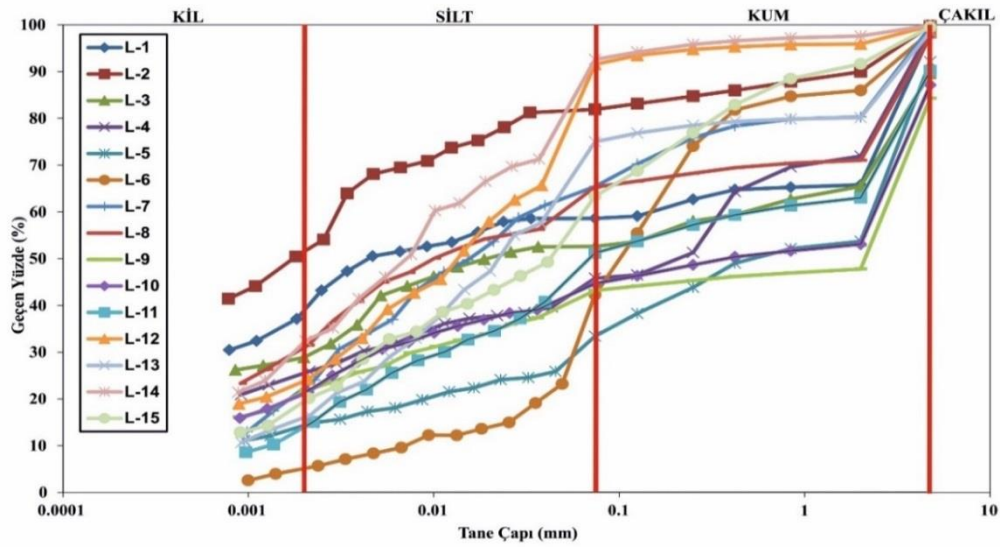
### 3.2. Tane Boyu Dağılımları ve Atterberg Limitlerinin Belirlenmesi

Literatürde yer alan görgül eşitliklerin zemin malzemelerinin fiziksel özelliklerinden elde edilen parametreler içermesi nedeniyle hidrolik iletkenlik ile ince taneli zeminlerin fiziksel özellikleri arasındaki ilişkinin ortaya konulabilmesi için örneklerin tane boyu dağılımları ve Atterberg limitleri de belirlenmiştir. Örneklerin tane boyu dağılımlarının belirlenebilmesi amacıyla elek ve hidrometre analizleri gerçekleştirilmiştir. Özellikle ince taneli zemin malzemelerinin davranışları üzerinde bünyelerindeki suyun doğrudan etkisinin olması nedeniyle likit limit ve plastik limit değerleri de belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda tane boyu dağılım eğrileri oluşturularak çakıl, kum ve ince tane boyuna sahip malzeme oranları saptanmıştır. Ulaşılan sonuçlar Şekil 1’de grafiksel olarak sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar dikkate alındığında, örneklerin likit limit değerlerinin %30-86, plastik limit değerlerinin %18-45 ve plastisite indisi değerlerinin ise %6-47 arasında değiştiği belirlenmiştir (Çizelge 1).

### 3.3. Tane Boyu İndeksi Değerlerinin Belirlenmesi

Malzemelerinin fiziksel ve mekanik davranışlarının doğrudan tane boyu dağılımları ile ilişkili olmasından dolayı, tane boyu dağılım eğrilerinin tek bir parametre ile ifade edilebilmesine yönelik olarak önerilen yeni yaklaşımlar da yapılan çalışmada dikkate alınmıştır. Bu kapsamda, Erguler ve Shakoor [14] tarafından kil içeren kayalarda ıslanma-kuruma süreçleri sonucunda meydana gelen dağılıma ve fiziksel özellikleri arasındaki ilişkiyi ortaya koyan “Ayrışma indeksi” ve Erguler [15] tarafından iri taneli malzemelerin zemin sınıflarının ayırtlanması konusunda uygulanabilir sonuçlar veren “Tane boyu indeksi ( $I_{GS}$ )” yaklaşımı bu çalışmada da uygulanmıştır. Erguler [15] tarafından

önerilen yaklaşım kullanılarak malzemenin tane boyu dağılım eğrisinin altında kalan alanın, çalışmada kullanılan ve literatüre uygun olacak şekilde belirlenen sınır koşullarını oluşturan alana oranlanması ile bir katsayı elde edilmektedir. Elde edilen bu katsayı malzemeyi ifade eden tane boyu dağılım eğrisini tek bir parametre ile tanımlamaktadır. Bu çalışmada kullanılan örneklerin tane boyu dağılım indeksi değerleri ise 0,38-0,81 arasında bulunmuştur. Laboratuvar çalışmaları ile elde edilen örneklere ait olan toplu sonuçlar ise Çizelge 1’de verilmiştir.



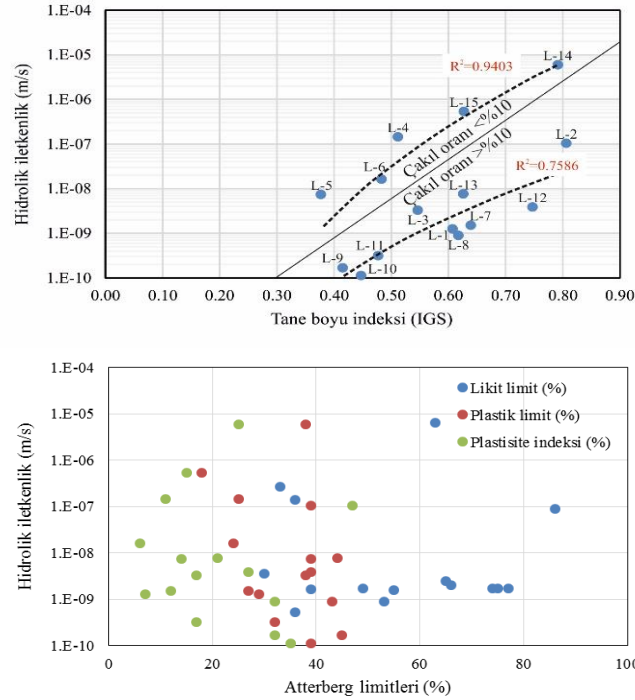
Şekil 1. Örneklerin tane boyu dağılım eğrileri.

Çizelge 1. Örnekler üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar.

Örnek No	Tane boyu indeksi (İgs)	Hidrolik iletkenlik (m/s)	Likit limit (%)	Plastik limit (%)	Plastisite indisi (%)
L-1	0,61	$1,26 \times 10^{-9}$	36	29	7
L-2	0,81	$1,03 \times 10^{-7}$	86	39	47
L-3	0,55	$3,29 \times 10^{-9}$	55	38	17
L-4	0,51	$1,44 \times 10^{-7}$	36	25	11
L-5	0,38	$7,41 \times 10^{-9}$	53	39	14
L-6	0,48	$1,62 \times 10^{-8}$	30	24	6
L-7	0,64	$1,50 \times 10^{-9}$	39	27	12
L-8	0,62	$8,95 \times 10^{-10}$	75	43	32
L-9	0,41	$1,67 \times 10^{-10}$	77	45	32
L-10	0,45	$1,12 \times 10^{-10}$	74	39	35
L-11	0,48	$3,14 \times 10^{-10}$	49	32	17
L-12	0,75	$3,87 \times 10^{-9}$	66	39	27
L-13	0,63	$7,65 \times 10^{-9}$	65	44	21
L-14	0,79	$5,96 \times 10^{-6}$	63	38	25
L-15	0,63	$5,35 \times 10^{-7}$	33	18	15

#### 4. SONUÇLAR

Örselenmemiş ve örselenmiş örnekler kullanılarak gerçekleştirilen laboratuvar deneyleri sonucunda bu zeminlerin hidrolik iletkenlik, tane boyu dağılımı, tane boyu indeksi, likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değerleri belirlenmiştir. Örneklerin tane boyu dağılımlarını tek bir parametre ile ifade etmesi ve kolay bir şekilde belirlenebilmesi nedeniyle pratik bir yaklaşım olan tane boyu indeksi değerleri ile örneklerin Atterberg limitleri değerleri karşılaştırıldığında herhangi bir ilişki tespit edilememiştir. Bununla birlikte hidrolik iletkenlik değerleri ile tane boyu indeksi değerleri karşılaştırıldığında, örneklerin iki gruba ayrıldığı görülmektedir. Çakıl tane boyu (Tane çapı > 4,75 mm) malzeme oranı %10'dan az olan örneklerde bu iki parametre arasında istatistiksel olarak anlamlı ( $R^2=0,94$ ) bir ilişki olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 2). Elde edilen bu veriler doğrultusunda ince taneli zeminlerin hidrolik iletkenlik değerleri üzerinde çakıl tane boyu malzeme oranının etkili bir parametre olduğu anlaşılmaktadır. Malzeme içindeki çakıl oranının da %10'un altında olduğu durumlarda tane boyu indeksi kullanılarak hidrolik iletkenlik değerinin belirlenebileceği ortaya koyulmuştur. Benzer amaç doğrultusunda gelecekte yapılacak çalışmalarda çakıl tane boyu malzeme oranı ile birlikte özellikle ince taneli zeminlerin hidrolik iletkenlik değerleri üzerinde etkisi olabileceği düşünülen kil minerallerinin türleri, taneler arasında meydana gelen mikro kimyasal ve elektro kimyasal etkileşimler gibi çeşitli parametreleri de dikkate alarak daha geniş bir veritabanı üzerinde çalışılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.



Şekil 2. (a) Hidrolik iletkenlik ile tane boyu indeksi arasındaki ilişki ve (b) hidrolik iletkenlik ile Atterberg limitleri arasındaki ilişki.

#### KAYNAKÇA

- [1] Darcy, H., (1896), Les fontaines publiques de la Ville de Dijon. Victor Dalmont, Paris, 77.
- [2] Hazen, A., (1892), Experiments upon the purification of sewage and water at the Lawrence Experiment Station, Massachusetts State Board of Health 23rd Annual Report, 428-434.
- [3] Hazen, A., (1911), Discussion of Dams on sand foundations by A. C. Koenig. Trans. Am. Soc. Vic. Eng., 73, 199-203.
- [4] Taylor, D. (1948), W., Fundamentals of Soil Mechanics, Wiley, New York, 97.
- [5] Leonards, G. A., (1962), Engineering properties of soils, Foundation engineering, G. A. Leonards, ed., McGraw-Hill, New York, 241-350.
- [6] Mansur, C. I. and Kaufman, R. I., (1962), Dewatering, Foundation engineering, G. A. Leonards, ed., McGraw-Hill, New York, 241-350.
- [7] Terzaghi, K. and Peck, R. B., (1964). Soil Mechanics in Engineering Practice, Wiley, New York., 71-78.
- [8] Cedergren, H. R., (1967), Seepage, Drainage and Flow Nets, Wiley, New York., 19-39.
- [9] Lambe, T. W. and Whitman, R. V., (1969), Soil mechanics, Wiley, New York., 281.
- [10] Holtz, R. D. and Kovacs, W. D., (1981), An introduction to geotechnical engineering, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 211.
- [11] Terzaghi, K., Peck, R. B. and Mesri, G., (1996), Soil mechanics in engineering practice, Wiley, New York., 94.
- [12] Das, B. M., (1997). Advanced soil mechanics, Taylor & Francis, Washington, D.C., 179.
- [13] Coduto, D. P., (1999), Geotechnical engineering: Principles and Practices, Prentice-Hall, Upper Saddle River, N.J., 104.
- [14] Erguler, Z.A. and Shakoor, A., (2009), Relative contribution of various climatic processes in disintegration of clay-bearing rocks. Engineering Geology, 108, 36-42.
- [15] Erguler, Z.A., (2016), A quantitative method of describing grain size distribution of soils and some examples for its applications, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 75, 807-813.