



**TOPRAK ÖZELLİKLERİ İLE  
DOYGUN HİDROLİK İLETKENLİK ARASINDAKİ  
İLİŞKİLERİN PEDOTRANSFER FONKSİYONLARLA  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**İbrahim Ethem TURAN**

**Yüksek Lisans Tezi  
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı  
Toprak Bilimi Bilim Dalı  
Prof. Dr. Mustafa Yıldırım CANBOLAT  
2019  
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TOPRAK ÖZELLİKLERİ İLE DOYGUN HİDROLİK İLETKENLİK  
ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN PEDOTRANSFER  
FONKSİYONLARLA DEĞERLENDİRİLMESİ**

**İbrahim Ethem TURAN**

**TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI  
Toprak Bilimi Bilim Dalı**

**ERZURUM  
2019**



T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü



TEZ ONAY FORMU

TOPRAK ÖZELLİKLERİ İLE DOY GÜN HİDROLİK İLETKENLİK ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN  
PEDOTRANSFER FONKSİYONLARLA DEĞERLENDİRİLMESİ

Prof.Dr. Mustafa Y. CANBOLAT'ın danışmanlığında, İbrahim Ethem TURAN tarafından hazırlanan bu çalışma, 02/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı Toprak Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans. tezi olarak **oybirliği / oy çokluğu** (.../...) ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof.Dr. Mustafa Y. CANBOLAT

Üye : Doç.Dr.Ekrem Lütfi AKSAKAL

Üye : Dr.Öğr.Üyesi Yasin DEMİR

İmza :

İmza :

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu'nun **16.05/2019** tarih ve **..21.../.29.....** nolu kararı ile onaylanmıştır.

**Prof. Dr. Mehmet KARAKAN**  
Enstitü Müdürü

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### TOPRAK ÖZELLİKLERİ İLE DOYGUN HİDROLİK İLETKENLİK ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN PEDOTRANSFER FONKSİYONLARLA DEĞERLENDİRİLMESİ

İbrahim Ethem TURAN

Atatürk Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Toprak Bilimi Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa Yıldırım CANBOLAT

Tarım, ekoloji ve çevre bileşenleri kapsamında toprak hidrolik özellikleri, toprak ve su yönetiminde önemlidir. Bu çalışmada, toprağın hidrolik özelliklerinin tayin edilerek, doygun hidrolik iletkenliğin dolaylı olarak belirlenmesi ve sonuçların literatürde mevcut pedotransfer modellerle karşılaştırması amaçlanmıştır. Araştırma, Erzurum Sakalikesik ovasında Özbek ve Yukarı Yenice köyleri arasındaki alandan pulluk tabakasını temsil eden derinlikten alınan 20 toprak örneği üzerinde yürütülmüştür. Örneklerin bazı fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Doygun hidrolik iletkenlik tayini, toprak örneklerinden hazırlanan <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlar üzerinde yapılmıştır. Hazırlanan bu fraksiyonlar üzerinden kütle yoğunluğu, porozite ve doygun hidrolik iletkenlik değerleri belirlenmiştir. Araştırmada <2 mm fraksiyonu üzerinde belirlenen doygun hidrolik iletkenlik değerleri, literatürden seçilen 8 pedotransfer fonksiyonunda kullanılarak test edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, toprak örneklerinin 8'i ince bünyeli ve 12'si orta bünyelidir. Örneklerin kum fraksiyonunda, ortalama değer olarak, çok ince kum diğer alt fraksiyonlara göre yüksek bulunmuştur. Toprak örnekleri üzerinde belirlenen fiziksel ve mekanik nem parametrelerinden tarla kapasitesi ve devamlı solma noktası ile likit ve plastik limit parametrelerinin toprak özellikleri ile yapılan ilişki çalışmasında çoklu lineer regresyon katsayılarının yüksek değerler verdiği belirlenmiştir. Üç ayrı fraksiyon üzerinden tayin edilen kütle yoğunluğu, porozite ve doygun hidrolik iletkenlik değerleri ile toprak pedolojik özellikleri arasında nem parametrelerinde olduğu gibi çoklu lineer regresyon katsayılarının basit regresyon katsayılarından yüksek olduğu kaydedilmiştir. Araştırmada, <2 mm fraksiyonu üzerinde belirlenen doygun hidrolik iletkenlik değerlerinin karşılaştırıldığı pedotransfer fonksiyonlar, Wösten 97 ve Wösten 99 hariç diğerleri uygunluk kriterleri bakımından uyumlu bir performans sergilemiştir.

Mayıs 2019, 79 sayfa

**Anahtar Kelimeler:** toprak özellikleri, doygun hidrolik iletkenlik, lineer regresyon, pedotransfer fonksiyon

## ABSTRACT

MS Thesis

### EVALUATION OF RELATIONSHIPS BETWEEN SOIL PROPERTIES AND SATURATED HYDRAULIC CONDUCTIVITY BY PEDOTRANSFER FUNCTIONS

İbrahim Ethem TURAN

Atatürk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Soil Science and Plant Nutrition  
Department of Earth Science

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa Yıldırım CANBOLAT

Within the scope of agriculture, ecology and environmental components, soil hydraulic properties are important in soil and water management. In this study, it was aimed to determine some hydraulic properties of soil for indirectly estimating saturated hydraulic conductivity from basic characteristics of soil and to compare the results with the existing pedo transfer models given in literature. The research was carried out on 20 soil samples taken from plow layer in the area between the Özbek and Yukarı Yenice villages in Erzurum Sakalikesik plain. Some physical, mechanical and chemical properties of the soil samples were determined. Saturated hydraulic conductivity was determined on prepared soil samples with <2 mm, 2-1 mm and <1 mm fractions. Bulk density, porosity and saturated hydraulic conductivity values of these fractions were also determined. The saturated hydraulic conductivity values determined on <2 mm fraction were tested using 8 selected pedotransfer functions in literature. The results indicated that 8 out of 20 soil samples were fine textured and 12 medium textured. In the sand fraction of the samples, very fine sand was higher than the other fractions. It was determined that multiple linear regression coefficients were high for the relations between field capacity and permanent wilting point, liquid and plastic limit parameters with soil properties. Multiple linear regression coefficients between the pedological properties and bulk density, porosity, and saturated hydraulic conductivity on three separate fractions (<2 mm, 2-1 mm and <1 mm) were higher than the simple regression coefficients as in moisture parameters. The results of this study showed that pedotransfer functions comparing the saturated hydraulic conductivity values determined on the <2 mm fraction, except for Wösten 97 and Wösten 99, showed a suitable performance in terms of other calibration criteria.

**May 2019, 79 pages**

**Keywords:** soil properties, saturated hydraulic conductivity, linear regression, pedotransfer function

## TEŞEKKÜR

Yaptığım bu çalışma esnasında engin bilgi ve tecrübelerini kullanarak strateji ve yol gösteren yüreğini ve emeğini esirgemeyen danışman hocam çok kıymetli Prof. Dr. Mustafa Yıldırım CANBOLAT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Akademik hayatım boyunca bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım bölüm öğretim üyelerine, Sayın Doç. Dr. Ekrem Lütfi AKSAKAL' a, bölüm doktora öğrencisi Leıla IMANPARAST'a, yer yer konuyla ilgili bana zaman ayıran kardeşim Emrah TURAN'a ve arazide emeği geçen Burak Furkan AKIN ve şahsında yardımı dokunan tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarım sırasında her türlü imkan ve kolaylığı sağlayan, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Başkanlığı'na teşekkürü bir borç bilirim.

Eğitim hayatım boyunca bir rehber ve motivasyon kaynağım olan anne ve babama, lisansüstü çalışmam sırasında maddi ve manevi destekçim olan çok kıymetli eşime, biricik kızlarım Büşra Naz TURAN ve Merve Ece TURAN'a çok teşekkür ederim.

**İbrahim Ethem TURAN**  
**Mayıs 2019**

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ.....</b>	<b>5</b>
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1. Materyal .....</b>	<b>19</b>
3.1.1. Örnekleme alanının tanımı.....	19
3.1.2. İklim özellikleri.....	19
<b>3.2. Yöntemler .....</b>	<b>21</b>
3.2.1. Toprak örneklerinin alınması ve analize hazırlanması .....	21
3.2.2. Tane büyüklük dağılımı .....	22
3.2.3. Tane yoğunluğu .....	23
3.2.4. Toprak reaksiyonu ve elektriksel iletkenlik.....	23
3.2.5. Kireç.....	23
3.2.6. Organik madde.....	23
3.2.7. Tarla kapasitesi ve devamlı solma noktası .....	23
3.2.8. Likit ve plastik limit.....	24
3.2.9. Kütle yoğunluğu ve doymuş hidrolik iletkenlik.....	24
3.2.10. Toplam porozite.....	25
3.2.11. Doymuş hidrolik iletkenliğin tahmininde kullanılan pedotransfer fonksiyonlar .....	25

3.2.12. İstatistiksel değerlendirmeler.....	29
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA .....</b>	<b>30</b>
4.1. Toprakların Pedolojik Özellikleri.....	30
4.1.1. Toprak tane büyüklük dağılımı.....	30
4.2. Toprak Nem Parametreleri ile Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkiler .....	35
4.3. Toplam Porozite İle Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkiler .....	50
4.4. Doygun Hidrolik İletkenlik ile Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkiler.....	56
4.5. Pedotransfer Fonksiyonlarının Uygunluk Kriterlerinin Değerlendirmesi.....	65
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>68</b>
KAYNAKLAR .....	71
ÖZGEÇMİŞ .....	80

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AS	Agregat stabilitesi
C	Kil fraksiyonu
CL	Killi tın
DHİ	Doygun hidrolik iletkenlik
DSN	Devamlı solma noktası
KY	Kütle yoğunluğu
L	Tın
LL	Likit limit
MRE	Ortalama nisbi hata
OM	Organik madde
PL	Plastik limit
RMSE	Kök ortalama kare hatası
S	Kum fraksiyonu
S1	Çok kaba kum fraksiyonu (2-1 mm)
S2	Kaba kum fraksiyonu (1-0,5 mm)
S3	Orta kum fraksiyonu (0,5-0,25 mm)
S4	İnce kum fraksiyonu (0,25-0,10 mm)
S5	Çok ince kum fraksiyonu (0,10-0,05 mm)
Si	Silt fraksiyonu
SiC	Siltli kil
SiCL	Siltli killi tın

SiL	Siltli tın
SL	Kumlu tın
TK	Tarla kapasitesi
TP	Toplam porozite



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Erzurum ili iklim verilerine ait yağış, sıcaklık ve buharlaşma grafiği. ....	21
Şekil 3.2. Toprak örneklemesinin yapıldığı noktalar.....	22
Şekil 4.1. Toprak örneklerinin tane büyüklük dağılımı eğrileri.....	32
Şekil 4.2. Araştırma konusu toprak örneklerinin tekstür üçgeni üzerindeki konumları .	34
Şekil 4.3. Araştırma konusu toprak örneklerinin kum alt fraksiyonları dağılımı .....	35
Şekil 4.4. Araştırma konusu toprak örneklerinin organik madde içeriği.....	35
Şekil 4.5. Bağımsız değişkenlerden kil, silt kum ve organik madde içeriği ile < 2 mm fraksiyonun kütle yoğunluğu arasındaki ilişki.....	42
Şekil 4.6. Bağımsız değişkenlerden kil ve kum içeriği ile < 2-1 mm fraksiyonun kütle yoğunluğu arasındaki ilişki.....	43
Şekil 4.7. Bağımsız değişkenlerden kil ve kum içeriği ile < 1 mm fraksiyonun kütle yoğunluğu arasındaki ilişki.....	44
Şekil 4.8. Araştırma konusu toprakların <2 mm , 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonunda ince kum ile kütle yoğunluğu arasındaki ilişki .....	46
Şekil 4.9. Araştırma konusu toprakların <2 mm fraksiyonun toplam porozite değerleri ile kil, silt, kum ve organik madde içeriği arasındaki ilişkiler .....	52
Şekil 4.10. Araştırma konusu toprakların 2-1 mm fraksiyonun toplam porozite değerleri ile kil ve kum içeriği arasındaki ilişkiler .....	53
Şekil 4.11. Araştırma konusu toprakların <1 mm fraksiyonların toplam porozite değerleri ile kil, silt ve kum içeriği arasındaki ilişkiler .....	53
Şekil 4.12. Araştırma konusu toprakların <2 mm , 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonunda ince kum ile toplam porozite arasındaki ilişki .....	55
Şekil 4.13. Bağımsız değişkenlerden kil, silt kum ve organik madde içeriği ile < 2 mm fraksiyonun hidrolik iletkenlik değeri arasındaki ilişki.....	59
Şekil 4.14. Bağımsız değişkenlerden kil, silt kum ve organik madde içeriği ile 2-1 mm fraksiyonun hidrolik iletkenlik değeri arasındaki ilişki.....	59
Şekil 4.15. Bağımsız değişkenlerden kil, kum ve organik madde içeriği ile <1 mm fraksiyonun hidrolik iletkenlik değeri arasındaki ilişki.....	60

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 3.1.</b> Uzun yıllar içinde gerçekleşen ortalama değerler (1929-2018; *1932-1994; **1960 – 2012) .....	20
<b>Çizelge 4.1.</b> Araştırma konusu toprak örneklerinin bazı pedolojik özelliklerine ait değerler.....	33
<b>Çizelge 4.2.</b> Araştırmada kullanılan toprak örneklerinin bazı nem karakteristik değerleri.....	36
<b>Çizelge 4.3.</b> Araştırma konusu toprakların nem parametreleri ile kil, silt, kum ve organik madde arasındaki ilişkiler.....	37
<b>Çizelge 4.4.</b> Araştırma konusu toprakların nem parametreleri ile kum fraksiyonları arasındaki ilişkiler .....	39
<b>Çizelge 4.5.</b> Araştırma konusu toprakların nem parametreleri ile kil, silt, kum alt fraksiyonları ve organik madde arasındaki ilişkiler .....	40
<b>Çizelge 4.6.</b> Araştırmada kullanılan toprak örneklerinin <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarının kütledeğerleri.....	41
<b>Çizelge 4.7.</b> Toprak örneklerinin <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarının kütle yoğunluğu değerleri ile kil, silt, kum ve organik madde arasındaki ilişkiler. ....	45
<b>Çizelge 4.8.</b> Toprak örneklerinin <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarının kütle yoğunluğu değerleri kum alt fraksiyonları arasındaki ilişkiler. ....	47
<b>Çizelge 4.9.</b> Toprak örneklerinin <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarının kütle yoğunluğu değerleri ile kil, silt, kum alt fraksiyonları ve organik madde arasındaki ilişkiler.....	48
<b>Çizelge 4.10.</b> Araştırmada kullanılan toprak örneklerinin <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarının toplam porozite değerleri .....	50
<b>Çizelge 4.11.</b> Toprak örneklerinin <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarının toplam porozite değerleri ile kil, silt, kum ve organik madde arasındaki ilişkiler.	51
<b>Çizelge 4.12.</b> Toprak örneklerinin <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarının toplam porozite değerleri kum alt fraksiyonları arasındaki ilişkiler.....	54
<b>Çizelge 4.13.</b> Toprak örneklerine ait <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarının toplam porozite değerleri ile kil, silt, kum alt fraksiyonlar ve organik madde arasındaki ilişkiler ...	56
<b>Çizelge 4.14.</b> Araştırma konusu toprakların <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarına ait doygun hidrolik iletkenlik değerleri .....	57

<b>Çizelge 4.15.</b> Toprak örneklerinin <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarının hidrolik iletkenlik değerleri ile kil, silt, kum ve organik madde arasındaki ilişkiler. ....	58
<b>Çizelge 4.16.</b> Toprak örneklerinin <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarının doymuş hidrolik iletkenlik değerleri ile kum alt fraksiyonları arasındaki ilişkiler....	61
<b>Çizelge 4.17.</b> Toprak örneklerinin <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarının doymuş hidrolik iletkenlik değerleri ile kil, silt, kum alt fraksiyonları ve organik madde arasındaki ilişkiler .....	63
<b>Çizelge 4.18.</b> Doymuş hidrolik iletkenliğin tahmininde literatürden seçilen ve bu araştırmadan önerilen pedotransfer fonksiyonlarının uygunluk kriterleri.....	66

## 1. GİRİŞ

Arazi kullanım planlamasında, toprak yönetim sistemlerinin, tarım, ekoloji ve çevre bileşenlerinin esas alınarak, sürdürülebilir üretime göre yapılması temel hedeflerdendir. Bu durum, toprak ortamında yapılacak farklı uygulamalarda her üç bileşeninde eş zamanlı olarak birlikte değerlendirilmesini zorunlu kılar.

Toprak ortamının sahip olduğu hidrolik durumunun değerlendirilmesinde, toprak ve suyun özelliklerine ait verilere ihtiyaç duyulur. Günümüzde bu verilerin daha yoğun bir şekilde tarım, hidroloji, inşaat mühendisliği, jeoloji, çevre bilimleri vb. bilim alanlarında kullanılması yoğunlaşmıştır. Bu durum söz konusu bilim alanlarında, başta toprak nem dinamiğine yönelik araştırmalar olmak üzere yürütülen araştırmalarda yeni fırsatların gelişmesine imkan tanımıştır. Ancak, toprak bilgi sistemi içerisinde rutin olarak yer alan toprak özelliklerine (tekstür, strüktür, organik madde içeriği gibi) ait veriler içerisinde hidrolik özelliklerden nem karakteristik eğrisi (WRC) ve doymuş hidrolik iletkenlik (Ks) gibi toprak hidrolik özellikleri nadiren bulunur. Bu konuda toprak bilgi sistemlerinden alınan veri desteği ile bu özelliklerin ortaya konulması üzerinde seksenli yıllardan günümüze kadar çok sayıda araştırma yapılmıştır. (Tietje ve Hennings, 1996; Patil ve Singh, 2016)

Toprak hidrolik özelliklerden doymuş hidrolik iletkenlik, bir toprağın doymuş koşullar altında su iletme yeteneğinin ölçüsü olup tane büyüklük dağılımı, gözenek büyüklüğü dağılımı, gözeneklerin devamlılığı ve kütle yoğunluğunun bir fonksiyonudur (Klute ve Dirksen, 1986). Doymuş hidrolik iletkenlik, infiltrasyon, sulama ve drenaj gibi tarımsal ve hidrolojik süreçlerin projelendirilmesi ve değerlendirilmesinde, toprak-su-bitki ilişkilerinde, ısı ve kütle taşınımının modellenmesinde, yıkanma etkinliğinin hesaplanmasında, diğer tarım ve mühendislik süreçlerinin hidrolojik modellenmesinde önemli bir toprak fiziksel özelliğidir (Cornelis *et al.* 2001; Schoeneberger and Wysocki, 2005; Aimrun and Amin, 2009; Wang *et al.* 2013; Xu *et al.* 2017).

Toprağın su iletim yeteneğini belirleyen toprak hidrolik iletkenliği, hidrolik döngüde toprak hava su oranı üzerine etkili olan, bitkiler için besin maddelerinin taşınımını ve yarayışlı suyun topraktaki içeriğininide etkilemesi bakımından önemlidir. Ayrıca toprak strüktürünün hidro-mekaniksel açıdan davranışının değerlendirilmesinde de hidrolik iletkenlik önemlidir. Bu nedenle, toprak su yönetimi ile ilgili çalışmalarda hidrolik iletkenlik hakkında yeterli bilginin bir ön koşul olduğu ifade edilebilir (Boadu, 2000; Rosas et al. 2014). Bunun için, hidrolik iletkenlik hidrolojik, ekolojik ve agronomik öneme sahiptir (Yao *et al.* 2015). Toprağın gözenek geometrisi ve strüktür stabilitesi başta olmak üzere toprak yapısının iki ana bileşeni göz önünde bulundurulduğunda hidrolik iletkenlik değeri önemli ölçüde toprak strüktürüne bağımlıdır (Ben-Hur *et al.* 2009).

Toprakta su dengesinin değerlendirilmesinde, sulama ve taşınma olaylarının vurgulanmasında toprak hidrolik özelliklerine ihtiyaç duyulur. Bu nedenle, yüzey topraklarının doymun durumdaki hidrolik özelliklerinden hidrolik iletkenlik; yağış ve kar erimesi sonucu oluşan yüzey akışı ve toprakta suyun depolamasını etkileyerek akış tahminlerinin doğru şekilde yapılabilme etkinliğini sağlar (Aimrun *et al.* 2004; Sarki *et al.* 2014). Topografya, tane büyüklük dağılımı, gözenek büyüklüğü, gözeneklerin sürekliliği ve arazi kullanımı gibi toprak özellikleri yüzey toprağının hidrolik özelliklerini etkileyen başlıca faktörlerdir (Sarki *et al.* 2014).

Hidrolik iletkenlik, tane büyüklüğü dağılımı, tane şekli, etkili gözeneklilik ve agregatlaşma ile ilişkilidir (Rosas *et al.* 2014). Bu nedenle hidrolik iletkenlik, bütün toprak özellikleri arasında en büyük değişkenliğe sahip bir özelliktir. Aynı zamanda hidrolik iletkenlik, gözenekli ortamın ve sıvının özelliklerine de (örneğin yoğunluk ve viskozite gibi) bağılıdır (Schwartz and Zhang, 2003; Ishaku *et al.* 2011).

Dolayısıyla, hidrolik iletkenliğin ölçümünden elde edilen sonuçların güvenilirlik düzeyini uygun bir şekilde değerlendirmek için istatistiksel analizlere dayanan model çalışmalara gerek duyulmaktadır. Bu nedenlerle toprak ortamında su akışının modellenmesi için toprağın doymun hidrolik iletkenliğinin bilgisine önemle gerek duyulmaktadır (Odong, 2008).

Hidrolik iletkenliğin önemi nedeniyle, arazide ve laboratuvarında ölçümü için birçok doğrudan yöntem geliştirilmiştir (Klute and Dirksen, 1986). Doygun hidrolik iletkenliğin doğrudan belirleme tekniklerinde büyük ilerleme olmasına rağmen, bu tekniklerle büyük mekânsal değişkenliğe sahip alanlarda hidrolik iletkenliğin doğrudan ölçümü zahmetli, zaman alıcı ve maliyetli olmasının yanında yoğun iş gücü gerektirmesinden dolayı oldukça zordur (Christiaens and Feyen, 2002; Islam *et al.* 2006; Saxton and Rawls, 2006). Farklı koşullarda ve tüm toprak tiplerinde çok iyi performans gösteren tek bir hidrolik iletkenlik ölçüm yöntemi geliştirilmemiştir (Zhang *et al.* 2007). Ancak bu parametrenin elde edilmesinde, kolay ölçülebilir toprak fiziksel özelliklerinden yararlanarak, toprakların doymuş hidrolik iletkenliğini tahmin etmek için basitleştirilmiş ampirik modellerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Alternatif olarak, dolaylı yöntemler, hidrolik iletkenliği ölçülmesi kolay toprak özelliklerinden tahmin etmek için kullanılabilir. Tane büyüklük dağılımı, organik karbon içeriği, kütle yoğunluğu ve etkili gözeneklilik (Wösten and van Genuchten, 1988) gibi daha kolay ölçülebilen toprak özelliklerinden hidrolik iletkenlik tahminini içeren birçok dolaylı yöntem kullanılmıştır (Chakraborty *et al.* 2006; Rasoulzadeh, 2010; Rasoulzadeh and Yaghoubi, 2011; Patil ve Singh 2016).

Son yıllarda toprak veri sistemlerinin geliştirilmesi ile toprak hidrolik özelliklerinin, toprak etüdüleri sırasında toplanan veya ölçülebilen tane büyüklük dağılımı, organik madde içeriği ve kütle yoğunluğu gibi daha kolay tayin edilen toprak verilerinden dolaylı olarak belirlenmesine fırsat oluşturulmaktadır (Parasuraman *et al.* 2007; Vereecken *et al.* 2010).

Toprak özelliklerinin dolaylı tahmini için geliştirilen modeller, pedotransfer fonksiyonu (PTF) olarak adlandırılmaktadır (Bouma ve Van Lanen 1987; Bouma 1989). Ancak, laboratuvarında ölçülebilen veya arazide tahmin edilebilen temel toprak özellikleri ile bu özelliklerden tahmin edilebilen diğer parametreler arasında bir ayırmada ortaya koymak gerekir. Pedotransfer fonksiyonları, farklı temel toprak özelliklerini esas alarak, toprak özelliklerini birbirleriyle veya arazi nitelikleriyle ilişkilendirir (Bouma, 1989; Tietje ve

Hennings 1996). Toprak etüdünde elde edilen pedolojik veriler, basit toprak özelliklerini daha karmaşık model parametrelerine bağlayan pedotransfer fonksiyonlarını tanımlayarak, modeller için gerekli temel parametreleri tahmin etmek için kullanılabilir (Wagenet *et al.* 1991).

Hidrolik iletkenliğin doğrudan ölçümünün zaman alıcı olması ve mekânsal değişkenliğe sahip olmasından dolayı bu parametrenin tahminleyici modellerle karakterize edilmesi yoluna gidilmiş ve toprak hidrolik özelliklerini tahmin etmek için çeşitli pedotransfer fonksiyonları seksenli yıllarda çalışılmaya başlanılmıştır. Bu konudaki literatür incelendiğinde, pedo transfer fonksiyonlarla ilgili bir araştırma yoğunluğunun olduğu, bu durumda pedotransfer fonksiyonların gelişimi üzerinde etkili olduğu ifade edilebilir (Wösten *et al.* 2001 Parasuraman. *et al.* 2007; Minasny and Hartemink, 2011). Doygun hidrolik iletkenlik için pedotransfer fonksiyonların sıklıkla kullanıldığı da literatürde ifade edilmektedir (Pachepsky *et al.* 2015; Yao *et al.* 2015).

Hidrolik iletkenlik tayininde, tahminlenen ve ölçülen değerler arasında farklılıklar ortaya çıkabilir. Buna neden olarak, doymun hidrolik iletkenliğin genellikle teorik olarak iyi tanımlanmış bir deterministik toprak fiziksel parametresi olarak kabul edilerek hesaplanmasıdır (Bear, 1979; Bear ve Verruijt, 1987). Ancak hidrolik iletkenlik, ölçme yöntemine bağlı olarak, stokastik bir parametre olduğuda bir gerçektir. İklim, toprak bünyesinin gelişmesini etkilediği için, deneme bölgesi dışında uygulanan pedotransfer fonksiyonlar üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir (Lilly *et al.* 2008). Bu nedenle, doymun hidrolik iletkenlik ( $K_s$ ) modelinin daha önce uygulanmadığı bölgeler için pedotransfer fonksiyonlarını geliştirmek için doğrudan yerinde ölçümler yapmak önemlidir.

Bu araştırmada, toprağın hidrolik özelliklerinin tayin edilerek, doymun hidrolik iletkenliğin dolaylı olarak belirlenmesi ve sonuçların literatürde mevcut pedotransfer modellerle karşılaştırması amaçlanmıştır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Toprak hidrolik özellikleri ekosistemlerde toprağın fonksiyonlarını yönetir ve toprak yönetimini de büyük ölçüde etkiler. Tarımda kültür altına alınan toprakların doygun hidrolik iletkenliğini etkileyen faktörler, sadece toprak tipi, tekstür, gözeneklilik, gözenekler arası bağlantılar ve organik madde gibi faktörlere değil, aynı zamanda arazi kullanımı, toprak işleme ve sulama suyu kalitesi gibi kullanılan yönetim uygulamalarına bağlı olarak da değişebilir (Yao *et al.* 2015).

Toprak hidrolik özellikleri ile ilgili veriler, araştırma ve uygulamalarda hidroloji, tarım, meteoroloji, ekoloji, çevre koruma ve diğer pek çok toprakla ilgili alanlarda kullanılmaktadır. Toprak hidrolik özelliklerinden doygun hidrolik iletkenlik, arazide ve laboratuvarında tayin edilen önemli bir hidrolik parametredir (Mbonimpa *et al.* 2002). Doygun hidrolik iletkenlik, akışkanın özelliklerinden, gözenek büyüklüğünden ve katıların yüzey özelliklerinden etkilenen bir davranış sergiler.

Arazi veya laboratuvar koşulları altında hidrolik iletkenliğin doğrudan belirlendiği birçok yöntem geliştirilmiştir (Uma *et al.* 1989; Todd and May 2005;). Alternatif olarak, arazide yaşanan olumsuzluklardan dolayı tane büyüklüğü dağılımı özelliklerine dayanan ampirik formüllerden hidrolik iletkenliğin tahmin modelleri geliştirilmiş ve kullanılmıştır (Odong, 2008; Ishaku *et al.* 2011.).

Hidrolik iletkenliğin doğrudan tayininde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden olan Guelph permeametre yöntemi gibi arazi yöntemi (Reynolds and Elrick 1986) ve sabit veya değişken su seviyeli permeametre yöntemleri gibi laboratuvar yöntemleridir (Klute and Dirksen 1986). Guelph permeametre yöntemi, homojen ortamlar, yapısal olarak kararlı topraklar ve kum veya tın bünyeli topraklarda kullanılabilmesi ancak, ince bünyeli, organik, ıslak ve heterojen topraklarda kullanılamayacağı yapılan çalışmalarda ifade edilmiştir (Jabro 1992). Laboratuvar yönteminde yoğun arazi ve laboratuvar

çalışmaları gerektirmesinden dolayı büyük ölçekli çalışmalarda pratik olmadığı değerlendirilmiştir.

Gündoğdu (1988) araştırmasında, doymuş koşullarda hidrolik iletkenliğin belirlenmesinde arazide yaygın olarak kullanılan auger-hole, piezometre ve dren verdi yöntemlerinden elde edilen sonuçlar ile laboratuvar yönteminden (Hollanda tipi permeametre yöntemi) elde edilen sonuçları karşılaştırmış ve her bir yöntemi uygunluk yönünden irdelemiştir. Araştırma sonuçlarına göre, anılan yöntemlerle yapılan ölçümler sonucu elde edilen ortalama doymuş hidrolik iletkenlik değerleri, sırasıyla 0,58 cm/h, 0,37 cm/h, 0,67 cm/h ve 0,30 cm/h'tir. Arazi koşullarında en uygun sonucu çok büyük bir toprak hacmini temsil eden dren verdi yönteminin sağladığı vurgulanmış, bunu auger-hole yönteminin izlediği kaydedilmiştir.

Doymuş hidrolik iletkenlik, toprakta su akışını tanımlamada önemli bir toprak hidrolik parametresidir. Bu parametre, toprakta gelişen fiziksel koşullar başta olmak üzere farklı koşullar karşısında hassas olup, bu durumun ortaya koyduğu değişkenlikten dolayı da tayin edilebilmesi de zordur. Bu nedenle, çalışma alanında nokta değerler belirlemek yerine, bir alanın doymuş hidrolik iletkenlik dağılımını belirlemeye çalışmanın daha doğru olacağı vurgulanmıştır (Timlin *et al.* 2004).

Toprağın hidrolik özelliklerini tahmin etmeye yönelik dolaylı yöntemler çoklu regresyon ve sinir ağı tahminlerini içerir (van Genuchten *et al.* 1999). Dolaylı olarak belirlenen hidrolik özelliklerin, doğrudan ölçülen özelliklerle karşılaştırılması günümüzde araştırma konusu olmaya devam etmektedir (Schaap, 2005). Pedotransfer fonksiyonlar yardımıyla belirlenen farklı toprak nem tansiyonlarında tutulan su içeriği ve hidrolik iletkenlik; toprak bünyesi, kütle yoğunluğu ve organik madde içeriği gibi daha kolay ölçülen toprak özelliklerinden elde edilir. Mekansal değişkenlik göz önünde bulundurulduğunda bir alanı karakterize eden hidrolik özelliklerin pedotransfer fonksiyonlarla yapılan tahminlerinin doğruluğu basit doğrudan ölçümlerle karşılaştırılabilir. Dolaylı yöntemlerin geliştirilmesiyle, hidrolik özelliklerin kullanım alanlarına bağlı olarak,

birçok problemin çözümlenmesinde sağlıklı sonuçlara ulaşılmasında başarı oranında arttığı belirlenmiştir (Durner and Lipsius 2011)

Araştırmacılar tarafından, kum fraksiyonunu kullanarak, ortamın hidrolik iletkenliğini belirlemek üzere kolay elde edilebilir temel parametrelerden hidrolik iletkenlik değeri ilişkilendirilmiş ve öngörülen modellerin değerlendirmeleri yapılmıştır (Shepherd, 1989; Aubertin *et al.* 1996; Tije and Hennings, 1996).

Avrupa toprak ve su kaynaklarının korunması ile ilgili çok sayıdaki çalışmada, toprak su simülasyon modelleri kullanılmaktadır. Ancak bu modellerin daha geniş çapta uygulanmasının önündeki en büyük engel, kolay erişilebilir ve toprak hidrolik özelliklerine ait verilerin bulunmamasıdır. Bu veri eksikliğini ortadan kaldırmak amacıyla 12 Avrupa ülkesinden toplam 20 kurum Avrupa Topraklarının Hidrolik Özelliklerine ait HYPRES (HYdraulic PROPERTIES of European Soils ) veritabanının oluşturulması için bünyelerindeki mevcut olan hidrolik verileri bir merkezi veritabanında toplama girişimiyle bir proje yürütmüşlerdir. Oluşturulan veri merkezindeki veriler, hidrolik özelliklerin tahmini için geliştirilen pedotransfer fonksiyonlarında kullanılmış, elde edilen sonuçlardan toprak su dağılım haritaları hazırlanmıştır (Wösten *et al.* 1999).

Hidrolik iletkenlik değerinin belirlenmesinde geliştirilen modeller, ölçüm sonuçlarının geçerliliğini tespit etmek, bir kısım verileri tanımlamak ve tane boyutu, gözeneklilik, organik madde içeriği gibi temel özelliklerin söz konusu parametre üzerindeki etkilerini ortaya koymak amacıyla uygulamalarda kullanılabilir. Ancak, geliştirilen modeller, testlerin yerini almamakla birlikte daha çok zaman ve işgücünden kaçınmak amacıyla analiz ve karar verme süreci için mevcut olan bir yöntem olarak görülmektedir (Mbonimpa *et al.* 2002). Ancak, hidrolik iletkenliği ölçmek için kullanılan yöntemlerin, ortamın farklı özelliklerinden dolayı, farklı sonuçlar verme eğiliminde olduğu araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir. Bu nedenle, toprağın diğer kolay ölçülebilir fiziksel özelliklerinden yararlanarak, toprakların doymuş hidrolik iletkenliğini tahmin etmek için basitleştirilmiş ampirik modellerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur.

Toprak hidrolik özelliklerinin, tane büyüklük dağılımı, kütle yoğunluğu, etkili gözeneklilik, karbon içeriği gibi toprağın temel pedolojik ve diğer özelliklerinden ampirik denklemler geliştirilerek tahmin edilmesi için çok sayıda araştırma yürütülmüştür (Gupta and Larson, 1979; Arya and Paris, 1981; Rawls et al. 1982; Puckett *et al.* 1985; Wösten and Van Genuchten, 1988; Ahuja *et al.* 1989 Vereecken *et al.* 1990; Wu *et al.* 1990; Assouline *et al.* 1998; Arya *et al.* 1999; Hwang and Powers 2003).

Doygun hidrolik iletkenliğin tahminlemede tane büyüklük dağılımı ortamın gözeneklilik durumunu dolayısıyla toprak geçirgenliğini etkilediği için önemlidir. Bundan dolayı, bir toprağın kil, silt veya kum içeriği, hidrolik iletkenliğin tahmininde önemli değişkenlerdir (Sarki et al. 2014). Bu nedenle, başta toprak tekstürü olmak üzere farklı toprak özelliklerinden doymuş hidrolik iletkenlik gibi toprak hidrolik özelliklerini türeten pedotransfer fonksiyonlar, hidrolik modellerde yaygın olarak kullanılmıştır (Alyamani and Sen 1993; Boadu 2000; Saxton ve Rawls, 2006; Odong 2008).

Puckett *et al.* (1985), toprakların fiziksel, mineralojik ve hidrolik özelliklerini karakterize etmek, bu özellikler arasındaki ilişkileri ortaya koymak ve toprağın hidrolik özelliklerinin tahmininde geliştirilen modeller arasında etkinliği yüksek modelleri belirlemek amacıyla bir araştırma yürütmüşlerdir. Araştırmada, toprak nem tansiyon eğrileri, doymuş hidrolik iletkenlik, kütle yoğunluğu, mineralojik özellikler, yüzey alanı ve tane büyüklük dağılımı gibi özellikler belirlenmiş ve bunlar arasındaki ilişkiler regresyon analizleriyle çalışılmıştır. İnce kum ve kil içeriğinin, doymuş hidrolik iletkenlik ile yüksek oranda ilişki ortaya koyduğu kaydedilmiştir.

Jabro (1992), doymuş hidrolik iletkenlik ile toprak tane büyüklük dağılımı ve kütle yoğunluğu arasında ampirik ilişkiyi araştırmıştır. Araştırmacı, stepwise regresyon modeli kullanarak geliştirdiği çoklu lineer regresyon modelinde ( $R^2 = 0,68$ ;  $P < 0,0001$ ) toprak hidrolik iletkenliğinin kil, silt ve kütle yoğunluğu parametrelerinden tahmininin en iyi model olacağını vurgulamıştır.

Tietje and Hennings (1996), çalışmalarında doymun hidrolik iletkenliği tahmin etmek için pedotransfer fonksiyonlarının geçerliliğini ölçmek, ortak bir veri tabanındaki mevcut yaklaşımları karşılaştırmak, doğruluk derecesine göre bir sıralama elde etmek amacıyla bir araştırma yürütmüşlerdir. Bu araştırmada doymun hidrolik iletkenlik, tekstüre bağlı olarak ortalama ve standart sapmasının, rasgele log-normal dağılım gösterdiğini kaydetmişlerdir. Araştırmacılar, pedotransfer fonksiyonu yaklaşımının, ortalama ve standart sapmanın göz önüne alınması halinde, doymun hidrolik iletkenliği tahmin etmede faydalı olacağını kaydetmişlerdir.

Salchow *et al.*, (1996), araştırmalarında dört tekstür sınıfına (siltli killi tın, siltli tın, tın ve kumlu tın) ait toprak verilerini (kum, silt, kil ve organik madde içeriği) kullanarak, toprağın doymun hidrolik iletkenliğini tahmin etmek amacıyla pedotransfer fonksiyonlarını geliştirmişlerdir. Araştırma sonucunda model içinde yer alan değişkenlerin önem testleri yapılmıştır.

Arya *et al.* (1999), hidrolik iletkenlik ile tane büyüklük dağılımı arasındaki ilişkiyi esas alan bir model oluşturmak ve bu model tarafından elde edilen tahminleri değerlendirmek amacıyla bir araştırma yürütmüşlerdir. Model, toprak gözeneklerinin eşdeğer kapillar bir sistem olarak temsil edilebileceği ve su akış hızının gözenek boyutunun bir işlevi olduğu varsayımına dayandırılmıştır. Gözenek büyüklüğü dağılımı, Arya-Paris modeli kullanılarak tane büyüklük dağılımından elde edilmiştir. Geliştirilen modelle doymunlukla çok düşük su içeriği arasında hidrolik iletkenlik tahmininin yapılabileceği vurgulanmıştır.

Boadu (2000) araştırmasında, toprakların doymun hidrolik iletkenliğini tane büyüklüğü dağılımından tahmin etmek amacıyla regresyon modelleri geliştirmiştir. Hidrolik iletkenliği tahmin etmek için geliştirilen modellerde tane büyüklüğü dağılımına alternatif olarak, toprağın porozitesi, kütle yoğunluğu ve ince fraksiyon içeriğinin yanında tane büyüklük dağımlarının fraktal boyutu ve entropisinde kullanılmıştır. Geliştirilen modellerin tahminleri, mevcut modellerin sonuçları ve laboratuvar koşullarında llen hidrolik iletkenlik değerleriyle karşılaştırılmıştır. Araştırma sonuçları, yeni geliştirilen

modellerin, tane büyüklük dağılımına ait verileri kullanarak hidrolik iletkenliği tahmin etmede mevcut modellere göre üstünlüklere sahip olduğunu, ayrıca toprakların hidrolik iletkenliğinin bulunmasında, laboratuvar ölçümlerine alternatif olarak önerilebileceğini ortaya koymuştur.

Ishaku *et al.* (2011), hidrolik iletkenliği belirlemek için tane büyüklüğünü esas alan mevcut ampirik formüller kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, en iyi hidrolik iletkenlik tahmininin Terzaghi denkleminde, bunu sırasıyla Kozeny-Carman, Hazen, Breyer ve Slitcher denklemlerinin izlediğini ifade etmişlerdir.

Mbonimpa *et al.* (2002), çalışmalarında Kozeny-Carman denkleminde türetilmiş doymuş hidrolik iletkenliği tahmin etmek için pedolojik özelliklere dayalı bazı modeller önermişlerdir. Araştırmacılar, çalışmalarında önerilen pedotransfer fonksiyonlarının, granüler (kaba bünyeli) ile plastik / kohezif (ince bünyeli) topraklar için hidrolik iletkenlik değerini tahmin etmede kullanılabileceğini vurgulamışlardır. Önerilen modeller, ön değerlendirme aşamasında hidrolik iletkenlik hakkında faydalı bilgiler elde etmek ve bazı sorgulanabilir test sonuçlarının geçerliliğini değerlendirmek için kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Chapuis and Aubertin (2003), çalışmalarında laboratuvar geçirgenlik testlerini kullanılarak Kozeny-Carman (KC) denkleminin kapsamını ve geçerliliğini literatür bilgilerinden de yararlanarak değerlendirmişlerdir. Değerlendirme sonucunda genel bir kural olarak, (KC) denkleminin birçok toprakta doymuş hidrolik iletkenliği oldukça iyi tahmin edebileceğini kaydetmişlerdir. Çalışmalarında ortaya çıkan tutarsızlıkların çoğunluğunun anizotropik koşullar, hatalı spesifik yüzey değerleri, örnekleri sabit akışa ulaşmaması gibi durumlardan kaynaklanmış olabileceğini vurgulamışlardır.

Chakraborty *et al.* (2006), killi tın, kumlu kil tın, kumlu kil ve kil tekstür sınıfına sahip toprak örnekleri üzerinde Arya-Paris modelini kullanarak tane büyüklük dağılımı verilerinden hidrolik iletkenliğin tahminini çalışmışlardır. Araştırma sonuçları, toprakların tane büyüklük dağılımı verileri kullanılarak yapılan hidrolik iletkenliği

tahmin etmede önemli bir başarı göstermiştir. Araştırmada, tahmin edilen ve ölçülen veriler arasında gözlemlenen uyumsuzlukların, modelde yer alan toprak yapısındaki akış davranışını etkileyen bazı parametreleri içerecek şekilde geliştirilmesi ile azaltılabileceğini vurgulamışlardır.

Islam *et al.* (2006), toprak hidrolojik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan doğrudan ve dolaylı yöntemleri çalışarak, hidrolojik modellerde girdi olarak kullanılan toprağın temel parametreleri ile tahmin edilen özelliklerin, deneysel verilerle karşılaştırılmasını yapmışlardır. Çalışmalarında, farklı kaynaklardan toplanan veri setleri, (1) pedotransfer fonksiyonları elde etmek için regresyon analizi, (2) yapay sinir ağları ve (3) bu veri setlerinden parametre setlerini tahmin etmek için hidrolik iletkenlik verileri elde edilmiştir.

Ferrer-Julia *et al.* (2004) araştırmalarında, İspanya'da yarı kurak koşullar altında farklı topografyada gelişen toprakların doygun hidrolik iletkenliklerinin pedotransfer fonksiyonlarla tahmin edilmesini, diğer araştırmacılar tarafından geliştirilen pedotransfer fonksiyonlarla karşılaştırmayı ve gelecekte hidrolojik modelleri daha doğru uygulamak için doygun hidrolik iletkenlik haritalarının hazırlanmasını amaçlamışlardır. Araştırmanın sonucunda farklı topraklar için doygun hidrolik iletkenliğin tahmininde pedotransfer fonksiyonlar geliştirilmiş ve hidrolojik haritalar hazırlanmıştır.

Zelege and Si (2005), ölçeklendirme yaklaşımlarından (monofraktal veya multifraktal) hangisinin yüzey toprağındaki doygun hidrolik iletkenliği en iyi tanımladığını belirlemek ve temel toprak fiziksel özelliklerinden hangisinin doygun hidrolik iletkenliğin mekansal dağılımı üzerinde etkili olduğunu ortaya koymak amacıyla bir araştırma yürütmüşlerdir. Araştırmaya konu olan değişkenler ve aralarındaki ilişkiler istatistiksel ve jeostatistik yöntemler kullanılarak incelenmiştir. Gözlem ölçeğinde doygun hidrolik iletkenlikteki değişkenlik, kum ve silt dağılımı ile önemli derecede ilişkili olduğu, daha geniş bir skala aralığında ise doygun hidrolik iletkenlikteki değişkenliğin kil ve organik C ile ilişkili olduğu kaydedilmiştir. Doygun hidrolik iletkenlik belirleme tekniklerinden pedotransfer fonksiyonları gibi tahminleyici modellerin başarısının, mekânsal değişime bağlı olarak

değişen toprak fiziksel özelliklerinden etkileneceği dolayısı ile belli bir alanda yapılacak doygun hidrolik iletkenlik tahminlerinin uygulamadaki ölçeklendirmeyede bağlı olacağı ifade edilmiştir.

Li *et al.* (2007), Kuzey Çin ovası'ndaki toprak hidrolik özelliklerinden toprak nem tansiyon eğrisi ve toprak hidrolik iletkenliği belirlemek amacıyla bir araştırma yürütmüşlerdir. Araştırmada hem hidrolik özellikler hem de temel toprak özelliklerinden tekstür, kütle yoğunluğu ve toprak organik madde içeriği ölçülmüştür. Pedotransfer fonksiyonlar, toprak hidrolik parametre verileri ve temel toprak özellikleri arasındaki çoklu regresyon ile geliştirilmiştir.

Odong (2008), kaba bünyeli topraklarda tane büyüklüğü dağılımını kullanarak hidrolik iletkenliğin belirlenmesi için yaygın olarak kullanılan yedi farklı ampirik formülün uygulanabilirliği ve güvenilirliğini test etmiştir. Araştırmacı test ettiği yedi ampirik formülün, farklı toprak örneklerinin hidrolik iletkenliklerini bilinen aralıklar içinde güvenilir bir şekilde tahmin ettiğini vurgulamıştır. Kozeny-Carman formülünün, kaba bünyeli topraklar dahil, diğer topraklarda da en iyi tahminleyici olduğunu ifade etmiştir. Araştırmacı ampirik formüllerin uygulanabilirlik alanları içinde kullanılmasını önemle vurgulamıştır.

Ben-Hur *et al.* (2009), farklı tuzluluk ve sodiklik koşulları altında smektit kil içeriğine sahip toprakların hidrolik iletkenliği ve strüktürel degradasyonu üzerine toprak tekstürü ve agregat büyüklüğünün etkilerini araştırmak amacıyla yürüttükleri çalışmalarında, farklı ıslatma koşullarının tınlı kum tekstür sınıfındaki toprağın hidrolik iletkenliği üzerinde bir etki ortaya koymadığı, aynı toprağın büyük agregatlı olanlarının küçük agregatlı olana göre daha yüksek hidrolik iletkenlik değerleri verdiğini belirlemişlerdir. Büyük agregat içeriğine sahip kil bünyeli toprakta, hızlı ıslatma koşulu sonrasında toprak agregatlarındaki parçalanmadan dolayı, hidrolik iletkenlik değerlerinin, yavaş ıslatma koşulu sonrasında belirlenen hidrolik iletkenlik değerlerinden önemli ölçüde düşük olduğu belirlenmiştir. Ancak küçük agregat içeriğine sahip killi toprakta ıslatma koşulunun hidrolik iletkenlik değeri üzerinde anlamlı bir etkisi bulunamamıştır.

Ghanbarian-Alavijeh *et al.* (2010) kum ve kil içeriği ile kütle yoğunluğu, van Genuchten parametreleri ( $\theta_r$ ,  $\alpha$ , ve  $n$ ) gibi toprağın belirlenen özelliklerinden, doymun hidrolik iletkenliği tahmin edilmesinde kullanılan yapay sinir ağı modelini geliştirerek hidrolik iletkenliğin belirlenmesi amacıyla bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmada, etkili porozitenin tanımına dayanarak iki yapay sinir ağı modeli geliştirilmiş ve performansları birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Musavi-jahro, and Shiravand (2012), araştırmalarında, 4 üniform kum numunesinin hidrolik iletkenliğinin belirlenmesinde ampirik formüllerin uygulanabilirliğini test etmek amacıyla bir çalışma yürütmüşlerdir. Araştırmacılar, ampirik eşitliklerden elde edilen değerleri, sabit seviyeli permeametre yöntemi ile yapılan laboratuvar ölçümlerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Sonuçlar, USBR (United State Bureau of Reclamation) ve Slitcher'in, çalışma konusu diğer eşitliklerden daha doğru değerler verdiğini göstermiştir.

Salarashayeri and Siosemarde (2012), doymun hidrolik iletkenlik ve tane büyüklük dağılımı arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla yürüttükleri araştırmalarında 25 kum bünyeli toprak örneği kullanmışlardır. Araştırma sonucunda geliştirdikleri multipli linear regresyon analizi sonucunda hidrolik iletkenlik açısından etkili tane çapı ( $D_{10}$ ) değerinin önemli bir rol oynadığını ve hidrolik iletkenlik hesaplamasında etkili parametre olarak kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Yakupoğlu *et al.* (2013), temel toprak fiziksel özellikleri ve nem sabitelerini kullanarak oluşturulan pedotransfer eşitlikler yardımıyla, toprakta doymun hidrolik iletkenlik değerinin tahminlenmesi amacıyla araştırmalarını Kahramanmaraş-Narlı Ovası'ndan alınan toprak örnekleri üzerinde yürütmüşlerdir. Rutin toprak özellikleri, nem sabiteleri ve doymun hidrolik iletkenlik ölçülmüştür. Daha sonra veri kümesi istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve çoklu lineer regresyon yöntemi kullanılarak doymun hidrolik iletkenliği tahminlemede kullanılacak pedotransfer fonksiyonlar oluşturulmuştur. Bu araştırmanın sonuçları Kahramanmaras-Narlı Ovası'nda doymun hidrolik iletkenlik

değerlerinin tahmin edilmesinde geliştirilen pedotransfer modellerin kullanılabilceğini ortaya koymuştur.

Rosas *et al.* (2014) araştırmalarında, 431 örnek üzerinde standart metotlar kullanarak tane büyüklük dağılımı, gözeneklilik ve hidrolik iletkenliği ölçmüşlerdir. Ölçülen hidrolik iletkenlik değerleri, tane büyüklüğü dağılımı verilerinden faydalanılarak hidrolik iletkenliği tahmin etmek için yaygın olarak kullanılan 20 farklı ampirik denklem kullanılarak bulunan sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar, tahmin değerlerinin ölçülen değerlerden büyük ölçüde farklı değerler verdiğini vurgulamış bu denklemler üzerinde modifikasyonlar önererek bu farklılığın homojen örnekler arasında azaltılabileceğini ifade etmişlerdir.

Pachepsky and Park (2015), doygun hidrolik iletkenliği tahmin etmek amacıyla gruplama temelli bir pedotransfer prosedürü geliştirmek ve değerlendirmek amacıyla bir araştırma yürütmüşlerdir. Araştırmacılar, farklı kaynaklardan toplanan 25811 veri üzerinde çalışmışlardır. Her tekstür sınıfındaki verilerden, homojen gruplar oluşturularak, örnekler yüksek ve düşük kütle yoğunluklarına göre gruplandırılmıştır. Araştırmada, yüksek ve düşük kütle yoğunluk gruplarını ayıran eşik kütle yoğunluğu değeri, kil bünyeli topraklar için  $1.24 \text{ g/cm}^3$ , tın bünyeli topraklar için  $1.33 \text{ g/cm}^3$  ve kum bünyeli topraklar için yaklaşık  $1.65 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Yüksek kütle yoğunluğu grubu içinde yer alan topraklar, düşük kütle yoğunluğu grubundaki topraklardan çok daha geniş bir doygun hidrolik iletkenliği değeri ortaya koymuşlardır. Detaylı makine öğrenme yöntemleri kullanılarak çok daha detaylı toprak bilgisinden elde edilen tahminler yüksek doğruluk derecesine sahip olurken, gruplar içinde tahmin edilen doygun hidrolik iletkenlik değerleri daha düşük doğruluk derecesine sahip olmuştur. Doygun hidrolik iletkenliği bünye ve kütle yoğunluğundan tahmin etmenin, büyük ölçekli projelerde bir avantaj olabileceği vurgulanmıştır.

Pachepsky *et al.* (2015), dünya genelinde pedotransfer fonksiyonlarının gelişimindeki eğilimlere ve yöntemlere ait çalışmaları, bu amaç için mevcut ve talep edilen veriler arasındaki ilişkileri değerlendirmeye yönelik olarak bir çalışma yürütmüşlerdir.

Çalışmalarında su içeriği ve toprağın hidrolik özelliklerinin mekânsal değişkenliğinin tahmin edilmesi, model performansının değerlendirilmesi, çok modelli simülasyonlar gibi konular ele alınmıştır. Doygun hidrolik iletkenlik için geliştirilen pedotransfer ilişkilere ait artışa dikkat çekilmiştir. Yirmi birinci yüzyılın önemli olaylarının araştırılmasında ve çözümünde pedotransfer fonksiyonlarının geliştirilmesinin önemini vurgulayan çalışmalarında bu fonksiyonlara ihtiyaç duyulan konular arasında karbon stoğu değerlendirmeleri ve tahminleri, iklim değişikliği ve ilgili hidrolojik hava durumu olaylarının tahminleri ve ekosistemle ilgili konulara dikkat çekilmiştir.

Yao *et al.* (2015), hidrolik iletkenliğin toprakta su akışı ve tuz taşınımının modellenmesindeki önemini değerlendirdikleri araştırmalarında, (i) tuzdan etkilenmiş tarım alanların hidrolik iletkenliği etkileyen faktörleri belirlemek, (ii) araştırma konusu ilgili makalelere ait pedotransfer fonksiyonların tahmin performanslarını değerlendirmek ve örnekleme alanları için en uygun fonksiyonu belirlemek ve (iii) hidrolik iletkenliğin tahmin edilmesinde uygun pedotransfer fonksiyonu geliştirmek üzere çalışmışlardır. Araştırmada, doymuş hidrolik iletkenliğinin tahmini için uygun pedotransfer fonksiyonu belirlemek amacıyla, 9 toprak fiziksel özelliğini ve 7 toprak kimyasal özelliğini içeren 16 temel toprak özelliğini esas almışlardır. İlgili araştırma konusu makalelerden seçilen pedotransfer fonksiyonlar arasında, Ahuja PTF'nun sadece etkili gözeneklilik gerektiren en uygun yöntem olarak tanımlanmıştır. Vereecken PTF, daha geniş bir toprak tekstürel sınıfı yelpazesi için uygun olduğu vurgulanmıştır. Girdi toprak verisi olarak kum içeriği, kil içeriği, kütle yoğunluğu, organik madde içeriği ve elektriksel iletkenlik değerlerinin kullanıldığı modifiye Vereecken (MV) PTF ve yapay sinir ağı (YSA) PTF modellerinin mevcut pedotransfer fonksiyon modellerinden daha iyi bir tahmin performansına sahip olduğu vurgulanmıştır.

Patil and Singh (2016), çalışmalarında, son yirmi yılda toprak hidrolik özelliklerini tahmin etmek için alternatif bir yol olarak kullanılan pedotransfer fonksiyonlarının gelişimini incelemişlerdir. Geleneksel olarak, pedotransfer fonksiyonları kalibre etmek için regresyon algoritmaları kullanmışlardır. Araştırmacılar, pedotransfer fonksiyonların

geliştirilmesindeki temel prensibin, pahalı ve kaynak tüketen toprak özelliklerinin doğrudan ölçülmesinden kaçınmaya duyulan ihtiyaç olduğunu vurgulanmıştır.

Karahan ve Erşahin (2016), araştırmalarında, K<sub>s</sub> tahminlerinde toprak etüd raporlarında yer alan bazı kolay ölçülebilir toprak morfolojik özelliklerin potansiyelini değerlendirmişlerdir. Çalışmada 0-15 cm ve 15-30 cm toprak katmanlarından altmışar örnek (15 cm uzunluk ve 8.0 cm iç çap) alınmıştır. Örnekler üzerinde doygun hidrolik iletkenlik ölçülmüş ayrıca, toprak bünyesi, kütle yoğunluğu, pH, tarla kapasitesi, solma noktası, kation değişim kapasitesi, özgül yüzey alanı, agregat stabilitesi, organik madde ve kalsiyum karbonat içeriği belirlenmiştir. Toprak bünyesinin, gözenek büyüklüğü ve miktarının hidrolik iletkenliği tahminde önemli ölçüde katkıda bulunduğu çalışmada vurgulanmıştır.

Zhao *et al.* (2016), hidrolik iletkenlikle ilgili olarak mekânsal varyasyonları ortaya koymak, hidrolik iletkenliğin mekânsal dağılımını kontrol eden başlıca faktörleri belirlemek ve hidrolik iletkenliğin tahmini için güvenilir ve kararlı bir pedotransfer fonksiyonu geliştirmek amacıyla bir araştırma yürütmüşlerdir. Araştırmada, bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri toplanmış ve hidrolik iletkenlik ve ilişkili toprak özellikleri ölçülmüştür. Yapılan korelasyon analizinde, kütle yoğunluğunun, doygun toprak su içeriğinin, kil ve silt içeriğinin hidrolik iletkenlik ile yakından ilişkili olduğu kaydedilmiştir. Kütle yoğunluğu, silt ve kilin dahil olduğu ve multipli lineer regresyon ile geliştirilen pedotransfer fonksiyonun, hidrolik iletkenliği tahmin etmek için en iyi model olarak kabul edilebileceği ifade edilmiştir.

Ren *et al.* (2016), kil bünyeli topraklar için hidrolik iletkenliğin tahmin edilmesinde Kozeny-Carman denkleminin olumsuzluğunu açıklamak ve farklı bünyeye sahip topraklar için hasas bir denklem önerebilmek, ince bünyeli toprakların hidrolik iletkenliğini tahmin etmede yeni bir model geliştirmek amacıyla bir araştırma yürütmüşlerdir. Araştırmacılar, Kozeny-Carman denklemindeki yetersizliği çözümlenmek amacıyla, Poiseuille yasasına dayanan yeni bir hidrolik iletkenlik-boşluk oranı ilişkisini ortaya koymak için etkili boşluk oranı kavramının yer aldığı bir model geliştirmişlerdir.

Araştırmada sunulan modelin, geniş bir yelpazede yer alan kaba ve ince bünyeli topraklar için hidrolik iletkenliği tahmin etmede yeterliliğe sahip olduğu kaydedilmiştir.

Xu *et al.* (2017), toprağın hidrolik özelliklerinin tahmininde kullanılan pedotransfer fonksiyonların hassasiyetini ve performansını artırmak amacıyla rutin özelliklerin yanında, toprak spektral verilerinin de modele eklenmesinin etkilerini değerlendirmek amacıyla bir araştırma yürütmüşlerdir. Araştırmacılar Güneybatı Çin'de 171 noktada ölçülen doymuş toprak hidrolik iletkenlik verilerini ve yapay sinir ağı modelini (YSA) kullanarak, doymuş hidrolik iletkenliği tahmin etmek için üç farklı pedotransfer fonksiyon geliştirmişlerdir. Geliştirilen pedotransfer fonksiyonun girdileri arasında temel toprak özellikleri (kütle yoğunluğu, kil, silt ve kum içeriği) ve toprak spektral verilerine (SPRD) yer verilmiştir. Pedotransfer fonksiyonların determinasyon (performansını belirleme) katsayısı ( $R^2$ ) ve kök ortalama kare hatası (RMSE) kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, hidrolik iletkenliği tahmin etmede spektral verilerin dahil edilmesinin, fonksiyonun performansını artırdığını göstermiştir. Girdi olarak yalnızca temel toprak özelliklerinin kullanıldığı pedotransfer fonksiyona kıyasla, hem temel toprak özelliklerinin hem de spektral verilerin girdi olarak kullanılmasının pedotransfer fonksiyonun performansını artırdığını göstermiştir.

Elhakeema *et al.* (2018) yoğun tarım yapılan arazilerde doymuş hidrolik iletkenlik tahmininde toprak özelliklerinin, yönetiminin ve iklim faktörlerinin ortak olarak sergiledikleri rolleri belirlemek amacıyla bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu amaçla çalışmalarında, pedotransfer fonksiyonları ve coğrafi bilgi sistemi (GIS) modelleri ile entegre su havzası modelleri kullanılarak fiziksel tabanlı bir modelleme çerçevesi geliştirilmiştir. Araştırmada, dört farklı yöntemle hidrolik iletkenlik belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, temel toprak özelliklerinden belirlenen hidrolik iletkenliğin, toprak işleme ve yağmur damlası etkisine bağlı toprak yüzeyindeki bozulma derecesini yansıtmadığını, su dengesi çalışmalarında kullanımının tarımsal su havzalarına sızan su miktarının iki kat fazla tahmin edilmesine yol açabileceği vurgulanmıştır. Ancak, toprak porozitesini ve yapısını etkileyen toprak bitki örtüsü ve yönetimi, yerel hidro-pedoloji ve

iklim koşullarının katkılarını ortaya koyan yöntemin yoğun şekilde yönetilen tarımsal alanlarda hidrolik iletkenliği tahmin edilmesinde kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.



### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Örnekleme alanının tanımı

Araştırma alanı, Erzurum İli Sakalikesik ovasında Özbek (39° 50' 4.59'' kuzey enlemi - 41° 3' 5.27'' doğu boylamı, Rakım 1850 m) ve Yukarıyenice (39° 47' 25.98'' kuzey enlemi - 41° 5' 41.44'' doğu boylamı, Rakım 2100 m) köyleri arasında yer alan tarım alanlarıdır. Araştırma alanının güneyinde; Tuzcu, Tepeköy, Börekli, Taşlıgüney köyleri, batısında; Dereboğaz, Güzelyurt, Özbek, Ağören ve Söğütlü köyleri, kuzeyinde; Gezköy, Erzurum Havalimanı, Aziziye ilçe merkezi ve Karasu nehri, doğusunda ise Atatürk Üniversitesi arazileri ile il imar bölgesi yer almaktadır. Sakalikesik Ovası, 15600 ha yüzölçümü ile Doğu Anadolu Bölgesinde, Yukarı Fırat Havzası'nda, Erzurum ovasının güneybatı bölümünün bir uzantısı olup, 1750-2100 m kotlarında yer almaktadır. Sakalikesik Ovası, güneyinde Palandöken Dağları, Kuzeyinde Karasu Nehri, doğusunda Erzurum ili yerleşim yeri ve batıda ise Turnagöl Dağı (2250 m) arasında yer almaktadır. Ova tektonik kökenlidir. Ovanın genel eğimi KD ya doğrudur (Anonymous 1987).

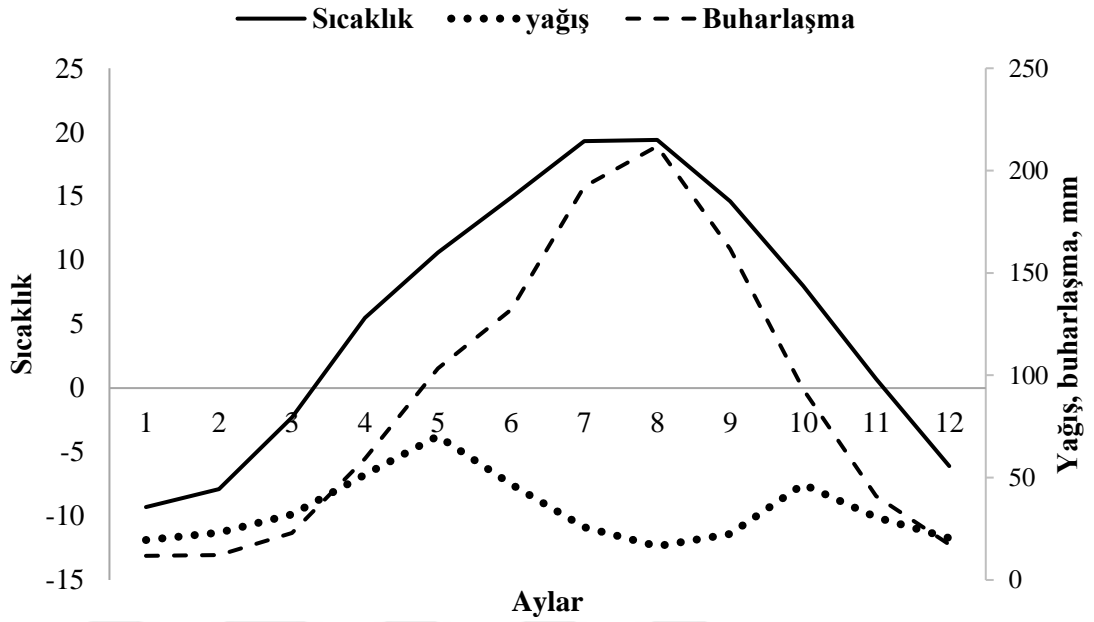
##### 3.1.2. İklim özellikleri

Bölgenin iklimi, kışları çok soğuk ve uzun, yazları serin ve kısa geçen karasal bir iklimdir (Anonim 1979). Bölgenin iklim verilerine göre, yıllık ortalama sıcaklık 5,7°C, yıllık yağış 432 mm, ortalama yıllık buharlaşma 1059 mm ve yıllık ortalama nispi nem %63,9'dur. Ortalama yıllık toprak sıcaklığı 5 cm derinlikte 8,7°C, 20 cm derinlikte 8,5°C ve 50 cm derinlikte 8,0°C'dir (Anon. 1990). Bölgeye en fazla yağış Mayıs ayında (73,8 mm) ve en az yağış ise Ağustos ayında (17,7 mm) düşmektedir. Topraktaki nem miktarını önemli ölçüde etkileyen yağış ve buharlaşma miktarları birlikte incelendiğinde yılın 8 ayında (Nisan Kasım) buharlaşmanın, yağıştan fazla olduğu görülmektedir (Çizelge 3.1, Şekil 3.1). Yağışın yaklaşık %40'ı Nisan-Mayıs ve Haziran aylarında düştüğünden, bu üç aylık

dönemde toprak sürekli nemli kalmakta, bu dönemi takip eden üç ay içerisinde de (Temmuz-Ağustos-Eylül) ise oldukça kurak bir dönem yer almaktadır.

**Çizelge 3.1.** Uzun yıllar içinde gerçekleşen ortalama değerler (1929-2018; \*1932-1994; \*\*1960 – 2012)

Aylar	Sıcaklık (°C)			Ort. Yağış (mm)	**Ort. nispi nem (%)	**Ort, buharlaşma (mm)	Toprak sıcaklığı (°C)*		
	Mak.	Min.	Ort.				5 cm	20 cm	50 cm
1	-4,0	-14	-9,2	22,5	76,2	11,8	-5,0	-3,7	-1,3
2	-2,4	-12,6	-7,7	26,8	75,2	12,1	-4,1	-3,0	-1,8
3	2,6	-7,1	-2,4	34,9	74,2	22,9	0,5		-0,6
4	10,9	0,0	5,4	53	65,3	59,2	7,1	5,7	3,3
5	16,8	4,4	10,7	73,8	61,2	103,3	13,3	11,4	8,8
6	21,7	7,3	14,9	49,0	56,3	132,2	19,0	16,9	13,8
7	26,5	11,2	19,3	26,6	50,3	192,2	24,0	22,0	18,6
8	27,2	11,2	19,5	17,7	47,5	211,9	23,6	22,1	20,0
9	22,6	6,5	14,7	23,5	50,3	161,7	17,8	17,8	17,3
10	15,1	1,8	8,1	48,3	61,5	93,2	9,5	10,3	11,5
11	6,8	-3,7	1,0	33,1	72,2	41,0	2,1	3,4	5,2
12	-1,0	-10,3	-5,9	22,8	76,5	17,3	-2,5	-1,2	1,4
<b>Yıllık</b>	11,9	-0,4	5,7	432,0	63,9	1058,8	8,7	8,5	8



Şekil 3.1. Erzurum ili iklim verilerine ait yağış, sıcaklık ve buharlaşma grafiği.

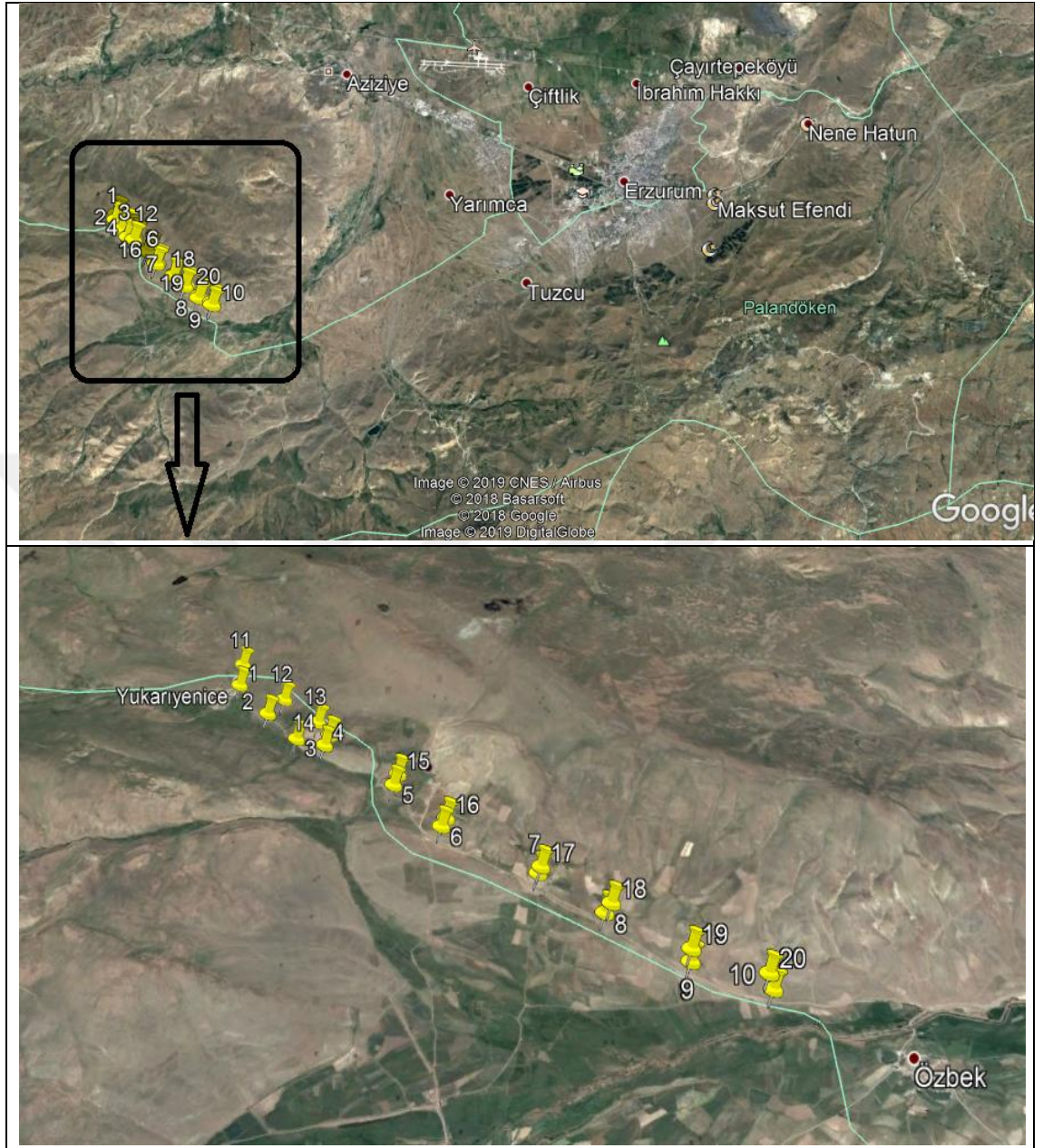
### 3.2. Yöntemler

Analize hazırlanan toprak örneklerinde yapılan testler ve istatistiksel değerlendirmeler aşağıda belirtilen yöntemlere göre yapılmıştır.

#### 3.2.1. Toprak örneklerinin alınması ve analize hazırlanması

Araştırma alanında yirmi farklı noktada 0-20 cm derinlikten bozulmuş toprak örnekleri alınmıştır (Şekil 3.2). Arazi çalışmasından sonra laboratuvara getirilen toprak örnekleri, oda sıcaklığında havada kurutulup 2 mm'lik elekten elenmiş ve analizler yapılmak üzere plastik kutularda muhafaza edilmiştir.





Şekil 3.2. Toprak örneklemesinin yapıldığı noktalar

### 3.2.2. Tane büyüklük dağılımı

Toprakların tane büyüklük dağılımı, Day hidrometre yöntemi ile tayin edilmiştir (Demiralay 1993).

### **3.2.3. Tane yoğunluğu**

Toprak 6rneklerinin tane yoğunluğu piknometre y6ntemiyle tayin edilmiştir (Demiralay 1993).

### **3.2.4. Toprak reaksiyonu ve elektriksel iletkenlik**

Toprak 6rneklerinin toprak reaksiyonu ve elektriksel iletkenliği 1:1 oranında hazırlanan toprak:su s6spansiyonunda pH metre ve elektriksel kondaktivite 6lç6m aletiyle (Aydın ve Sezen 1995) belirlenmiştir.

### **3.2.5. Kireç**

Kireç içerikleri Scheibler kalsimetresiyle  $\text{CaCO}_3$ 'ın hidroklorik asitle n6tralizasyonundan açığa çıkan  $\text{CO}_2$  gazının hacminin 6lç6lmesiyle belirlenmiştir (Hızalan ve 6nal 1966).

### **3.2.6. Organik madde**

Toprak organik madde içeriği, Smith-Weldon y6ntemiyle belirlenmiştir (Aydın ve Sezen 1995).

### **3.2.7. Tarla kapasitesi ve devamlı solma noktası**

Toprak 6rnekleri 1 bar lık seramik tabla 6zerinde lastik halkalar (1cm x 4cm) içerisine yerleştirilmiş, kapillar ıslanma ile tabla ve 6rnekler doygun duruma getirildikten sonra seramik tabla silindirlerle birlikte basınç ekstrakt6r6ne alınmıştır. Ekstrakt6r içerisine uygulanan 33 kPa (tarla kapasitesi) hava basıncında 6rnekler 6zerinde hidrolik denge durumu sağlandığında, 6rneklerin nemli ağırlıkları belirlenmiş, fırında kurutma (105°C) işleminden sonrada 6rneklerin kuru ağırlığı belirlenerek nem içerikleri hesaplanmıştır. Devamlı solma noktası (1500 kPa) basınçlı membran aleti kullanılarak, aletin tablası

üzerinde yerleştirilen selüloz membran ve üzerindeki lastik halkalar içerisinde toprak örnekleri istiflenmiş, örnekler doygun duruma getirildikten sonra basınç kabine alınıp üzerine 1500 kPa basınçlı hava uygulanmış, örneklerin hidrolik denge durumuna gelmeleri sağlandıktan sonra bir önceki işlemde olduğu gibi ağırlık esasından nem içerikleri tayin edilmiştir. (Demiralay 1993).

### **3.2.8. Likit ve plastik limit**

Toprakların likit limit (LL) değerleri Cone penetrometre yöntemleri ile tespit edilmiştir. Araştırma sonuçlarının değerlendirilmesinde Cone penetrometre yöntemi değerleri kullanılmış, yöntemde hazırlanan grafik üzerinde batma eğrisinden yararlanılarak 20 mm batma derinliğine karşılık gelen değer örneğin likit limit değeri olarak alınmıştır. Plastik limit (PL) değeri, toprak örneklerinden hazırlanan toprak macununun düz bir yüzey üzerinde yaklaşık 3 mm çapında çubuk oluşturabilme yeteneğini kaybederek çatlama meydana geldiği andaki nem içeriklerinin ağırlık esasından belirlenmesi ile saptanmıştır. Toprakların likit ve plastik limit değerleri, havada kurutulmuş, ezilmiş 0,42 mm'lik elekten geçirilmiş toprak örnekleri üzerinde belirlenmiştir (Head 1984).

### **3.2.9. Kütle yoğunluğu ve doygun hidrolik iletkenlik**

Toprak örneklerinin doygun durumda hidrolik iletkenliği, sabit seviyeli permeametre yöntemi ile tayin edilmiştir. Yöntemde, 5 cm x 5 cm boyutlarında çelik silindir içerisinde toprak örneklerinden elenerek hazırlanan <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonları doldurulmuş, silindirler 2 cm yükseklikten 20 defa serbest düşürülerek, silindir içerisindeki örneğin toprağın doğal koşullardaki kütle yoğunluğu civarlarında yerleşmesi sağlanmıştır. Bu test sürecinde silindir içerisinde yerleştirilen örneğin kütle yoğunluğu değeri de tespit edilmiştir. Bu amaçla silindir içerisindeki hava kurusu örneğin eşdeğeri fırın kurusu ağırlığı, silindir iç hacmine oranlanarak örneklerin kütle yoğunluğu değerleri hesaplanmıştır. Hazırlanan örnekler ıslatma tepsilerine yerleştirilmiş, tepsiyeye ilave edilen su ile kapillarite ile ıslanmaları temin edilmiş, yaklaşık 24 saat süre ile bu durumda bekletilen örneklerin doygun duruma gelmeleri sağlanmıştır. Daha sonra

hidrolik iletkenlik setine yerleştirilen örnekler üzerinde ölçüm alınmadan akışın sabitlenmesi gerçekteşinceye kadar su geçişi sürdürölmüştür. Bu sürecin sonunda, sabit akış koşulları altında, farklı zaman aralıklarında, toplanan su miktarı ( $Q$ ,  $\text{cm}^3$ ) ölçölmüştür. Toprak kolonunun yüksekliği ( $L$ ,  $\text{cm}$ ), sabit hidrolik yük ( $h$ ), örnek kolonun kesit alanı ( $A$ ,  $\text{cm}^2$ ) ve suyun toplanma süresinden ( $t$ ,  $s$ ), doygun hidrolik iletkenlik değeri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Klute and Dirksen 1986). Doygun hidrolik iletkenlik ölçömleri toprak örneklerinden hazırlanan  $<2$  mm, 2-1 mm ve  $<1$  mm fraksiyonlar üzerinde üç tekrarlamalı olarak yapılmıştır. Doygun hidrolik iletkenlik sınıfları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

$$K_s = \frac{QL}{Ath} \text{ cm/s} \quad (3.1)$$

### 3.2.10. Toplam porozite

Toprak örneklerinin tane yoğunluğu ve kütle yoğunluğu değerlerinden hesaplanmıştır (Demiralay 1993).

### 3.2.11. Doygun hidrolik iletkenliğin tahmininde kullanılan pedotransfer fonksiyonlar

Doygun hidrolik iletkenliği tahmin etmede geliştirilen pedotransfer fonksiyonları ampirik ve fiziko-ampirik ilişkilerdir. Ampirik ilişkiler, toprağın tekstür, organik madde, gözeneklilik ve kütle yoğunluğu gibi mevcut veya kolay ölçölebilir özellikleri kullanarak basit veya çoklu doğrusal regresyon eşitlikleri geliştirilmiştir (Brakensiek *et al.* 1984; Cosby *et al.* 1984; Saxton *et al.* 1986; Elhakim 2016). Doygun hidrolik iletkenliğin tayininde araştırmacılar tarafından yürütölen deneysel ve nümerik analizler sonucunda önerilen çok sayıda ampirik eşitlik bulunmaktadır.

Bu araştırmada doyun hidrolik iletkenliğin tayininde literatürden seçilen sekiz farklı pedotransfer fonksiyon model kullanılmıştır. Bu modellere ait eşitlikler aşağıda verilmiştir

1. Wösten *et al.* (1997)

$$K_s = 1,15741 \cdot 10^{-5} \exp(x), \text{ cm s}^{-1} \quad (3.2)$$

Kaba bünyeli topraklar için  $x$ ,

$$x = 9,5 - 1,471(BD^2) - 0,688(OM) + 0,0369(OM^2) - 0,332 \ln(C + Si) \quad (3.3)$$

Orta ve ince bünyeli topraklar için  $x$ ,

$$x = -43,1 + 64,8(BD) - 22,21(BD^2) + 7,02(OM) - 0,1562(OM^2) + 0,985 \ln(OM) - 0,01332(C)(OM) - 4,71(BD)(OM) \quad (3.4)$$

2-Wösten *et al.* (1999) (cm/s)

$$K_s = 1,15741 \cdot 10^{-5} \exp(x) \quad (3.5)$$

Burada  $x$ ,

$$x = 7,755 + 0,0352(Si) + 0,93(\text{Üst toprak}) - 0,967(BD^2) - 0,000484(C^2) - 0,000322(Si^2) + \frac{0,001}{(Si)} - \frac{0,0748}{OM} - 0,643 \ln(Si) - 0,01398(BD)(C) - 0,1673(BD)(OM) + 0,02986(\text{Üst toprak})(C) - 0,03305(\text{Üst toprak})(Si) \quad (3.6)$$

Burada, BD, kütle yoğunluğu ( $\text{g cm}^{-3}$ ); C, kil fraksiyonu (%); Si, silt fraksiyonu (%); OM, organik madde (%). Toprak katmanları için üst toprak=1 ve alt toprak = 0 değerleri alınır.

3-Cosby *et al.* (1984) cm/s

$$K_s = 7,05556 \cdot 10^{-4} \cdot (10^{[-0,6+0,0126(S)-0,0064(C)]}) \quad (3.7)$$

Burada, C, kil fraksiyonu (%); S, kum fraksiyonu (%);

4-Saxton *et al.* (1986) cm/s

$$K_s = 2,778 \cdot 10^{-5} \exp(x) \quad (3.8)$$

$$x = 12,012 - 7,55 \cdot 10^{-2}(S) + (-3,895 + 3,671 \cdot 10^{-2}(S) - 0,1103(C) + 8,7546 \cdot 10^{-4}(C^2))/\theta_s \quad (3.9)$$

Burada  $\theta_s$ , doymun su içeriği.

5- Brakensiek *et al.* (1984) cm/s

$$K_s = 2,778 \cdot 10^{-5} \exp(x) \quad (3.10)$$

Burada  $x$ ,

$$x = 19,52348(\theta_s) - 8,96847 - 0,028212(C) + 1,8107 \cdot 10^{-4}(S^2) - 9,4125 \cdot 10^{-3}(C^2) - 8,395215(\theta_s^2) + 0,077718(S)(\theta_s) - 0,00298(S^2)(\theta_s^2) - 0,019492(C^2)(\theta_s^2) + 1,73 \cdot 10^{-5}(S^2)(C) + 0,02733(C^2)(\theta_s) + 0,001434(S^2)(\theta_s) - 3,5 \cdot 10^{-6}(C)(S) \quad (3.11)$$

6-Campbell and Shiozawa (1994): cm/s

$$K_s = 1,5 \times 10^{-3} \exp(-0,07 S - 0,167C) \quad (3.12)$$

7-Dane and Puckett (1994)

$$K_s = 303,84 \exp(-0,144C) \quad (3.13)$$

8-Gülser ve Candemir (2015)

$$K_s = -8,8 - 0,272 C + 0,245 Si + 22,2 BD + 0,0028 C^2 - 0,00165 Si^2 - 10,7 BD^2 \quad R^2: 0,868 \quad (3.14)$$

### 3.2.11.1. Pedotransfer fonksiyonların değerlendirme kriterleri

Araştırmada doymun hidrolik iletkenliğin tahminlenmesinde literatürden seçilen pedotransfer fonksiyonların uygunluk performansını değerlendirmek için üç kriter esas alınmıştır. Bu kriterler, (i) ortalama nispi hata (MRE), (ii) kök ortalama kare hatası (RMSE) ve (iii) belirleme katsayısı ( $R^2$ ) (Yao *et al.* 2015).

$$MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - Y_i)}{Y_i} \quad (3.15)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2} \quad (3.16)$$

$$RE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})(X_i - \bar{X})}{[\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2]^{0,5} [\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2]^{0,5}} \right]^2 \quad (3.17)$$

Burada;

$n$  gözlem sayısıdır,

$X_i$  ve  $Y_i$ , tahmin edilen ve ölçülen değerler ( $i = 1, 2, \dots, n$ )

$\bar{X}$  ve  $\bar{Y}$ , tahmin edilen ve ölçülen değerlerin ortalamaları

Kriterlerin uygunluğu için parametrelerden; RMSE, mümkün olduğu kadar düşük, MRE 0'a yakın ve  $R^2$  1'e yakın olmalıdır.

### 3.2.12. İstatistiksel değerlendirmeler

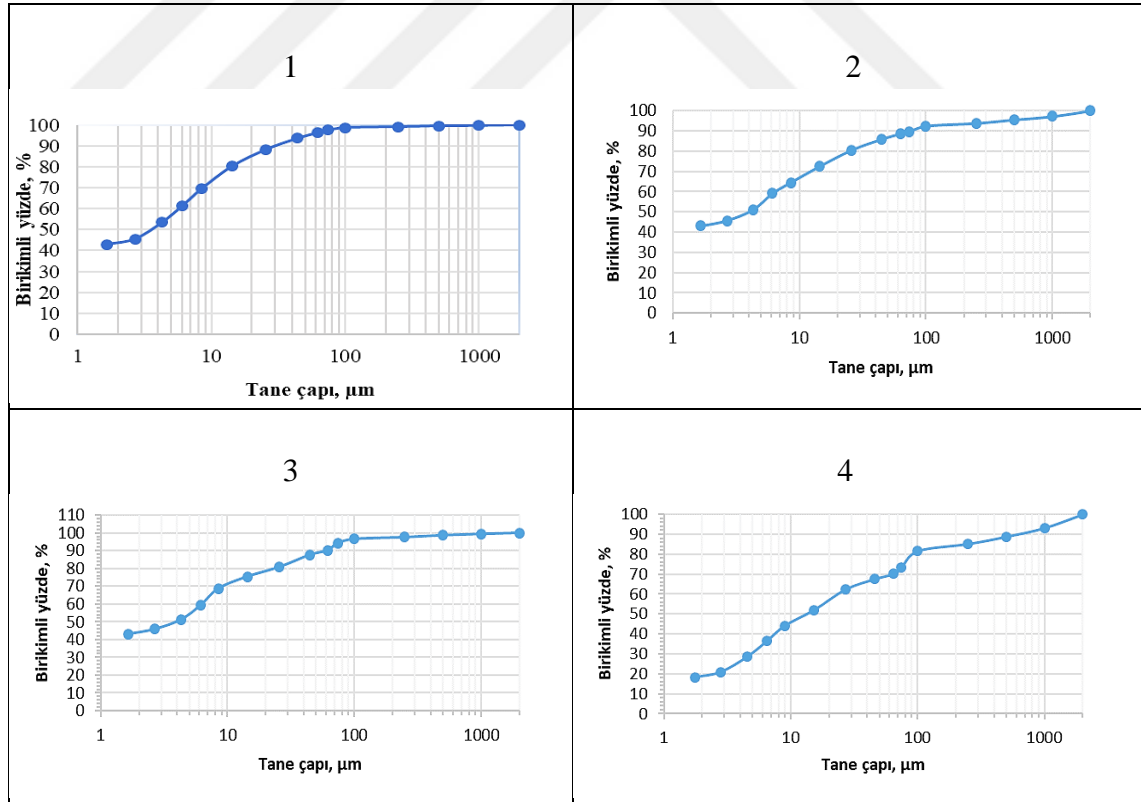
Toprak örneklerinin bağımlı bağımsız değişkenler arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesinde, Statistica paket programı kullanılarak korelasyon ve regresyon analizleri uygulanmıştır (Dowdy and Weardin 1983).

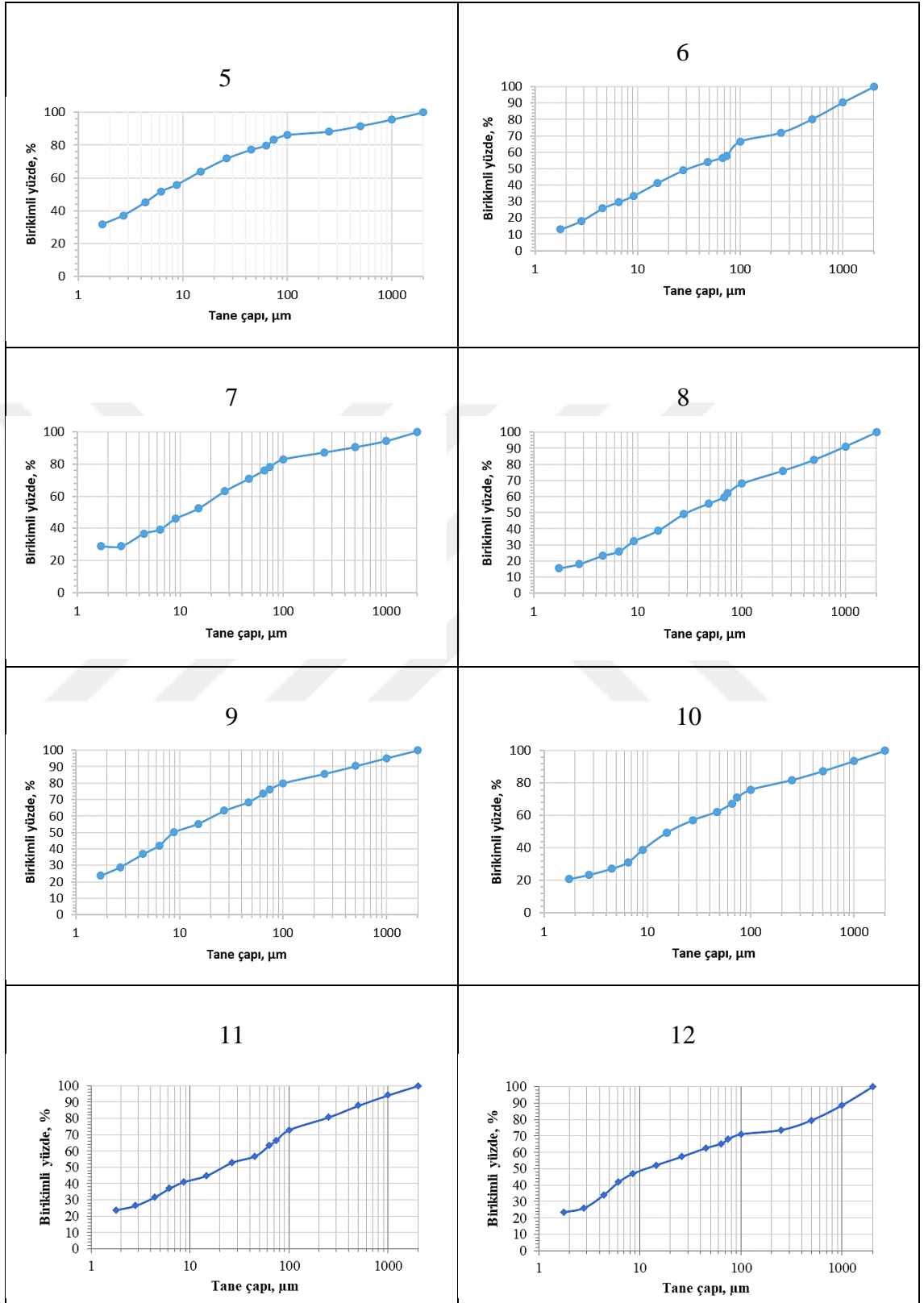
## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

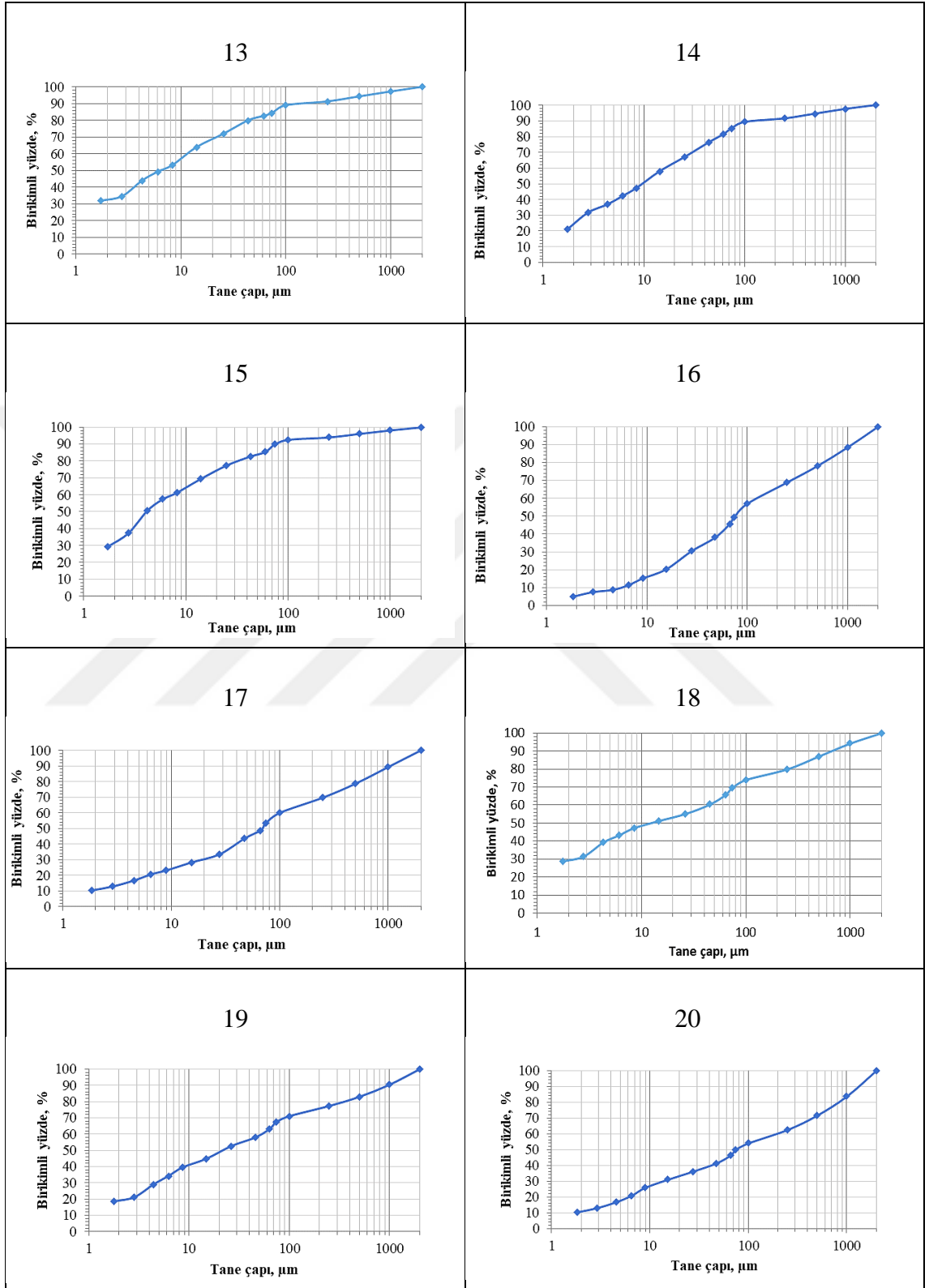
### 4.1. Toprakların Pedolojik Özellikleri

#### 4.1.1. Toprak tane büyüklük dağılımı

Araştırma konusu toprak örneklerinin Day hidrometre yöntemi ile yapılan analiz sonuçlarına ait tane büyüklük dağılımı eğrileri Şekil 4.1’ de verilmiştir. Bu eğrilerden elde edilen kil, silt ve kum fraksiyonlarına ait değerler ile eleme yöntemi ile bulunan kumun alt fraksiyon değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Toprak örneklerinin tekstür sınıfları, Çizelge 4.1’ de verilen ana fraksiyon değerlerinin tekstür üçgeni üzerindeki konumlarından belirlenmiştir (Şekil 4.2).



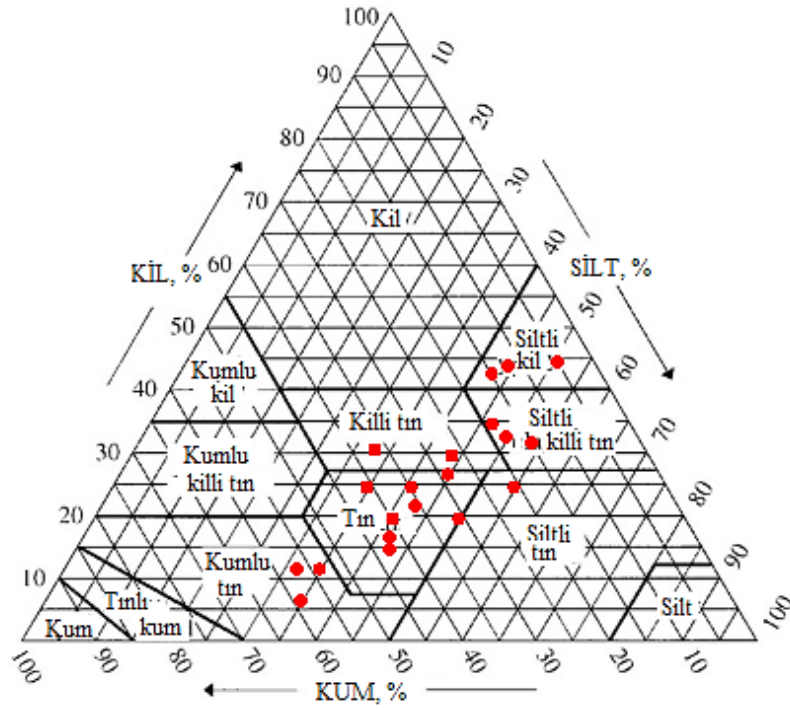




Şekil 4.1. Toprak örneklerinin tane büyüklük dağılımı eğrileri

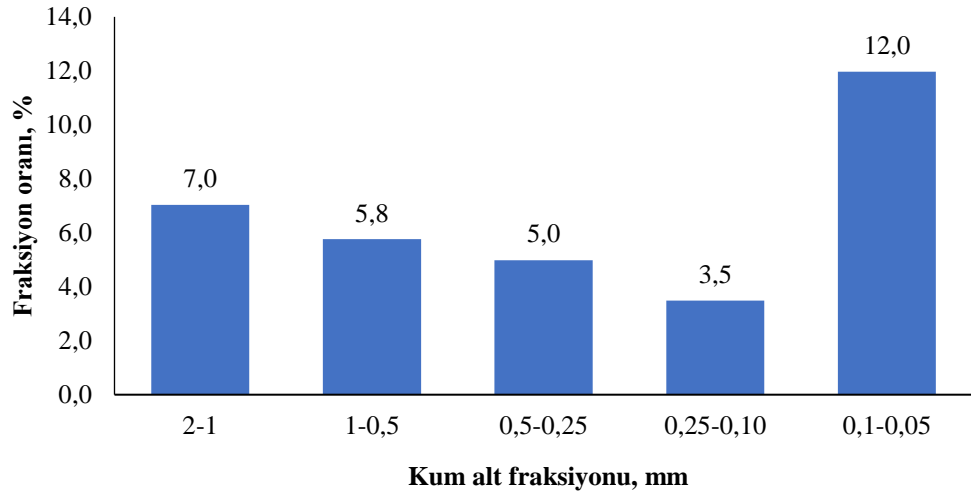
**Çizelge 4.1.** Araştırma konusu toprak örneklerinin bazı pedolojik özelliklerine ait değerler

Toprak no	Kil, %	Silt, %	Kum, %	Kum fraksiyonu, %					Tekstür sınıfı	Tane yoğunluğu, g/cm <sup>3</sup>	Organik madde, %	pH	Kireç, %
				S1	S2	S3	S4	S5					
1	44	50	6	0,3	0,2	0,4	0,4	4,7	SiC	2,61	10,1	5,58	1,1
2	43	44	13	2,9	1,6	1,7	1,4	5,4	SiC	2,71	8,1	5,96	1,1
3	42	42	16	0,6	0,7	1,1	1,0	12,6	SiC	2,80	5,6	6,4	0,9
4	19	49	32	6,8	4,3	3,6	3,6	13,6	L	2,54	5,4	5,78	2,1
5	34	46	20	4,4	3,9	3,4	2,1	6,2	SiCL	2,74	3,8	6,94	3,5
6	14	42	44	9,6	10,2	8,2	5,4	10,7	L	2,66	2,0	6,7	2,0
7	29	43	28	5,5	3,8	3,3	3,2	12,2	CL	2,73	1,2	6,67	1,0
8	16	41	43	8,9	8,3	6,8	4,8	14,3	L	2,67	3,5	6,99	2,4
9	26	44	30	4,7	4,9	4,7	3,4	12,3	L	2,71	2,7	7,17	6,9
10	21	42	37	6,3	6,3	5,5	3,8	15,2	L	2,62	3,0	6,94	2,0
11	24	34	42	5,7	6,4	7,1	4,7	18,0	L	2,73	2,0	7,19	27,1
12	24	46	36	11,2	9,2	5,9	2,6	7,0	L	2,67	6,2	6,86	2,2
13	32	49	19	2,8	2,9	3,0	2,3	8,0	SiCL	2,66	4,0	6,89	2,3
14	24	54	22	2,4	3,0	3,0	2,3	11,3	SiL	2,51	6,4	6,5	2,8
15	31	53	16	14,8	1,8	2,1	2,1	4,2	SiCL	2,69	2,1	7,04	4,0
16	6	34	60	11,5	10,4	9,2	7,0	22,0	SL	2,61	2,4	6,87	1,3
17	11	34	55	10,6	10,6	9,0	6,1	18,6	SL	2,62	2,5	6,9	3,0
18	30	32	38	5,8	7,2	7,1	4,5	13,4	CL	2,68	2,4	7,16	15,2
19	19	40	41	9,6	7,5	5,6	3,7	14,7	L	2,63	1,9	7,15	20,8
20	11	31	58	16,3	12,1	9,1	5,5	15,0	SL	2,63	1,7	7,06	2,0

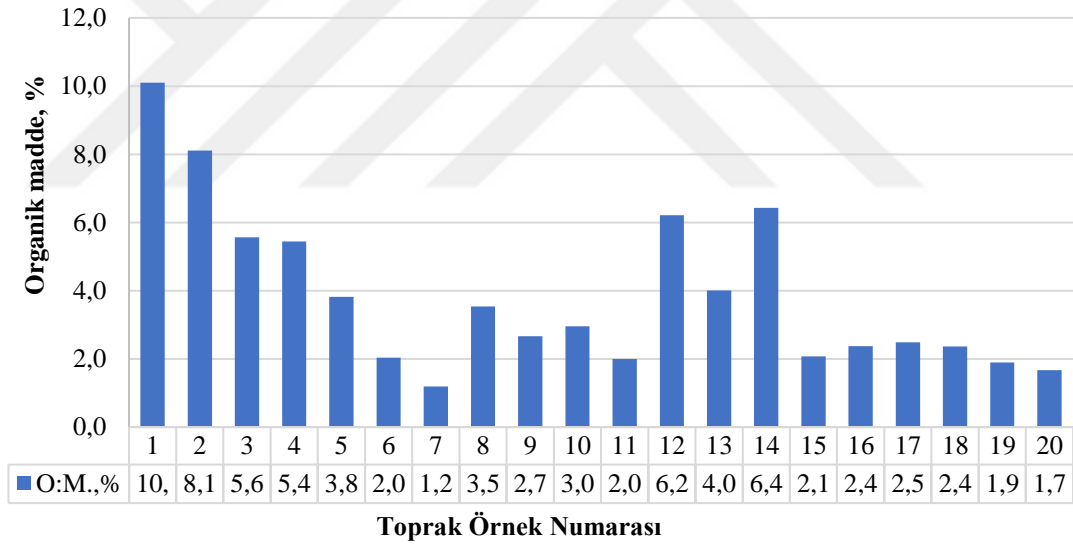


**Şekil 4.2.** Araştırma konusu toprak örneklerinin tekstür üçgeni üzerindeki konumları

Çizelge 4.1’den görüleceği gibi, araştırma materyali 20 toprak örneğinin, kil içeriği %6 - %44; kum içeriği %6-%60 arasındadır. Buna göre, toprak örneklerinden 3’ü siltli kil (SiC), 3’ü siltli killi tın (SiCL), 2’si killi tın (CL), 1’i siltli tın (SiL), 8’i tın (L) ve 3’ü de kumlu tın (SL) tekstür sınıfında olup, toprak örneklerinin 8’i ince bünyeli ve 12’si orta bünyeli sınıfında yer almıştır (Şekil 4.2). Kumun alt fraksiyonlarından; çok kaba kum % 0,27 ile %16,3; kaba kum %0,2 ile %12,1; orta kum %0,4 ile %9,2; ince kum %0,4 ile %7 ve çok ince kum %4,2 ile %22 arasında değişmiştir. Toprak örneklerinin kum alt fraksiyonlarının ortalama değerleri bakımından çok ince kum en yüksek değere sahip olurken, bunu sırasıyla çok kaba kum, kaba kum, orta kum ve ince kum fraksiyonları izlemiştir (Şekil 4.3.). Toprak örneklerin organik madde içeriği ortalama %3,8 olup, 7 nolu toprakta en düşük (%1,19) ve 10 nolu toprakta en yüksek (%10,10) bulunmuştur (Şekil 4.4). Örneklerin reaksiyonu (pH) 5,58- 7,17 ve kireç içeriği de %0,86-%27,06 arasındadır. Bu verilere göre, genel olarak toprak örneklerinin organik madde içeriği bakımından “orta”, reaksiyonları bakımından “hafif alkalin” sınıfında yer aldıkları ifade edilebilir.



Şekil 4.3. Araştırma konusu toprak örneklerinin kum alt fraksiyonları dağılımı



Şekil 4.4. Araştırma konusu toprak örneklerinin organik madde içeriği

#### 4.2. Toprak Nem Parametreleri ile Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkiler

Araştırma konusu toprakların nem karakteristiklerinden; tarla kapasitesi ve devamlı solma noktası ile Atterberg limitlerinden; likit ve plastik limit nem içerikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Çizelge 4.2’den görüleceği gibi, nem parametrelerinden tarla kapasitesi %18,8 ile %46,4; devamlı solma noktası %8,9 ile %28,5; likit limit % 28,4 ile % 71,2; plastik limit % 16,3 ile % 40,2 arasında değişmiştir. Nem parametreleri

bakımından en düşük değerler % 6 kil içeren 16 nolu örnekte ve en yüksek değerler %44 kil içeren 1 nolu örnekte tespit edilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Araştırmada kullanılan toprak örneklerinin bazı nem karakteristik değerleri

Toprak no	Tarla kapasitesi, %	Devamlı solma noktası, %	Likit limit, %	Plastik limit, %
1	46,4	28,5	71,2	40,2
2	43,6	27,2	64,0	35,3
3	44,5	25,7	66,0	35,7
4	32,9	19,8	45,5	32,0
5	36,5	23,2	54,5	30,8
6	26,2	17,6	40,1	23,8
7	31,0	17,1	45,3	27,8
8	25,0	13,2	43,7	23,6
9	37,1	17,6	47,7	28,9
10	36,5	17,8	45,1	27,9
11	35,4	20,9	38,6	26,9
12	40,4	21,9	45,0	32,2
13	39,8	27,6	56,0	32,4
14	37,8	25,1	46,4	35,1
15	41,3	20,6	54,9	32,1
16	18,8	8,9	28,4	16,3
17	24,9	14,8	31,5	19,9
18	35,6	18,0	39,9	31,7
19	30,5	17,8	40,9	26,1
20	22,0	13,6	30,5	21,9

Araştırmada, bağımlı değişken olarak toprak nem parametreleri (tarla kapasitesi, devamlı solma noktası; likit limit ve plastik limit) ile bağımsız değişken olarak seçilen bazı pedolojik özelliklere (kil, silt, kum ve organik madde) ait veriler üzerine basit ve çoklu lineer regresyon analizleri uygulanmış ve analiz sonuçları Çizelge 4.3.'de verilmiştir.

**Çizelge 4.3.** Araştırma konusu toprakların nem parametreleri ile kil, silt, kum ve organik madde arasındaki ilişkiler.

Bağımsız değişken	Basit lineer regresyon			Çoklu lineer regresyon		
	a	b	R <sup>2</sup>	a	b	R <sup>2</sup>
Bağımlı değişken: Tarla kapasitesi (TK)						
C	18,049	0,650	0,824**		1,585	
Si	4,049	0,712	0,390**	-91,301	1,241	0,898**
S	49,256	-0,455	0,812**		1,008	
OM	26,214	2,107	0,423**		0,039	
Bağımlı değişken: Devamlı solma noktası (DSN)						
C	9,498	0,414	0,730**		0,399	
Si	-1,410	0,500	0,421**	-7,335	0,279	0,832**
S	29,745	-0,302	0,777**		0,104	
OM	13,755	1,586	0,523**		0,498	
Bağımlı değişken: Likit limit (LL)						
C	22,108	0,986	0,858**		-0,069	
Si	-1,132	1,127	0,443**	88,731	-0,409	0,940**
S	70,176	-0,714	0,906**		-0,806	
OM	33,482	3,451	0,515**		0,926	
Bağımlı değişken: Plastik limit (PL)						
C	16,925	0,485	0,786**		0,633	
Si	3,639	0,598	0,472**	-19,489	0,509	0,900**
S	40,669	-0,354	0,844**		0,282	
OM	22,021	1,826	0,546**		0,478	

\*\*p<0,01

Basit lineer regresyon analizinde tarla kapasitesini en fazla etkileyen değişkenler sırasıyla kil (R<sup>2</sup>: 0,824), kum (R<sup>2</sup>: 0,812), organik madde (R<sup>2</sup>: 0,423) ve silt (R<sup>2</sup>: 0,390) içeriği olmuştur. Devamlı solma noktası ile bağımsız değişkenler arasındaki basit lineer regresyon analizinde söz konusu nem parametresini etkileyen değişken, kum içeriği (R<sup>2</sup>: 0,777) olup bunu sırasıyla kil (R<sup>2</sup>: 0,730), organik madde (R<sup>2</sup>: 0,523) ve silt (R<sup>2</sup>: 0,421) içeriği izlemiştir. Analizde kullanılan bağımsız değişkenlerden kil, silt ve organik madde pozitif,

kum içeriği negatif olarak tarla kapasitesi ve devamlı solma noktası arasında %1 düzeyinde önemli ilişkiler ortaya koymuştur. (Çizelge 4.3)

Araştırma konusu toprak örnekleri üzerinde bağımsız değişkenler ile likit ve plastik limit değerleri arasında yapılan basit lineer regresyon analizinde, önemli ilişkiler belirlenmiştir (Çizelge 4.3). Her iki limit değerini de bağımsız değişkenler içerisinde kum fraksiyonu diğer değişkenlerden daha yüksek düzeyde negatif olarak etkilemiş, likit ve plastik limit için bu değerler ( $R^2$ ) sırasıyla: 0,906 ve 0,844 olarak bulunmuştur. Kil içeriği, likit limiti plastik limite göre daha yüksek oranda ( $R^2$ ; 0,858>0,786) etkilemiştir. Ancak, silt ve organik madde içeriği plastik limiti likit limite göre daha yüksek seviyede etkilemiş, silt içeriği bakımından regresyon katsayısı sırasıyla 0,472>0,443 ve organik madde içeriği bakımından da sırasıyla 0,546>0,515 olarak belirlenmiştir. Farklı araştırmacılar tarafından ifade edildiği gibi kil, toprakların plastikliğine en büyük katkıyı yapan bir fraksiyondur (Demiralay ve Güresinli 1979; De Jong *et al.* 1990).

Çoklu regresyon analiz sonuçlarına göre, kum, silt, kil fraksiyonları ile organik madde içeriğinin, nem parametreleri üzerine olan etkileri değerlendirildiğinde, nem parametrelerinden tarla kapasitesi, devamlı solma noktası, likit limit ve plastik limitin regresyon katsayıları sırasıyla 0,898, 0,832, 0,940 ve 0,900 olarak bulunmuştur. (Çizelge 4.3.). Bu sonuçlara göre, çoklu regresyon analizi sonuçlarından elde edilen regresyon katsayılarının, basit lineer regresyon analizi sonuçlarından daha yüksek değerler ortaya koyduğu belirlenmiştir.

Kumun alt fraksiyonlarının (2-1 mm; 1-0,5 mm; 0,5-0,25 mm; 0,25-0,10 mm ve 0,10-0,050 mm ) bağımsız değişken olarak yer aldığı regresyon analizinde nem parametreleri ile olan ilişkilerin değerlendirildiği basit ve çoklu lineer regresyon çalışmasında basit lineer regresyon katsayılarının çoklu regresyon değerlerinden daha düşük olduğu kaydedilmiştir. Basit lineer regresyon analizinde ince kum fraksiyonunun (0,25-0,10 mm) diğer fraksiyonlardan daha yüksek seviyede tarla kapasitesi ( $R^2$ : 0,847), devamlı solma noktası ( $R^2$ : 0,798), likit limit ( $R^2$ : 0,885) ve plastik limit ( $R^2$ : 0,875) nem parametreleri üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.4).

Kum alt fraksiyonlarının toprak nem parametreleri üzerine birlikte olan etkilerinin değerlendirildiği çoklu lineer regresyon analizinde, tarla kapasitesi, devamlı solma noktası, likit limit ve plastik limit regresyon katsayısı değerlerinin sırasıyla 0,935; 0,879; 0,918 ve 0,904 olduğu bu değerlerinde diğer basit lineer regresyon analizi sonuçlarına göre daha yüksek olduğu kaydedilmiştir (Çizelge 4.4).

**Çizelge 4.4.** Araştırma konusu toprakların nem parametreleri ile kum fraksiyonları arasındaki ilişkiler

Bağımsız değişken	Basit lineer regresyon			Çoklu lineer regresyon		
	a	b	R <sup>2</sup>	a	b	R <sup>2</sup>
Bağımlı değişken: Tarla kapasitesi (TK)						
S1	42,245	-1,126	0,415**		0,136	
S2	44,834	-1,826	0,711**		-3,026	
S3	46,205	-2,384	0,722**	47,941	6,018	0,935**
S4	48,539	-4,072	0,847**		-7,917	
S5	48,312	-1,169	0,538**		0,041	
Bağımlı değişken: Devamlı solma noktası (DSN)						
S1	25,744	-0,837	0,501**		-0,329	
S2	26,628	-1,176	0,644**		-0,889	
S3	27,639	-1,561	0,676**	30,746	2,274	0,879**
S4	29,192	-2,673	0,798**		-3,379	
S5	29,443	-0,801	0,552**		-0,250	
Bağımlı değişken: Likit limit (LL)						
S1	59,280	-1,779	0,470**		-0,467	
S2	63,408	-2,891	0,808**		-0,473	
S3	66,091	-3,877	0,866**	70,706	-0,772	0,918**
S4	68,331	-6,178	0,885**		-2,176	
S5	68,802	-1,842	0,606**		-0,542	
Bağımlı değişken: Plastik limit (PL)						
S1	35,419	-0,905	0,461**		-0,166	
S2	37,167	-1,410	0,728**		-0,887	
S3	38,462	-1,888	0,777**	40,816	1,832	0,904**
S4	40,075	-3,158	0,875**		-3,720	
S5	40,147	-0,927	0,581**		-0,137	

\*\*p<0,01

Kum alt fraksiyonları ile birlikte kil, silt ve organik maddenin birlikte toprak nem parametreleri üzerine olan etkilerinin değerlendirildiği çoklu lineer regresyon analizinde, tarla kapasitesi, devamlı solma noktası, likit limit ve plastik limit regresyon katsayılarının sırasıyla 0,961; 0,905; 0,944 ve 0,923 olduğu bu değerlerinde diğer basit ve çoklu lineer regresyon analizi sonuçlarına göre daha yüksek olduğu kaydedilmiştir (Çizelge 4.5).

**Çizelge 4.5.** Araştırma konusu toprakların nem parametreleri ile kil, silt, kum alt fraksiyonları ve organik madde arasındaki ilişkiler

Bağımlı değişken	Bağımsız değişken									R <sup>2</sup>
	a	b								
		C	Si	S1	S2	S3	S4	S5	OM	
TK	-62,59	1,105	1,049	0,600	-1,013	5,548	-4,753	1,191	0,260	0,961**
DSN	64,47	-0,470	-0,277	-0,375	-2,475	3,944	-5,218	-0,596	0,387	0,905**
LL	60,43	0,308	-0,177	-0,191	0,334	-2,865	0,895	-0,507	0,735	0,944**
PL	25,32	0,080	0,146	0,000	-1,259	2,660	-3,591	0,019	0,474	0,923**

\*\*p<0,01

Araştırmanın sonuçlarına benzer olarak, Canbolat ve Öztaş (1997) kil içeriği, organik madde miktarı, kireç içeriği, katyon değişim kapasitesi ile likit limit ve plastik limit arasında önemli pozitif ve kum içeriği ile önemli negatif ilişkiler tespit etmişlerdir. Farklı bir araştırmada, toprak örneklerinin kıvam limitleri, şişme ve büzülme karakteristikleri ile pedolojik özelliklerden, kum, silt ve kireç içeriği arasında negatif, kil içeriği ve katyon değişim kapasitesi arasında da pozitif ilişkiler olduğu saptanmıştır (Canbolat vd 1999). Sönmez ve Öztaş (1988), toprakların kil içeriği ve katyon değişim kapasitesi ile likit limit, plastik limit, doğrusal uzama katsayısı, yüzde büzülme, büzülme oranı, hacimsel büzülme ve doğrusal büzülme, değerleri arasında önemli pozitif, büzülme sınırı değerleri ile önemli negatif ilişkiler saptamışlardır. Yakupoğlu ve Özdemir (2006) toprağa organik materyal ilavesinin toprakların likit limit (LL) ve plastik limit (PL) değerlerini önemli ölçüde artırdığı, söz konusu etkinin, uygulama dozu ve organik materyalin çeşidine bağlı olarak değiştiğini belirlemişlerdir.

### 4.3. Kütle yoğunluğu ile toprak özellikleri arasındaki ilişkiler

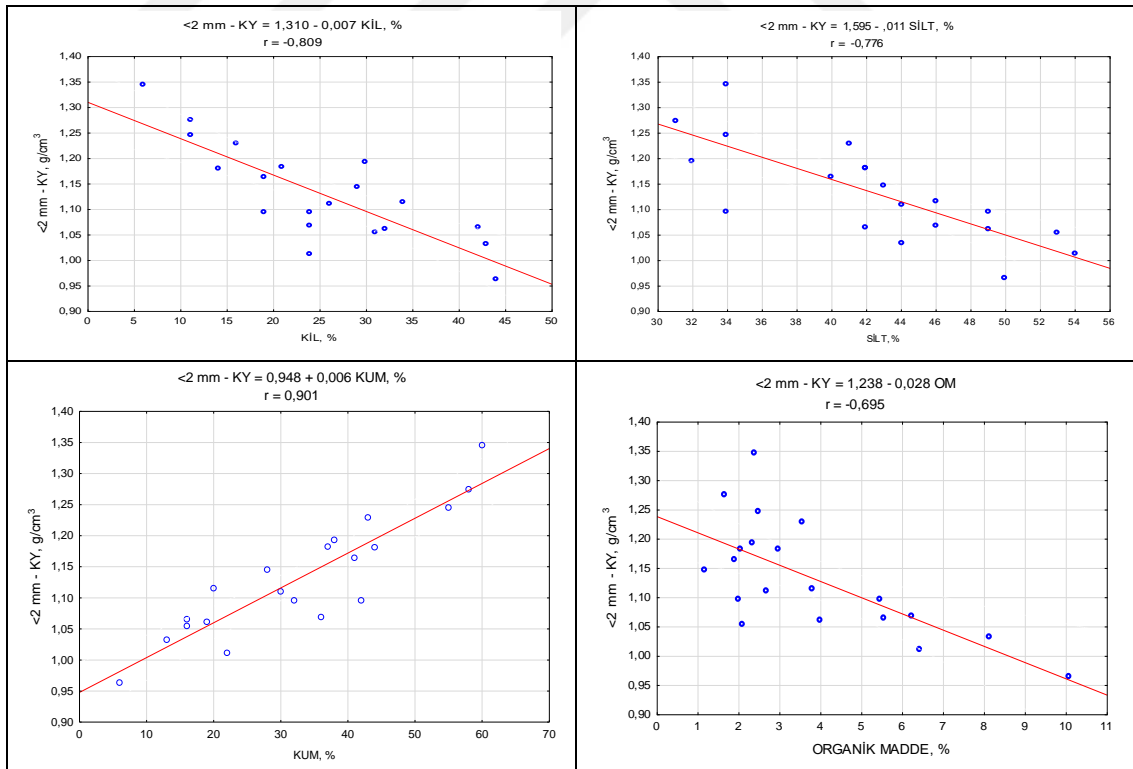
Toprak örneklerinin <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarında belirlenen kütle yoğunluğu değerleri Çizelge 4.6'de verilmiştir. Çizelge 4.6'den görüleceği gibi, araştırma konusu topraklar içerisinde en düşük kütle yoğunluğu 1 nolu toprağın <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarında sırasıyla 0,96; 0,83 ve 0,91 g/cm<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. En yüksek kütle yoğunluğu değerleri ise 16 nolu toprağın <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarında sırasıyla 1,35; 1,27 ve 1,34 g/cm<sup>3</sup> olarak kaydedilmiştir.

**Çizelge 4.6.** Araştırmada kullanılan toprak örneklerinin <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarının kütle değerleri

Toprak no	Kütle yoğunluğu, g/cm <sup>3</sup>		
	<2 mm	2-1 mm	<1 mm
1	0,96	0,83	0,91
2	1,03	0,89	1,00
3	1,07	0,94	1,04
4	1,10	1,00	0,94
5	1,12	0,94	1,06
6	1,18	1,02	1,10
7	1,15	0,97	1,06
8	1,23	1,08	1,13
9	1,11	0,95	1,04
10	1,18	1,00	1,10
11	1,10	0,88	0,97
12	1,07	0,91	1,02
13	1,06	0,92	1,00
14	1,01	0,88	0,95
15	1,05	0,94	1,04
16	1,35	1,27	1,34
17	1,24	1,08	1,20
18	1,19	0,99	1,11
19	1,16	0,99	1,10
20	1,27	1,13	1,19

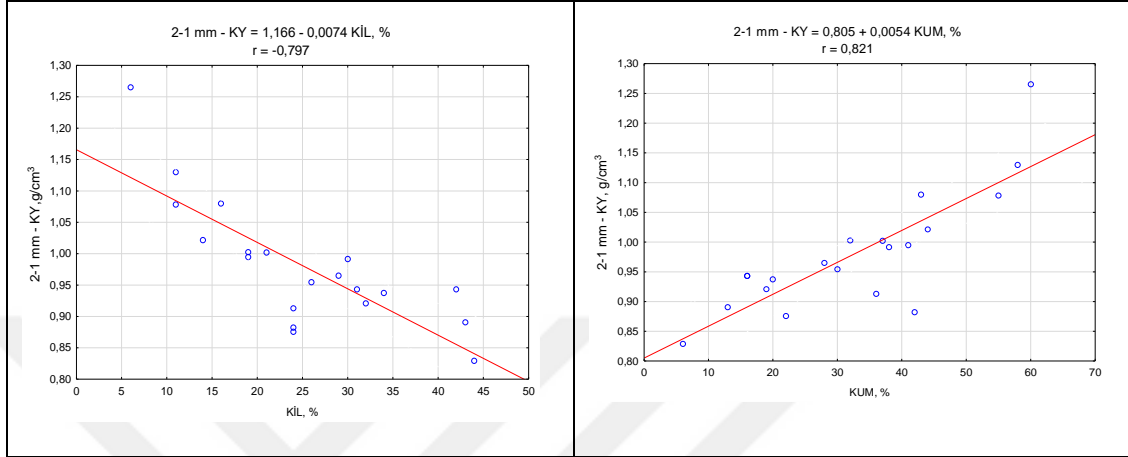
Toprak özelliklerinden tane büyüklük dağılımı (kil silt ve kum) ve organik madde içeriği ile <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarının kütle yoğunluğu değerleri arasındaki

ilişkiler regresyon analizleri ile belirlenmiştir. Regresyon analizlerinde, kum, silt, kil fraksiyonları ile organik madde bağımsız değişken, kütle yoğunluğu bağımlı değişken olarak seçilmiş, değişkenlere ait basit lineer regresyon ve çoklu regresyon analiz sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir. Çizelge 4.6'dan görüleceği gibi basit lineer regresyon analizinde <2 mm fraksiyonunda belirlenen kütle yoğunluğu ile bağımsız değişkenlerden kil ( $R^2$ : 0,654), silt ( $R^2$ : 0,602), kum ( $R^2$ : 0,812) ve organik madde ( $R^2$ : 0,483) içeriği arasında %1 seviyesinde önemli ilişkiler kaydedilmiştir. Kum içeriğinin toprak kütle yoğunluğu üzerindeki etkisinin diğer toprak özelliklerinden daha yüksek olduğu bulunmuştur. İnce bünyeli topraklar, kaba bünyeli topraklardan daha düşük kütle yoğunluklarına ve daha yüksek gözenekliliğe sahip olma eğilimindedir. Kütle yoğunluğunun yüksek derecede pozitif korelasyonu toprak örneklerinin kum içeriği ile ( $r = 0.901$ ), önemli derecede negatif korelasyonu ise kil içeriği ( $r = -0.809$ ), silt içeriği ( $r = -0.776$ ) ve organik madde içeriği ( $r = -0,695$ ) ile tespit edilmiştir (Şekil 4.5).



**Şekil 4.5.** Bağımsız değişkenlerden kil, silt kum ve organik madde içeriği ile < 2 mm fraksiyonun kütle yoğunluğu arasındaki ilişki

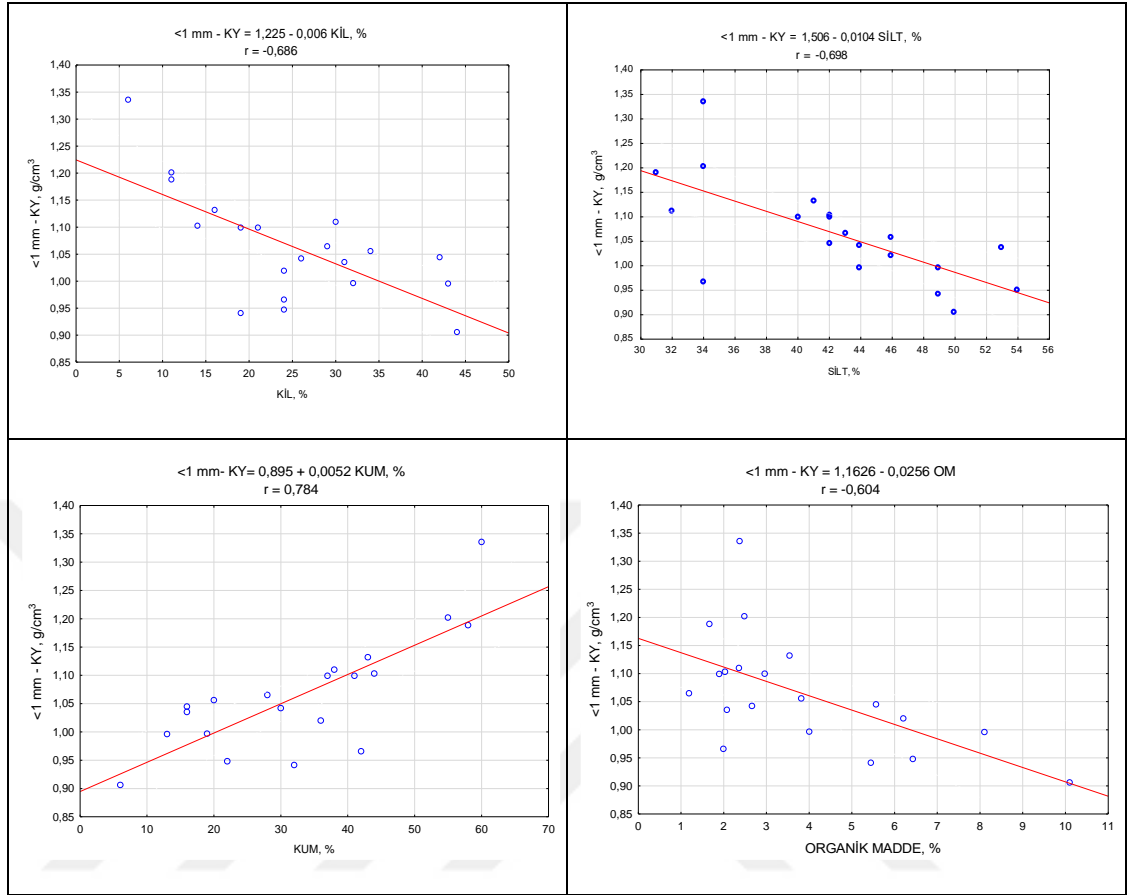
2-1 mm fraksiyonunda belirlenen kütle yoğunluğu değerleri ile kil ( $R^2$ : 0,635), silt ( $R^2$ : 0,379), kum ( $R^2$ : 0,674) ve organik madde ( $R^2$ : 0,305) içeriği arasında %1 seviyesinde ilişkiler belirlenmiştir (Çizelge 4.6; Şekil 4.6).



**Şekil 4.6.** Bağımsız değişkenlerden kil ve kum içeriği ile < 2-1 mm fraksiyonun kütle yoğunluğu arasındaki ilişki

Çizelge 4.6'de verilen bağımsız değişkenlerle <1 mm fraksiyonu üzerinde belirlenen kütle yoğunluğu arasında, kil ( $R^2$ : 0,470), silt ( $R^2$ : 0,487) ve kum ( $R^2$ : 0,615) içeriği arasında %1 seviyesinde, organik madde içeriği ( $R^2$ : 0,365) ile de %5 seviyesinde önemli ilişkiler göstermiştir. Kil ve organik madde negatif, kum içeriği pozitif bir ilişki sergilemiştir (Şekil 4.7).

Toprakta kum içeriğinin artması, kütle yoğunluğunun da yükselmesine yol açar. Ancak, yüksek kil ve kil artı silt, kütle yoğunluğunun azalmasına neden olur (Jones 1983; Reichert *et al.* 2008; Keller and Håkansson 2010).



**Şekil 4.7.** Bağımsız değişkenlerden kil ve kum içeriği ile < 1 mm fraksiyonun kütle yoğunluğu arasındaki ilişki

Her üç fraksiyonda da bağımsız değişkenler içerisinde kum içeriği diğer değişkenlerden daha yüksek önemli pozitif ilişkiler ortaya koymuş, bu ilişkilerde kütle yoğunluğunu etkileme seviyesi <2 mm fraksiyonda en yüksek ( $R^2$ ; 0,812) olup bunu 2-1 mm ( $R^2$ ; 0,674) ve <1 mm ( $R^2$ ; 0,615) fraksiyonları izlemiştir.

Kum, silt, kil fraksiyonları ile organik madde bağımsız değişken, kütle yoğunluğunun bağımlı değişkenler olarak yer aldığı çoklu regresyon analiz sonuçlarına göre, bağımlı değişkenlerin etkilenme oranlarının lineer regresyon analizi sonuçlarına göre daha yüksek değerler ortaya koyduğu belirlenmiştir. Bu duruma göre en yüksek regresyon katsayısı değeri <2 mm fraksiyonunda (0,864) olup, bunu 2-1 mm (0,724) ve <1 mm (0,654) fraksiyonları izlemiştir (Çizelge 4.7).

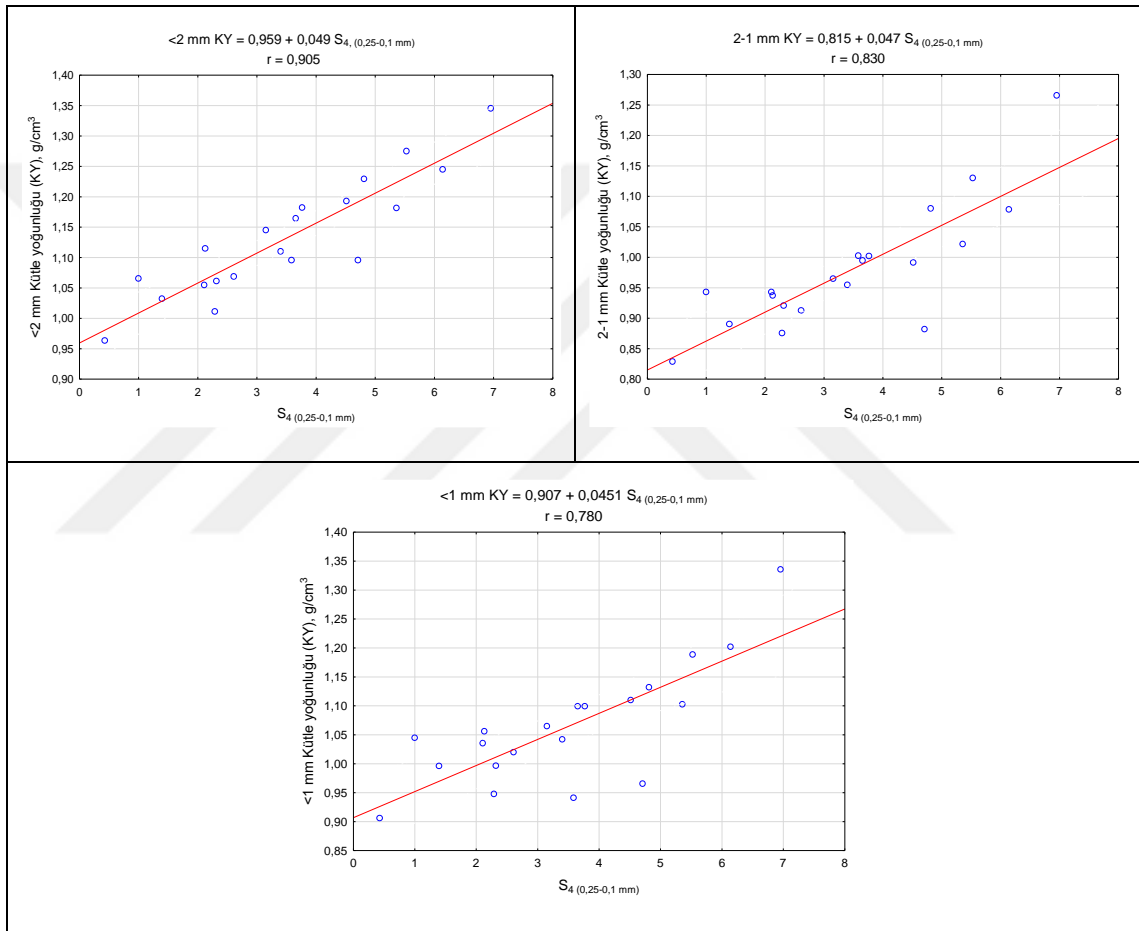
**Çizelge 4.7.** Toprak örneklerinin <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarının kütle yoğunluğu değerleri ile kil, silt, kum ve organik madde arasındaki ilişkiler.

Bağımsız değişken	Basit lineer regresyon			Çoklu lineer regresyon		
	a	b	R <sup>2</sup>	a	b	R <sup>2</sup>
Bağımlı değişken: Kütle yoğunluğu (<2 mm)						
C	1,310	-0,007	0,654**		-0,011	
Si	1,595	-0,011	0,602**	2,134	-0,012	0,864**
S	0,948	0,006	0,812**		-0,006	
OM	1,238	-0,028	0,483**		-0,005	
Bağımlı değişken: Kütle yoğunluğu (2-1 mm)						
C	1,166	-0,007	0,635**		-0,018	
Si	1,367	-0,009	0,379*	2,465	-0,016	0,724**
S	0,805	0,005	0,674**		-0,011	
OM	1,070	-0,023	0,305*		0,003	
Bağımlı değişken: Kütle yoğunluğu (<1 mm)						
C	1,225	-0,006	0,470**		-0,006	
Si	1,506	-0,010	0,487**	1,694	-0,009	0,654**
S	0,895	0,005	0,615**		-0,002	
OM	1,163	-0,026	0,365**		-0,005	

\*\* : p<0,01; \* : p<0,05

Kum alt fraksiyonlarının, kütle yoğunluğu ile olan ilişkilerinin değerlendirildiği basit lineer regresyon analizinde toprak örneklerinin <2 mm , 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonunda ölçülen kütle yoğunluğu, kaba kum fraksiyonundan ince kum fraksiyonuna doğru artan bir ilişki ortaya koymuş, çok ince kum fraksiyonunu da bu ilişkinin etkinliği azalmıştır. İnce kum fraksiyonu; <2 mm , 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonunda ölçülen kütle yoğunluğu ile sırası ile 0,819, 0,690 ve 0,609 regresyon katsayılarını vermiştir. Bu katsayılara göre, <2 mm toprak fraksiyonunda ince kum fraksiyonunun kütle yoğunluğu üzerindeki etkisi diğerlerine göre daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.8; Şekil 4.8).

Kum fraksiyonlarının bağımsız değişken, kütle yoğunluğu bağımlı değişkenler olarak yer aldığı çoklu regresyon analiz sonuçlarına göre, her üç fraksiyon için de basit lineer regresyon analizi sonuçlarına göre daha yüksek regresyon katsayıları kaydedilmiştir. Bu duruma göre en yüksek regresyon katsayısı değeri <2 mm fraksiyonunda (0,849) olup, bunu 2-1 mm (0,819) ve <1 mm (0,652) fraksiyonları izlemiştir (Çizelge 4.8).



**Şekil 4.8.** Araştırma konusu toprakların <2 mm , 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonunda ince kum ile kütle yoğunluğu arasındaki ilişki

**Çizelge 4.8.** Toprak örneklerinin <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarının kütle yoğunluğu değerleri kum alt fraksiyonları arasındaki ilişkiler.

Bağımsız değişken	Basit lineer regresyon			Çoklu lineer regresyon		
	a	b	R <sup>2</sup>	a	b	R <sup>2</sup>
Bağımlı değişken: Kütle yoğunluğu (<2 mm)						
S1	1,037	0,013	0,393**		0,001	
S2	1,003	0,022	0,699**		0,019	
S3	0,984	0,030	0,740**	0,947	-0,032	0,849**
S4	0,960	0,049	0,819**		0,053	
S5	0,953	0,015	0,581**		0,003	
Bağımlı değişken: Kütle yoğunluğu (2-1 mm)						
S1	0,879	0,014	0,410**		0,003	
S2	0,862	0,021	0,548**		0,035	
S3	0,847	0,027	0,552**	0,793	-0,079	0,819**
S4	0,815	0,048	0,690**		0,088	
S5	0,808	0,015	0,495**		0,004	
Bağımlı değişken: Kütle yoğunluğu (<1 mm)						
S1	0,967	0,014	0,370**		0,004	
S2	0,944	0,021	0,544**		0,017	
S3	0,928	0,027	0,559**	0,888	-0,028	0,652**
S4	0,907	0,045	0,609**		0,041	
S5	0,905	0,013	0,411**		0,004	

\*\* : p < 0,01

Bağımsız değişken olarak kum alt fraksiyonların da dahil olduğu tekstürel fraksiyonlarla birlikte organik maddenin, kütle yoğunluğu ile olan ilişkilerinin değerlendirildiği çoklu lineer regresyon analizinde regresyon katsayısı değerlerinin diğer regresyon analizi sonuçlarına göre daha yüksek olduğu kaydedilmiştir. Buna göre <2 mm fraksiyonu için söz konusu ilişkiye ait regresyon katsayısı 0,917 olup, 2-1 mm fraksiyonunda 0,856 ve <1 mm fraksiyonunda da 0,746 olarak regresyon katsayıları bulunmuştur (Çizelge 4.9).

**Çizelge 4.9.** Toprak örneklerinin <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarının kütle yoğunluğu değerleri ile kil, silt, kum alt fraksiyonları ve organik madde arasındaki ilişkiler.

Bağımlı değişken	Bağımsız değişken									
	a	b								R <sup>2</sup>
		C	Si	S1	S2	S3	S4	S5	OM	
KY (<2 mm)	1,226	0,001	-0,005	-0,001	0,038	-0,075	0,080	0,9. 10 <sup>-5</sup>	-0,006	0,917**
KY (2-1 mm)	0,826	0,002	-0,003	0,005	0,046	-0,109	0,120	0,003	0,004	0,856**
KY (<1 mm)	0,165	0,013	0,003	0,007	0,063	-0,093	0,113	0,011	-0,004	0,746*

\*\* : p < 0,01; \* : p < 0,05

Kütle yoğunluğu toprak fiziksel özelliklerinden, toprak fiziksel koşullarından ve arazi kullanımı ve yönetiminden, mikro ve makroorganizma aktivitesinden, bitkisel üretim faaliyetinden etkilenen bir parametredir. Ayrıca kütle yoğunluğu, toprak yönetimi için önemli bir parametre olup, tarım tekniklerinin planlanmasında, toprağın uygulanan faaliyetlere karşı davranışının ortaya konulmasında önemlidir. Toprak organik maddesi besin döngüsünde kilit bir rol oynar ve toprak yapısının iyileştirilmesine yardımcı olabilir (Hillel 1982). Önemli bir organik materyal kaynağı olan bitki artıklarının topraktan uzaklaştırılması mikroorganizmaların enerji kaynağı olan organik maddenin azalmasına ve toprakta besin elementi döngüsünün kesilmesine neden olur. Bu durum hem fiziksel özelliklerin hemde kimyasal özelliklerin olumsuz olarak etkilenmesini sağlar. Toprak fiziksel özelliklerinden kütle yoğunluğu da bu süreçte artan bir eğilim göstererek, başta hidrolik özellikler olmak üzere bitkisel üretim ortamına olumsuz olarak yansiyacak sonuçların gelişmesini yönlendirir.

Toprağın kütle yoğunluğundaki değişikliklere, toprak organik karbon içeriğindeki veya organik madde miktarındaki değişimler sebep olabilir. Bu nedenle, mineral topraktaki kütle yoğunluğu ve organik karbon veya organik madde arasındaki ilişkinin analiz edilmesi önemlidir. Organik ve inorganik toprakların kütle yoğunluğu üzerinde organik

madde içeriğinin önemli katkısı bulunmaktadır. (Alexander 1989; Todd-Brown et al. 2012).

Organik karbonun kütle yoğunluğu ile olan ilişkisinden dolayı kütle yoğunluğunu tahmin etmek için pedotransfer fonksiyonları tarafından yaygın olarak kullanılır (Grüneberg *et al.* 2014). Kütle yoğunluğu, toprağın temel özelliklerinin toprak yönetimindeki etkilerinin belirlenmesinde önemli bir parametre olmasından dolayı doğrudan ölçümle tayini veya pedotransfer fonksiyonlarla tahmininin yapılmasına ihtiyaç duyulan bir toprak fiziksel özelliğidir (Grigal et al.1989; Siltanen et al.1997)

Kütle yoğunluğu, organik karbon ve kil içeriği arasında önemli etkileşimin olduğu Stringer et al. (2016) tarafından vurgulanmış, çalışmalarında kütle yoğunluğu ve organik karbon arasında negatif yönlü güçlü bir lineer bir ilişkinin ( $R^2 = 0.73$ ) kaydedildiği ifade edilmiştir. Benzer sonuçlar Franzluebbbers, 2002; Silveira Neto et al. 2006; Grüneberg *et al.* 2014) tarafından da vurgulanmıştır. Bernoux *et al.* (1998) organik karbon içeriği değerleri ile birlikte toprak tekstürü parametrelerini kullanarak toprak kütle yoğunluğunu tahmin etmişlerdir. Tekstür ve kütle yoğunluğu arasında güçlü bir korelasyon bulmuşlardır.

Tane büyüklüğü dağılımı ile birlikte birçok kaynakta toprak hidrolik iletkenliğinin değerlendirilmesinde en yaygın kullanılan toprak özelliği kütle yoğunluğu olmuştur. Toplam gözeneklilik durumu ile doğru orantılı olan kütle yoğunluğu, toprak permeabilitesi ile ilişki içerisindedir (Yao et al. 2015).

Yapılan araştırmalarda doygun hidrolik iletkenliğin kütle yoğunluğu artışı ile azaldığı bildirilmiştir (Wang et al. 2003). Dec et al. (2008) aynı tekstüre sahip toprakların hidrolik özelliklerinin kütle yoğunluğuna ve toprak strüktürüne bağlı olduğunu vurgulamışlardır. Assouline (2006), kütle yoğunluğuyla ilgili olarak, Kozeny denkleminin, toprakların doymuş hidrolik iletkenliği tahmin etmede başarıyla kullanılabileceğini göstermiştir.

### 4.3. Toplam Porozite İle Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkiler

Toprak örneklerinin <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarında belirlenen toplam porozite değerleri Çizelge 4.10'de verilmiştir. Çizelge 4.10'den görüleceği gibi, araştırma konusu topraklar içerisinde en yüksek toplam porozite değerleri 1 nolu toprağın <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarında sırasıyla %63; %68,2 ve %65,2 olarak belirlenmiştir. En düşük toplam porozite değerleri ise 16 nolu toprağın <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarında sırasıyla %48,4; %51,5; ve %48,8'dir.

**Çizelge 4.10.** Araştırmada kullanılan toprak örneklerinin <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarının toplam porozite değerleri

Toprak no	Toplam porozite, %		
	<2 mm	2-1 mm	<1 mm
1	63,0	68,2	65,2
2	61,9	67,2	63,3
3	61,9	66,3	62,6
4	56,8	60,5	62,9
5	59,3	65,8	61,5
6	55,5	61,5	58,5
7	58,0	64,6	61,0
8	54,0	59,5	57,6
9	59,1	64,8	61,6
10	54,9	61,8	58,1
11	59,9	67,7	64,6
12	60,0	65,8	61,9
13	60,1	65,3	62,5
14	59,7	65,1	62,3
15	60,8	64,9	61,5
16	48,4	51,5	48,8
17	52,5	58,8	54,1
18	55,5	63,0	58,6
19	55,7	62,2	58,2
20	51,5	57,0	54,8

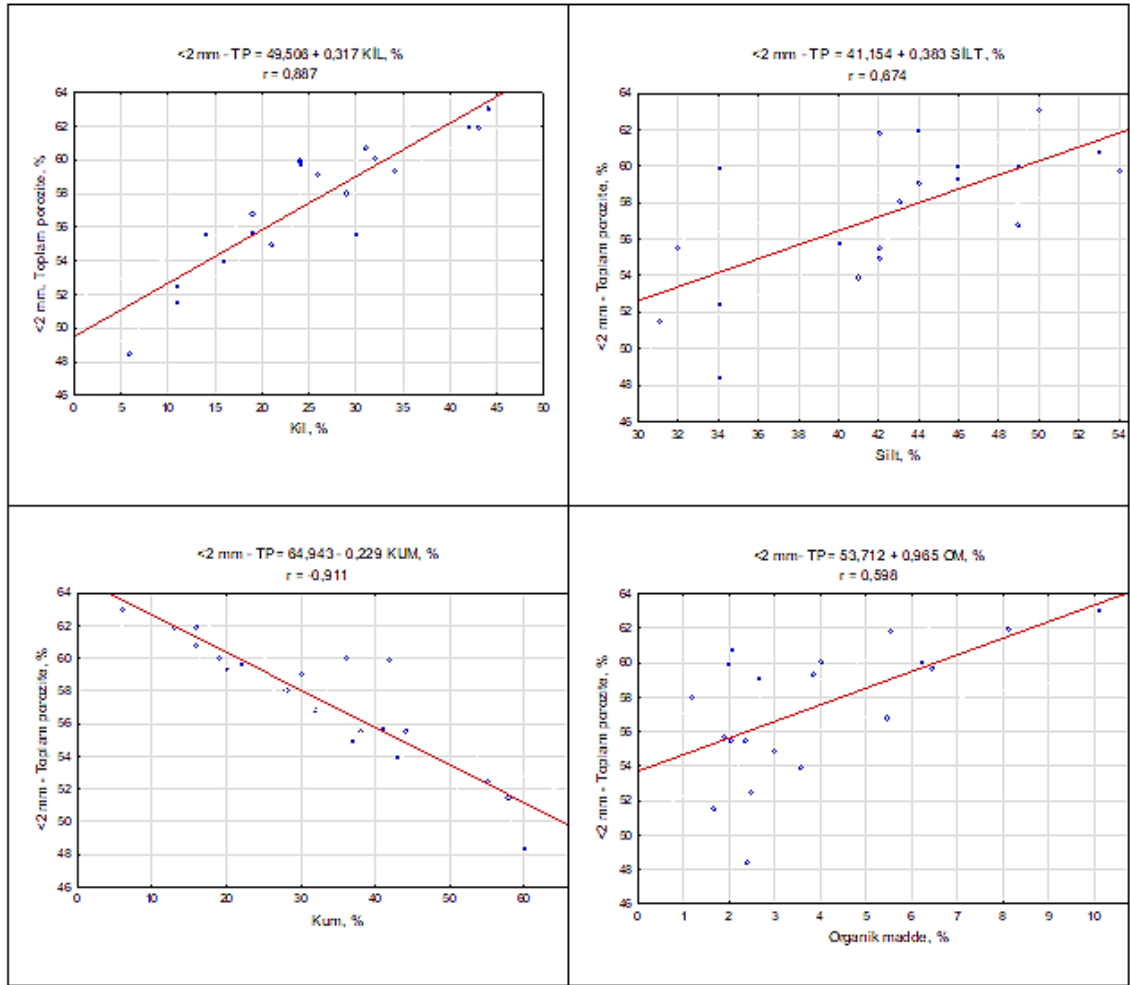
Toprak özelliklerinden tane büyüklük dağılımı (kil silt ve kum) ve organik madde içeriği ile <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarının toplam porozite değerleri arasındaki ilişkiler regresyon analizleri ile belirlenmiştir. Regresyon analizlerinde, kum, silt, kil fraksiyonları ile organik madde bağımsız değişken, toplam porozite bağımlı değişken olarak seçilmiş, değişkenlere ait basit lineer regresyon ve çoklu regresyon analiz sonuçları Çizelge 4.11’de verilmiştir.

**Çizelge 4.11.** Toprak örneklerinin <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarının toplam porozite değerleri ile kil, silt, kum ve organik madde arasındaki ilişkiler.

Bağımsız değişken	Basit lineer regresyon			Çoklu lineer regresyon		
	a	b	R <sup>2</sup>	a	b	R <sup>2</sup>
Bağımlı değişken: Toplam porozite (<2 mm)						
C	49,506	0,317**	0,787**		0,733	
Si	41,154	0,383**	0,455**	-2,048	0,632	0,886**
S	64,943	-0,229**	0,829**		0,452	
OM	53,712	0,965**	0,357**		-0,141	
Bağımlı değişken: Toplam porozite (2-1 mm)						
C	55,065	0,321**	0,713**		0,968	
Si	49,530	0,319*	0,279*	-11,912	0,743	0,780**
S	70,245	-0,218**	0,666**		0,630	
OM	59,983	0,806*	0,220*		-0,374	
Bağımlı değişken: Toplam porozite (<1 mm)						
C	52,782	0,287**	0,610**		0,542	
Si	44,320	0,368**	0,396**	16,148	0,491	0,700**
S	66,950	-0,213**	0,672**		0,299	
OM	56,530	0,894*	0,289*		-0,106	

\*\* : p<0,01; \* : p<0,05

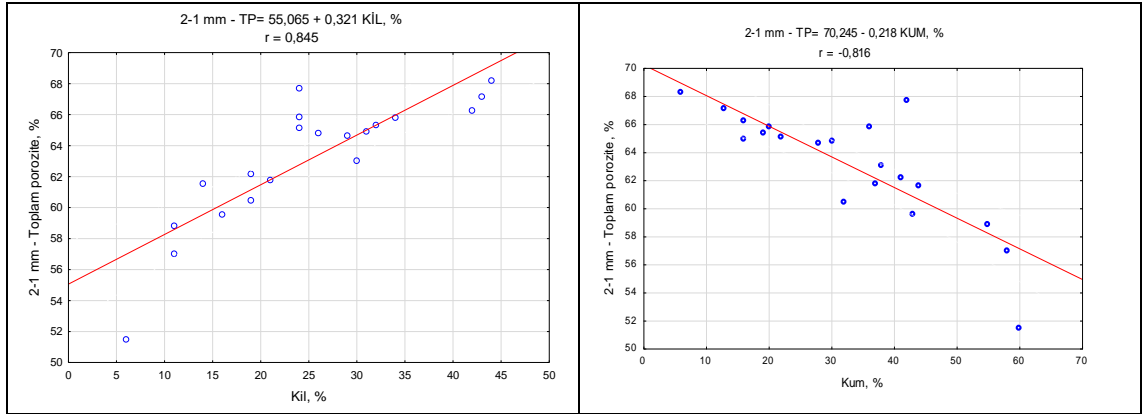
Çizelge 4.11’den görüleceği gibi basit lineer regresyon analizinde <2 mm fraksiyonunda belirlenen toplam porozite, bağımsız değişkenlerden kil (R<sup>2</sup>: 0,787), silt (R<sup>2</sup>: 0,455), kum (R<sup>2</sup>: 0,829) ve organik madde (R<sup>2</sup>: 0,357) içeriği arasında %1 seviyesinde önemli ilişkiler kaydedilmiştir. Söz konusu ilişkiler kil, silt ve organik madde için pozitif olup, kum için negatif olmuştur (Şekil 4.9).



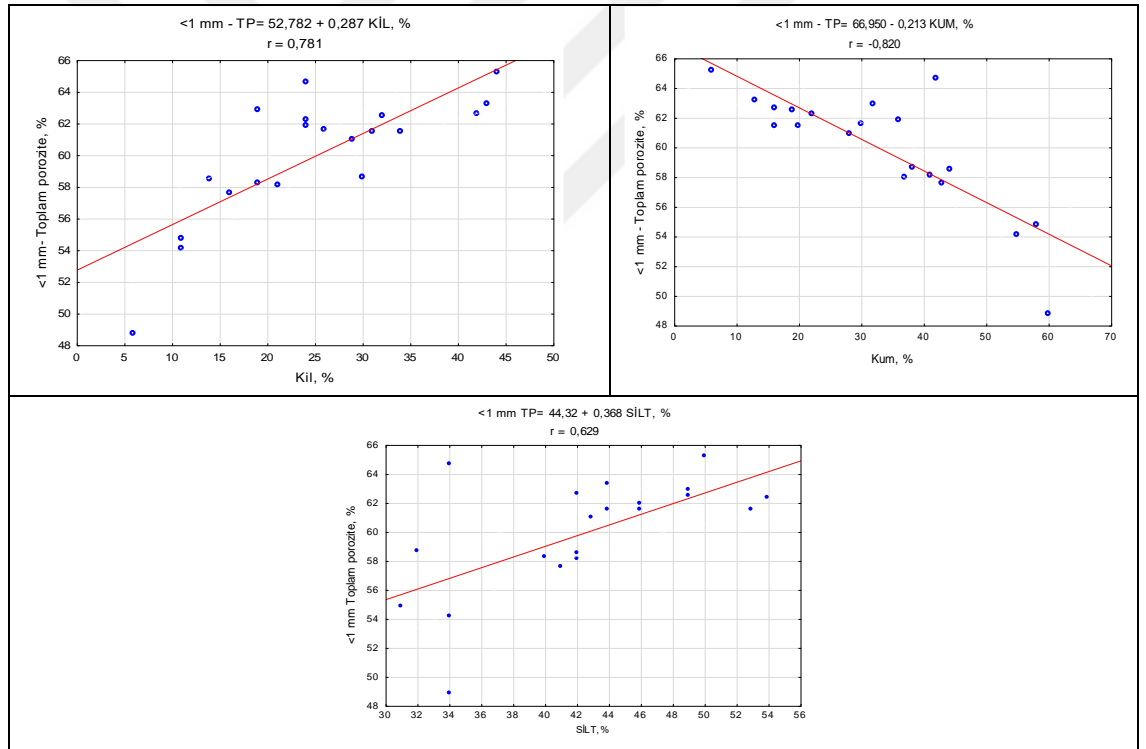
**Şekil 4.9.** Araştırma konusu toprakların <2 mm fraksiyonunun toplam porozite değerleri ile kil, silt, kum ve organik madde içeriği arasındaki ilişkiler

2-1 mm fraksiyonunda belirlenen toplam porozite değerleri ile kil ( $R^2$ : 0,713), silt ( $R^2$ : 0,279), kum ( $R^2$ : 0,666) ve organik madde ( $R^2$ : 0,220) içeriği arasında %1 seviyesinde ilişkiler belirlenmiştir (Çizelge 4.11, Şekil 4.10).

Çizelge 4.11’de verilen bağımsız değişkenlerle <1 mm fraksiyonu üzerinde belirlenen toplam porozite değerleri arasında, kil ( $R^2$ : 0,610), silt ( $R^2$ : 0,396), kum ( $R^2$ : 0,672) ve organik madde içeriği ( $R^2$ : 0,289) içeriği arasında %1 seviyesinde, önemli ilişkiler göstermiştir (Şekil 4.11).



**Şekil 4.10.** Araştırma konusu toprakların 2-1 mm fraksiyonun toplam porozite değerleri ile kil ve kum içeriği arasındaki ilişkiler



**Şekil 4.11.** Araştırma konusu toprakların <1 mm fraksiyonların toplam porozite değerleri ile kil, silt ve kum içeriği arasındaki ilişkiler

Bağımsız değişkenler içerisinde kum içeriği <2 mm ve <1 mm fraksiyonlarında toplam porozite ile en yüksek ilişkiyi sağlarken, 2-1 mm fraksiyonunda kil içeriği yüksek ilişki göstermiştir.

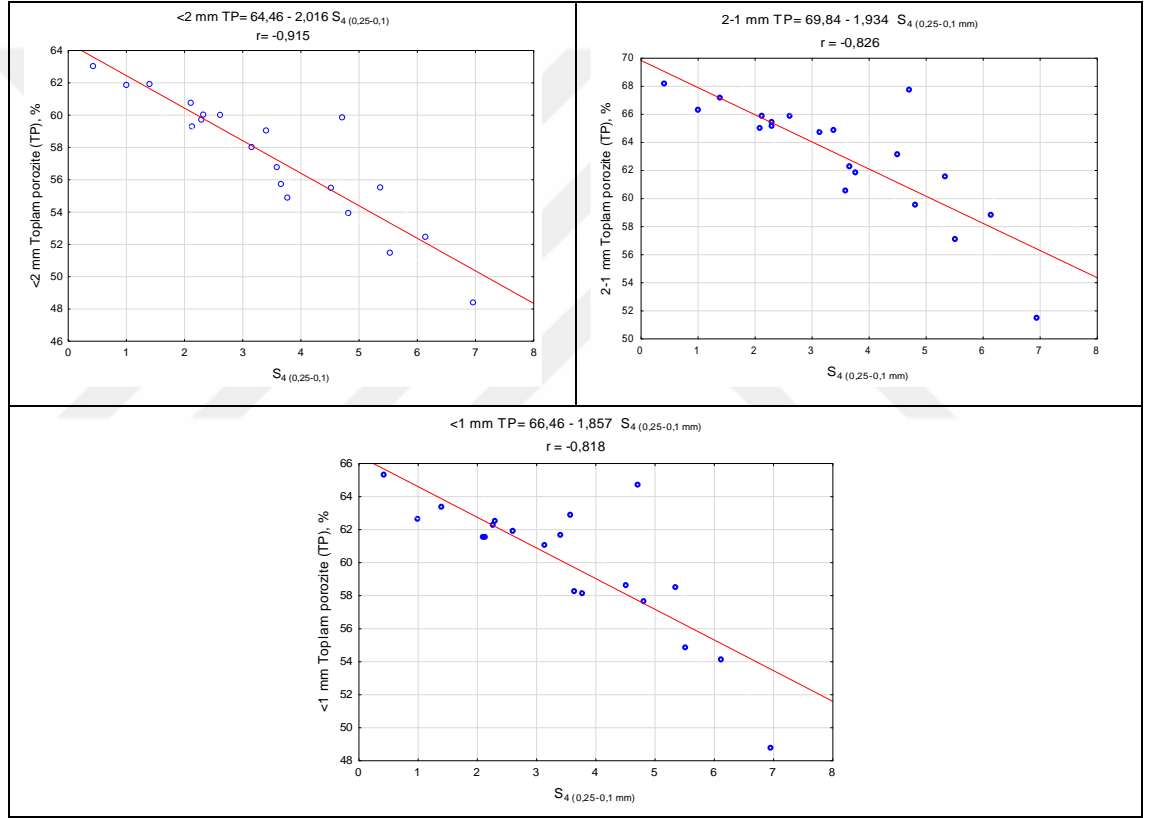
Kum, silt, kil fraksiyonları ile organik maddenin bağımsız değişken, toplam porozitenin bağımlı değişken olarak yer aldığı çoklu regresyon analiz sonuçlarına göre, toplam porozitenin etkilenme durumunun, basit lineer regresyon analizi sonuçlarına göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu duruma göre en yüksek regresyon katsayısı değeri <2 mm fraksiyonunda ( $R^2$ : 0,886) olup, bunu 2-1 mm ( $R^2$ : 0,780) ve <1 mm ( $R^2$ : 0,700) fraksiyonları izlemiştir (Çizelge 4.11).

**Çizelge 4.12.** Toprak örneklerinin <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarının toplam porozite değerleri kum alt fraksiyonları arasındaki ilişkiler.

Bağımsız değişken	Basit lineer regresyon			Çoklu lineer regresyon		
	a	b	$R^2$	a	b	$R^2$
Bağımlı değişken: Toplam porozite (<2 mm)						
S1	61,314	-0,553	0,403**		-0,003	
S2	62,664	-0,910	0,711**		-1,272	
S3	63,383	-1,195	0,731**	64,872	2,341	0,903**
S4	64,463	-2,016	0,837**		-2,904	
S5	64,779	-0,615	0,599**		-0,136	
Bağımlı değişken: Toplam porozite (2-1 mm)						
S1	67,194	-0,584	0,398**		-0,090	
S2	67,936	-0,843	0,540**		-1,788	
S3	68,487	-1,084	0,532**	70,621	3,984	0,851**
S4	69,837	-1,934	0,682**		-4,145	
S5	70,177	-0,593	0,493**		-0,167	
Bağımlı değişken: Toplam porozite (<1 mm)						
S1	63,958	-0,567	0,399**		-0,115	
S2	64,900	-0,856	0,592**		-1,128	
S3	65,506	-1,110	0,594**	67,113	2,066	0,739**
S4	66,456	-1,857	0,669**		-2,373	
S5	66,582	-0,552	0,456**		-0,154	

\*\*: $p < 0,01$

Kumun alt fraksiyonlarının toplam porozite ile olan ilişkilerinin değerlendirildiği basit lineer regresyon analizinde toprak örneklerinin <2 mm , 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonunda ölçülen toplam porozitenin, kaba kum fraksiyonundan ince kum fraksiyonuna doğru artan negatif bir ilişki ortaya koymuş, çok ince kum fraksiyonunu da bu ilişkinin etkinliği azalmış, en yüksek ilişkiler ince kum fraksiyonunda belirlenmiştir (Şekil 4.12). Bu etkinliğin <2 mm toprak fraksiyonunda diğer fraksiyonlardan daha yüksek olduğu kaydedilmiştir (Çizelge 4.12).



**Şekil 4.12.** Araştırma konusu toprakların <2 mm , 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonunda ince kum ile toplam porozite arasındaki ilişki

Kum alt fraksiyonlarının bağımsız değişken, toplam porozitenin bağımlı değişkenler olarak yer aldığı çoklu regresyon analiz sonuçlarına göre, her üç fraksiyon için de basit lineer regresyon analizi sonuçlarına göre daha yüksek regresyon katsayıları kaydedilmiştir. Bu duruma göre en yüksek regresyon katsayısı değeri <2 mm

fraksiyonunda ( $R^2$ : 0,903) olup, bunu 2-1 mm ( $R^2$ : 0,851) ve <1 mm ( $R^2$ : 0,739) fraksiyonları izlemiştir (Çizelge 4.12).

Bağımsız değişken olarak kum alt fraksiyonların da dahil olduğu tekstürel fraksiyonlarla birlikte organik maddenin, toplam porozite ile olan ilişkilerinin değerlendirildiği çoklu lineer regresyon analizinde, regresyon katsayısı değerlerinin diğer regresyon analizi sonuçlarına göre daha yüksek olduğu kaydedilmiştir. Buna göre <2 mm fraksiyonu için söz konusu ilişkiye ait regresyon katsayısı 0,917 olup, 2-1 mm fraksiyonunda 0,880 ve <1 mm fraksiyonunda da 0,762 olarak regresyon katsayıları bulunmuştur (Çizelge 4.13).

**Çizelge 4.13.** Toprak örneklerine ait <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarının toplam porozite değerleri ile kil, silt, kum alt fraksiyonlar ve organik madde arasındaki ilişkiler

Bağımlı değişken	Bağımsız değişken									$R^2$
	a	b								
		C	Si	S1	S2	S3	S4	S5	OM	
TP (<2 mm)	32,706	0,299	0,348	0,085	-0,703	2,412	-2,373	0,210	-0,087	0,917**
TP (2-1 mm)	50,638	0,207	0,254	-0,132	-1,095	3,725	-3,982	0,061	-0,430	0,880**
TP (<1 mm)	74,166	-0,163	0,027	-0,195	-1,663	3,066	-3,623	-0,204	-0,131	0,762*

\*\*: $p < 0,01$ ; \*: $p < 0,05$

#### 4.4. Doygun Hidrolik İletkenlik ile Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkiler

Toprak örneklerinin <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarında belirlenen doymuş hidrolik iletkenlik değerleri Çizelge 4.14'de verilmiştir. Çizelge 4.14'den görüleceği gibi, araştırma konusu topraklar içerisinde en düşük doymuş hidrolik iletkenlik değeri 3 nolu toprağın olup <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarında sırasıyla 0,0009; 0,002 ve 0,0006 cm/s olarak belirlenmiştir. En yüksek doymuş hidrolik değerleri ise 6 nolu toprağın

<2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarında sırasıyla 0,0025; 0,011 ve 0,0018 cm/s olarak kaydedilmiştir.

**Çizelge 4.14.** Araştırma konusu toprakların <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarına ait doygun hidrolik iletkenlik değerleri

Toprak no	Doygun hidrolik iletkenlik, cm/s		
	<2 mm	2-1 mm	<1 mm
1	0,0018	0,012	0,0012
2	0,0014	0,012	0,0010
3	0,0009	0,002	0,0006
4	0,0016	0,010	0,0015
5	0,0015	0,005	0,0013
6	0,0025	0,011	0,0018
7	0,0021	0,004	0,0019
8	0,0026	0,014	0,0023
9	0,0017	0,008	0,0022
10	0,0014	0,014	0,0022
11	0,0019	0,005	0,0016
12	0,0022	0,007	0,0013
13	0,0017	0,003	0,0010
14	0,0024	0,013	0,0017
15	0,0017	0,003	0,0019
16	0,0024	0,014	0,0022
17	0,0020	0,012	0,0026
18	0,0016	0,008	0,0015
19	0,0015	0,010	0,0016
20	0,0027	0,013	0,0015

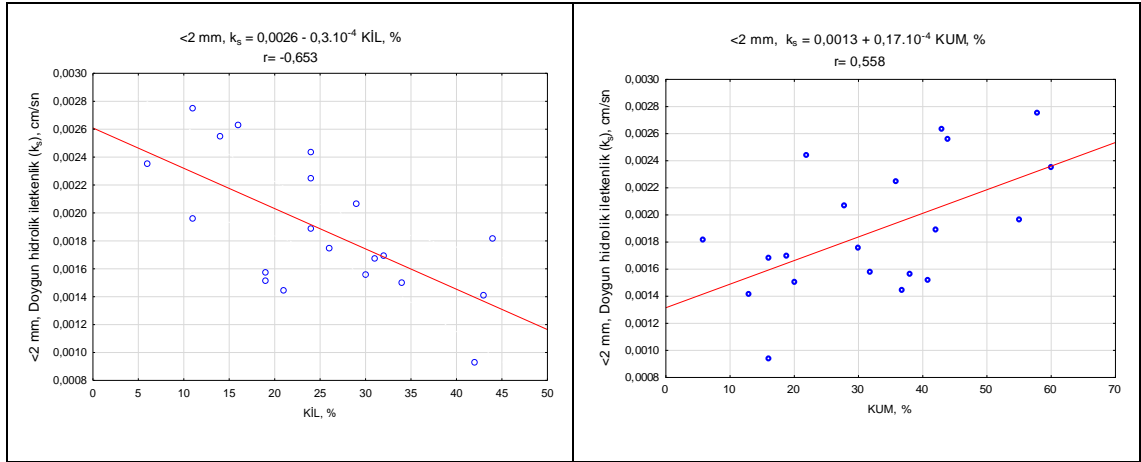
Toprak örneklerinin <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarının hidrolik iletkenlik değerleri ile kil, silt, kum ve organik madde içeriği arasındaki ilişkiler basit ve çoklu lineer regresyon analizleri ile belirlenmiş, analize ait sonuçlar Çizelge 4.15. de verilmiştir.

**Çizelge 4.15.** Toprak örneklerinin <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarının hidrolik iletkenlik değerleri ile kil, silt, kum ve organik madde arasındaki ilişkiler.

Bağımsız değişken	Basit lineer regresyon			Çoklu lineer regresyon		
	a	b	R <sup>2</sup>	a	b	R <sup>2</sup>
Bağımlı değişken: Doymun Hidrolik iletkenlik (<2 mm)						
C	0,00261	-0,00003	0,426**		-8,9.10 <sup>-9</sup>	
Si	0,00244	-0,00001	0,035 <sup>ns</sup>	-1,27.10 <sup>-3</sup>	4,3.10 <sup>-5</sup>	0,490*
S	0,00132	0,00002	0,312**		3,6.10 <sup>-5</sup>	
OM	0,00206	-0,00004	0,048 <sup>ns</sup>		4,1*10 <sup>-5</sup>	
Bağımlı değişken: Doymun Hidrolik iletkenlik (2-1 mm)						
C	0,0138	-0,0002	0,267*		-1,4.10 <sup>-3</sup>	
Si	0,0150	-0,0001	0,055 <sup>ns</sup>	0,119	-1,1.10 <sup>-3</sup>	0,727**
S	0,0047	0,0001	0,210*		-1.10 <sup>-3</sup>	
OM	0,0079	0,0003	0,021 <sup>ns</sup>		1,6.10 <sup>-3</sup>	
Bağımlı değişken: Doymun Hidrolik iletkenlik (<1 mm)						
C	0,00246	-0,00003	0,500**		-8,2.10 <sup>-5</sup>	
Si	0,00249	-0,00002	0,074 <sup>ns</sup>	7.10 <sup>-3</sup>	-3,7.10 <sup>-5</sup>	0,558*
S	0,00098	0,00002	0,368**		-5.10 <sup>-5</sup>	
OM	0,00207	-0,00011	0,296*		-4,2.10 <sup>-5</sup>	

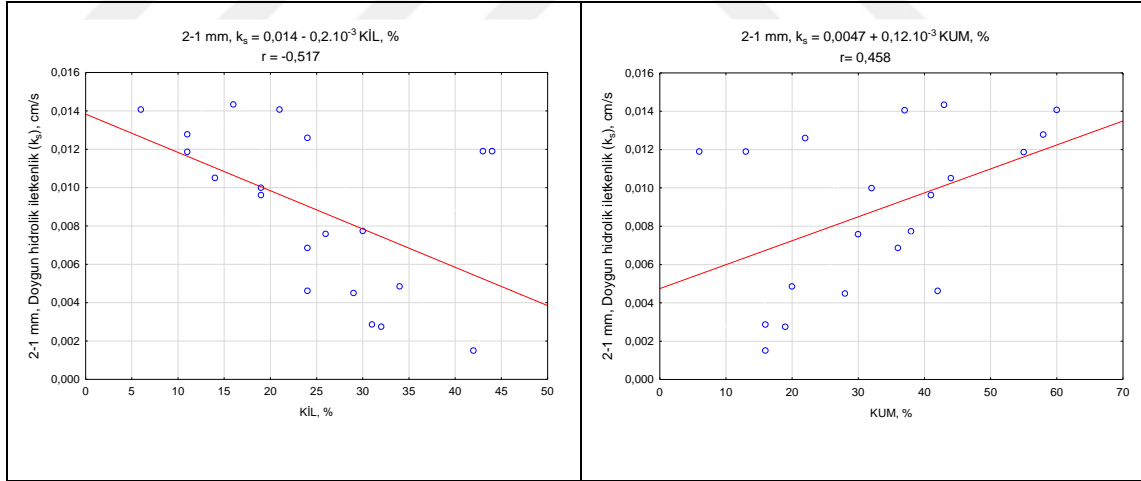
\*\* : p<0,01; \* : p<0,05; <sup>ns</sup> : önemli değil

Çizelge 4.15'den görüleceği gibi basit lineer regresyon analizinde <2 mm fraksiyonunda belirlenen hidrolik iletkenlikle bağımsız değişkenlerden kil (R<sup>2</sup> 0,426) ve kum (R<sup>2</sup>: 0,312) fraksiyonları arasında %1 seviyesinde sırasıyla önemli ilişkiler kaydedilmiştir (Şekil 4.13). Organik madde içeriği ile önemli bir ilişki elde edilememiştir. Organik madde içeriği, doymamış topraklardaki hidrolik iletkenliğin tahmin edilmesinde matrik kuvvetleri etkilemesi bakımından önemli bir değişken olup, doymun topraklarda daha az etkiye sahiptir. Bu nedenle organik madde içeriğinin Ks'nin tahmin edilmesindeki katkısı çok düşüktür (Rasoulzadeh 2010).



**Şekil 4.13.** Bağımsız değişkenlerden kil, silt kum ve organik madde içeriği ile < 2 mm fraksiyonun hidrolik iletkenlik değeri arasındaki ilişki

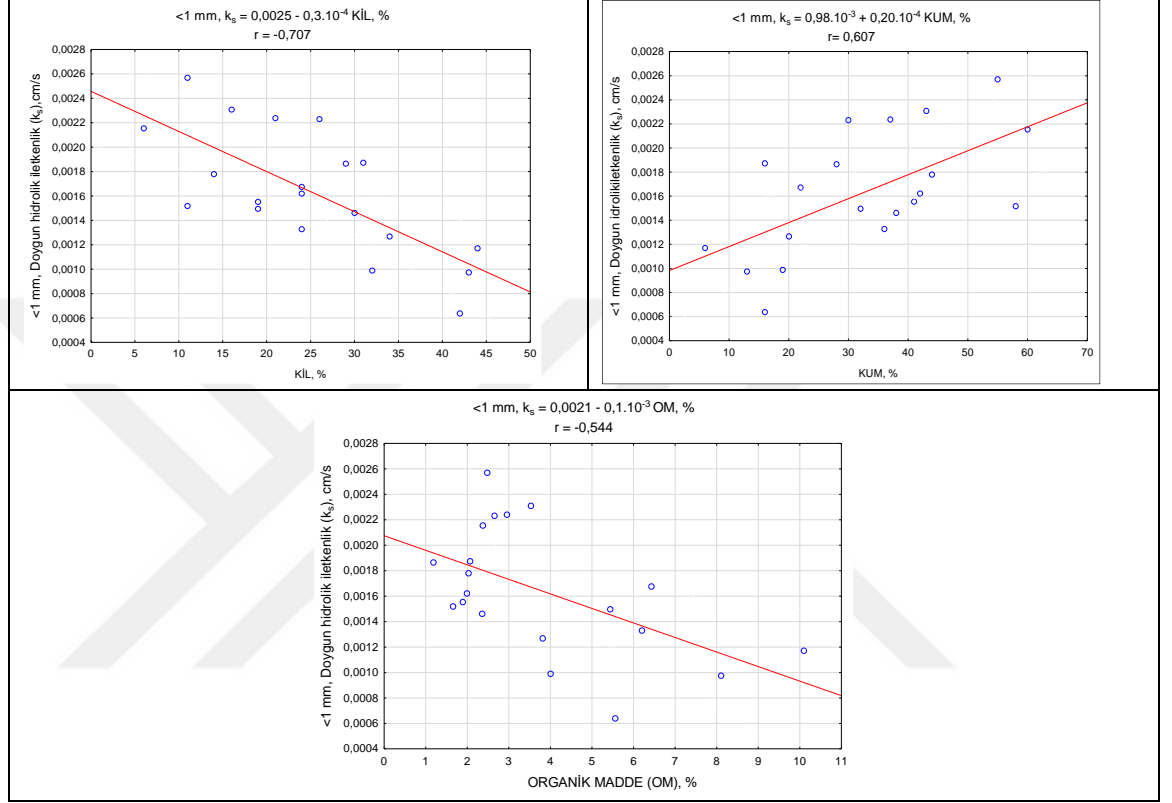
Hidrolik iletkenliğin 2-1 mm fraksiyonunda belirlenen değerleri ile kil ( $R^2: 0,267$ ) ve kum ( $R^2: 0,210$ ) içeriği arasında %5 seviyesinde önemli ilişkiler ortaya koymuştur (Çizelge 4.15, Şekil 4.14).



**Şekil 4.14.** Bağımsız değişkenlerden kil, silt kum ve organik madde içeriği ile 2-1 mm fraksiyonun hidrolik iletkenlik değeri arasındaki ilişki

Çizelge 4.15.'de verilen bağımsız değişkenlerle <1 mm fraksiyonu üzerinde belirlenen hidrolik iletkenlik değerleri arasında, kil ( $R^2: 0,500$ ) ve kum ( $R^2: 0,368$ ) fraksiyonları %1 seviyesinde, organik madde içeriği ( $R^2: 0,296$ ) de %5 seviyesinde önemli ilişkiler

göstermiştir. Kil ve organik madde negatif, kum içeriği pozitif bir ilişki sergilemiştir.(Şekil 4.15)



**Şekil 4.15.** Bağımsız değişkenlerden kil, kum ve organik madde içeriği ile <1 mm fraksiyonun hidrolik iletkenlik değeri arasındaki ilişki

Her üç fraksiyonda da bağımsız değişkenler içerisinde kil içeriği diğer değişkenlerden daha yüksek önemli negatif ilişkiler ortaya koymuş, bu ilişkilerde hidrolik iletkenliği etkileme seviyesi <1 mm fraksiyonda en yüksek ( $R^2$ ; 0,500) olup bunu <2 mm ( $R^2$ ; 0,426) ve 2-1 mm ( $R^2$ ; 0,267) fraksiyonları izlemiştir.

Kum, silt, kil fraksiyonları ile organik madde bağımsız değişken, hidrolik iletkenliğin bağımlı değişkenler olarak yer aldığı çoklu lineer regresyon analiz sonuçlarına göre, bağımlı değişkenlerin etkilenme oranlarının basit lineer regresyon analizi sonuçlarına göre daha yüksek değerler ortaya koyduğu belirlenmiştir. Bu duruma göre en yüksek

regresyon katsayısı değeri 2-1 mm fraksiyonunda (0,727) olup, bunu <1 mm (0,528) ve <2 mm (0,490) fraksiyonları izlemiştir (Çizelge 4.15).

Kum alt fraksiyonlarının hidrolik iletkenlik ile olan ilişkilerinin değerlendirildiği çalışmada, lineer regresyon değerlerinin etki seviyelerinin çoklu regresyon sonuçlarından daha düşük olduğu kaydedilmiştir (Çizelge 4.16)

**Çizelge 4.16.** Toprak örneklerinin <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarının doymuş hidrolik iletkenlik değerleri ile kum alt fraksiyonları arasındaki ilişkiler

Bağımsız değişken	Basit lineer regresyon			Çoklu lineer regresyon		
	a	b	R <sup>2</sup>	a	b	R <sup>2</sup>
Bağımlı değişken: Doymuş hidrolik iletkenlik (<2 mm)						
S1	0,00149	0,00006	0,270*		1,8.10 <sup>-5</sup>	
S2	0,00140	0,00008	0,404**		1,8.10 <sup>-4</sup>	
S3	0,00138	0,00010	0,344**	1,65.10 <sup>-3</sup>	2,3.10 <sup>-4</sup>	0,508*
S4	0,00136	0,00015	0,308*		3,3.10 <sup>-4</sup>	
S5	0,00160	0,00002	0,059 <sup>ns</sup>		5,5.10 <sup>-5</sup>	
Bağımlı değişken: Doymuş hidrolik iletkenlik (2-1 mm)						
S1	0,00739	0,00021	0,048 <sup>ns</sup>		-4,3.10 <sup>-4</sup>	
S2	0,00574	0,00054	0,213*		2,4.10 <sup>-3</sup>	
S3	0,00562	0,00065	0,183 <sup>ns</sup>	6,5.10 <sup>-3</sup>	-3,7.10 <sup>-3</sup>	0,350 <sup>ns</sup>
S4	0,00514	0,00106	0,198*		3,1.10 <sup>-3</sup>	
S5	0,00507	0,00031	0,134 <sup>ns</sup>		-7,5.10 <sup>-5</sup>	
Bağımlı değişken: Doymuş hidrolik iletkenlik (<1 mm)						
S1	0,00125	0,00005	0,232*		1,5.10 <sup>-5</sup>	
S2	0,00120	0,00008	0,291*		4.10 <sup>-6</sup>	
S3	0,00110	0,00011	0,345**	9,2.10 <sup>-4</sup>	-1,6.10 <sup>-4</sup>	0,528*
S4	0,00095	0,00020	0,466**		4,2.10 <sup>-4</sup>	
S5	0,00096	0,00006	0,296*		-7.10 <sup>-6</sup>	

\*\* : p<0,01; \* : p<0,05; <sup>ns</sup> : önemli değil

Basit lineer regresyon analizinde toprak örneklerinin <2 mm fraksiyonunda ölçülen hidrolik iletkenlik, kaba kum fraksiyonu ile ilk sırada bir ilişki ( $R^2: 0,404$ ) göstermiş bunu orta kum ( $R^2: 0,344$ ), ince kum ( $R^2: 0,308$ ) ve çok kaba kum ( $R^2:0,270$ ) fraksiyonları izlemiştir. Toprak örneklerinin 2-1 mm fraksiyonunda ölçülen hidrolik iletkenlikle kum fraksiyonları arasında gelişen ilişkilerin değerlendirilmesi sonucunda kaba kum fraksiyonunun en yüksek ilişkiye ( $R^2: 0,213$ ) sahip olduğu, bu fraksiyonu ince kumun izlediği belirlenmiştir. Araştırma konusu topraklarından hazırlanan <1 mm fraksiyonlar üzerinde ölçülen hidrolik iletkenlikle kum fraksiyonları arasındaki basit lineer regresyon analizi sonuçlarına göre, ince kum %1 seviyesinde önemli pozitif bir ilişki ( $R^2: 0,466$ ) sergilemiş bunu orta kum, çok ince kum, kaba kum ve çok kaba kum izlemiştir (Çizelge 4.16.).

Kum fraksiyonlarının bağımsız değişken, hidrolik iletkenliğin bağımlı değişkenler olarak yer aldığı çoklu regresyon analiz sonuçlarına göre, her üç fraksiyon için de basit lineer regresyon analizi sonuçlarına göre daha yüksek regresyon katsayıları kaydedilmiştir. Bu katsayılar <1 mm fraksiyonunda 0,528, <2 mm fraksiyonunda 0,508 ve 2-1 mm fraksiyonunda 0,350 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.16).

Bağımsız değişken olarak kum alt fraksiyonların da dahil olduğu tekstürel fraksiyonlarla birlikte organik maddenin, hidrolik iletkenlikle olan ilişkilerinin değerlendirildiği çoklu lineer regresyon analizinde regresyon katsayısı değerlerinin diğer regresyon analizi sonuçlarına göre daha yüksek olduğu kaydedilmiştir. Buna göre 2-1 mm fraksiyonu için söz konusu ilişkiye ait regresyon katsayısı 0,766 olup, <1 mm fraksiyonunda 0,667 ve <2 mm fraksiyonunda da 0,622 olarak regresyon katsayıları bulunmuştur (Çizelge 4.17).

**Çizelge 4.17.** Toprak örneklerinin <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarının doymuş hidrolik iletkenlik değerleri ile kil, silt, kum alt fraksiyonları ve organik madde arasındaki ilişkiler

Bağımlı değişken	Bağımsız değişken									R <sup>2</sup>
	a	b								
		C	Si	S1	S2	S3	S4	S5	OM	
DHİ (<2 mm)	6.10 <sup>-3</sup>	-6,9.10 <sup>-5</sup>	-2,4.10 <sup>-5</sup>	-2,5.10 <sup>-5</sup>	7,4.10 <sup>-5</sup>	9,4.10 <sup>-5</sup>	-9.10 <sup>-6</sup>	-9,4.10 <sup>-5</sup>	5,2.10 <sup>-5</sup>	0,616 <sup>ns</sup>
DHİ (2-1 mm)	0,116	-1,3.10 <sup>-3</sup>	-1,1.10 <sup>-3</sup>	-4,7.10 <sup>-4</sup>	-2.10 <sup>-3</sup>	-1,6.10 <sup>-4</sup>	-7,7.10 <sup>-4</sup>	-1,2.10 <sup>-3</sup>	1,5.10 <sup>-3</sup>	0,728*
DHİ (<1 mm)	-6,1.10 <sup>-3</sup>	5.10 <sup>-5</sup>	9.10 <sup>-5</sup>	3.10 <sup>-5</sup>	7.10 <sup>-5</sup>	-2.10 <sup>-5</sup>	4,1.10 <sup>-4</sup>	7.10 <sup>-5</sup>	-3.10 <sup>-5</sup>	0,627 <sup>ns</sup>

\*:p<0,05; <sup>ns</sup>:önemli değil

Hidrolik iletkenlik değeri genellikle toprak tane büyüklük dağılımına bağlıdır. Bu durum, hem uniform hemde kaba fraksiyona sahip topraklarda, tane boyutundaki artışla birlikte hidrolik iletkenlik değerinde de bir artışın ortaya çıkmasını sağlayacaktır. Ancak uniform olmayan topraklar için böyle bir genelleme doğru olmayabilir. Hidrolik iletkenlik ve toprak tane büyüklük dağılımı arasında bir ilişkinin kurularak bir katsayının belirlenmesi, herhangi bir arazi ve laboratuvar ölçümü yapılmayan toprakların hidrolik iletkenliğini tahmin etmede yararlı bir yöntem olabilir. Bu nedenle toprakların hidrolik iletkenliğini tahmin etmede tane büyüklüğü dağılımı önemli bir potansiyeldir (Musavi-jahro and Shiravand 2012).

Analiz edilen diğer bağımsız değişkenler içerisinde kil ve kum içeriğinin etkileri önemli bulunmuştur. Ancak, Ferrer Julià et al. (2004), kilin doymuş hidrolik iletkenlik değerlerini tahmin etmedeki etkisinin, Pearson'un korelasyon değeri için beklenenden düşük olduğunu vurgulamış, pedotransfer fonksiyonlar içerisinde kil içeriği ağırlığının, denkleme mineralojik verilerin dahil edilmesi durumunda artacağını varsaymışlardır. Dane ve Puckett (1992) Florida'da 755'in üzerinde topraktan doymuş hidrolik iletkenliğini tahmin etmek için kil içeriğinin tek önemli değişken olduğunu bildirmiştir.

Smettem ve Bristow (1999), doymun hidrolik iletkenlik tahmininde kil içeriğini kullanmıştır. Kil içeriğinin, kumlu topraklar dışındaki toprak veritabanlarında doymun hidrolik iletkenlik ile korelasyon gösteren önde gelen bir tekstür parametresi olduğu Puckett et al. (1985) tarafından ifade edilmiştir.

Araştırmada, pedotransfer fonksiyonları geliştirmede kullanılan korelasyon ve regresyon denklemlerinde temel olarak dört değişken kullanılmıştır. Ayrıca kum alt fraksiyonları dahil edilerek korelasyon ve regresyon katkıları değerlendirilmiştir. Geliştirilen fonksiyonlarda kum ve kil fraksiyonlarının katkıları yüksek bulunmuştur.

Araştırma konusu topraklarda doymun hidrolik iletkenliğin tahmin edilmesinde genel olarak kum içeriğinin önemli değişken olduğu sonucuna varılmıştır. Doymun hidrolik iletkenliğin kum içeriğine olan bağımlılığı, diğer araştırmacılar tarafından sunulan sonuçlarla da teyit edilmiştir (Ferre-Julia et al. 2004). Schaap et al. (2001) toprak hidrolik özelliklerini tahmin etmek için tek girdi olarak toprak tekstür sınıfını kullanan bir PTF modeli geliştirmişlerdir. Puckett et al. (1985) ince kum fraksiyonunun hidrolik özellikler üzerindeki etkisini ifade ederek, pedotransfer fonksiyonlarında girdi olarak kullanmışlardır. Tek başına, kumlu topraklarda doymun hidrolik iletkenlik tahminleyicisi olarak tekstürün kullanılmasının yeterli olacağı farklı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Jaynes and Tyler 1984; El-Kadi, 1985).

Toprak gözenekliliği, organik madde ve tekstür, toprağın hidrolik özelliklerini etkileyen önemli faktörlerdir (Nelson and Sommers 1982; Fang et al. 2008; Li et al. 2008). Organik madde düşük tansiyonlarda etkili olurken doymun topraklarda bu etkinlik azalmaktadır. Bu nedenle, topraktaki su tutma parametrelerinin tahmin edilmesinde geliştirilen modellerde, organik madde önemli bir değişkendir (Wösten et al. 1999). Ancak organik madde içeriğinin doymun hidrolik iletkenliğin tahmin edilmesindeki katkısı düşük bulunmaktadır (Tietje and Hennings 1996; Ferrer Julià et al. 2004).

Saxton et al. (1986), tarafından 1300 Kuzey Amerika toprak örneği üzerinde tayin edilen doymun hidrolik iletkenlik sonuçlarının tekstür ve organik madde verilerinin kullanılarak

geliştirildiği pedotransfer fonksiyonlarıyla tahmininde, modeldeki organik maddenin düşük bir ağırlığa sahip olduğu vurgulanmıştır. FAO dijital toprak haritasından, su tutma kapasitesini tahmin edilmesine yönelik çalışmada, toprak organik madde içeriğinin, doymamış topraklarda sızma oranları tahmin edildiğinde önemli bir değişken olduğu, ancak doymuş topraklarda daha az etkiye sahip olduğu ifade edilmiştir. (Reynolds et al. 2000).

Doygun hidrolik iletkenlik ile toprak organik maddesi (OM) arasında geliştirilen ampirik ilişkilerde pozitif ve negative yönlü sonuçlar vurgulanmıştır. Bu çalışmaların bir kısmında, toprak organik madde içeriğinin artışına bağlı olarak, hidrolik iletkenlik değerinde arttığını ortaya koymuştur (Lado *et al.*, 2004; Saxton and Rawls 2006). İletkenliğin artmasında, toprak organik maddesinin toprak agregasyonunu olumlu etkilemesi buna bağlı olarak da gözenekliliğin artması bu pozitif ilişkiyi açıklamaktadır.

Jarvis *et al.* (2013), toprağın doymun hidrolik iletkenliğinin kütle yoğunluğu, organik karbon içeriği ve tekstürden etkilendiğini kaydetmişlerdir. Araştırmacılar, organik karbonun, hidrofobik özelliğinden dolayı doymun hidrolik iletkenlik ile negatif korelasyon gösterdiğini vurgulamışlardır. Nemes *et al.* (2005) tarafından da organik madde ve doymun hidrolik iletkenlik arasında negatif bir korelasyon geliştiğini ifade edilmiştir.

#### **4.5. Pedotransfer Fonksiyonlarının Uygunluk Kriterlerinin Değerlendirmesi**

Doygun hidrolik iletkenliğin tahminlenmesinde literatürden seçilen 8 ve bu çalışmada  $R^2$  değerlerine göre önerilen 4 pedotransfer fonksiyonunun uygunluk kriterlerinin sonuçları çizelge 4.18’de verilmiştir. Seçilen pedotransfer fonksiyonlarından Wösten 97 ve Wösten 99 hariç diğerleri uygunluk kriterleri bakımından uyumlu bir performans sergilemiştir. Bu sonucun ortaya çıkmasında, doymun hidrolik iletkenlik üzerinde toprak özelliklerinden başta toprak tekstürünün yüksek tahminleme gücüne sahip olması etkili olmuştur.

**Çizelge 4.18.** Doymun hidrolik iletkenliğin tahmininde literatürden seçilen ve bu araştırmadan önerilen pedotransfer fonksiyonlarının uygunluk kriterleri

Pedotransfer fonksiyonlar	MRE	RMSE	R <sup>2</sup>	r
Wösten (1997)	0,68	0,0014	0,037	0,193ns
Wösten (1999)	0,76	0,00153	0,061	0,247ns
Cosby (1984)	0,81	0,00156	0,351	0,593**
Saxton (1986)	0,48	0,00097	0,376	0,613**
Brakensiek (1984)	0,96	0,00187	0,339	0,582**
Campbell-Shiozawa (1994)	1	0,0019	0,348	0,590**
Dane - Puckett (1992)	0,77	0,00147	0,280	0,529*
Gülser ve Candemir (2015)	0,24	0,00059	0,357	0,598**
C (<2 mm)	0,17	0,00035	0,426	0,653**
S (<2 mm)	0,19	0,00039	0,312	0,558*
S2 (<2 mm)	0,17	0,00036	0,404	0,636**
C, Si, S, OM (<2 mm)	0,14	0,00033	0,490	0,700**

\*\* : P<0,01; \* : P<0,05; ns önemli değil

Doğrulama kriterleri göz önüne alındığında, her bir pedotransfer fonksiyonun tahmin performansı büyük ölçüde değişmiştir ve ayrıca MRE parametresiyle ilgili olarak tahmin edilen doymun hidrolik iletkenlik değerleri üzerinden farklılıklar ortaya konulmuştur. Seçilen modellerden Gülser ve Candemir (2015) ve Saxton (1986) pedotransfer fonksiyonları ve önerilen modellerden C, Si, S, OM (<2 mm) en düşük MRE ve RMSE parametreleriyle en iyi tahmin performansına sahip olmuşlardır. Buna göre bu fonksiyonlarda kullanılan girdilerin toprağın doymun hidrolik iletkenliğinin tahminlenmesinde kullanılabileceği belirlenmiştir.

PTF'lerin değerlendirilmesinde tüm örneklerin aynı yöntem kullanılarak ölçülmesi gerektiği, yani toprak verilerinin homojenliğine de dikkat edilmesi gerektiği önemli bir husustur. Sonuç olarak, PTF'lerin doğruluğu farklı toprak tipleri, ölçüm yöntemleri ve tekstürel sınıflara göre değişmektedir. Toprağın doymun hidrolik iletkenliği toprak faktörlerinden etkilendiği gibi, aynı zamanda toprak yönetim uygulamalarından da

etkilenmesi nedeniyle, farklı toprak tipleri için uygun ve evrensel bir PTF'nin ortaya konulamamıştır (Yao et al. 2015).



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırma konusu toprak örnekleri ince ve orta bünyeli olup, örneklerden 3'ü siltli kil (SiC), 3'ü siltli killi tın (SiCL), 2'si killi tın (CL), 1'i siltli tın (SiL), 8'i tın (L) ve 3'ü de kumlu tın (SL) tekstür sınıfındadır. Toprak örneklerinin kum alt fraksiyonları ortalama değerlerine göre, çok ince kum en yüksek değere sahip olup, bunu sırasıyla çok kaba kum, kaba kum, orta kum ve ince kum fraksiyonları izlemiştir. Toprak örneklerin organik madde içeriği ortalama %3,8'dir., Örneklerin reaksiyonu (pH) 5,58- 7,17 ve kireç içeriği de %0,86-%27,06 arasındadır. Bu verilere göre, genel olarak toprak örneklerinin organik madde içeriği bakımından "orta", reaksiyonları bakımından "hafif alkalın" sınıfında yer almıştır. Araştırma konusu toprakların fiziksel ve mekaniksel nem parametrelerinden tarla kapasitesi %18,8 ile %46,4; devamlı solma noktası %8,9 ile %28,5; likit limit % 28,4 ile % 71,2; plastik limit % 16,3 ile % 40,2 arasında değişmiştir.

Araştırmada, bağımlı değişken olarak toprak nem parametreleri (tarla kapasitesi, devamlı solma noktası; likit limit ve plastik limit) ile bağımsız değişken olarak seçilen bazı pedolojik özelliklere (kil, silt, kum ve organik madde) ait veriler üzerine basit ve çoklu lineer regresyon analizleri uygulanmıştır. Bu analiz sonuçlarına göre, bağımsız değişkenlerden kil, silt ve organik madde pozitif, kum içeriği negatif olarak %1 düzeyinde tarla kapasitesi ve devamlı solma noktası parametrelerini etkilemiştir.

Likit ve plastik limit değerlerinden her ikisininde kum fraksiyonu diğer değişkenlerden daha yüksek düzeyde negatif olarak etkilemiş, likit ve plastik limit için bu değerler ( $R^2$ ) sırasıyla: 0,906 ve 0,844 olarak bulunmuştur. Kil içeriği, likit limiti plastik limite göre daha yüksek oranda ( $R^2$ ; 0,858>0,786) etkilemiştir.

Kumun alt fraksiyonlarından ince kum fraksiyonunun diğer alt fraksiyonlardan daha yüksek seviyede tarla kapasitesi ( $R^2$ : 0,847), devamlı solma noktası ( $R^2$ : 0,798), likit limit ( $R^2$ : 0,885) ve plastik limit ( $R^2$ : 0,875) nem parametreleri üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Kum alt fraksiyonlarının toprak nem parametreleri üzerine birlikte olan

etkilerinin değerlendirildiği çoklu lineer regresyon analizinde, basit lineer regresyon analizi sonuçlarına göre daha yüksek regresyon katsayıları elde edilmiştir.

Toprak özelliklerinden bağımsız değişken olarak, tane büyüklük dağılımı (kil, silt ve kum) ve organik madde içeriği ile <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarının kütle yoğunluğu değerleri arasındaki ilişkiler regresyon analizleri ile belirlenmiştir. Regresyon analizlerinde, <2 mm fraksiyonunda belirlenen kütle yoğunluğu ile bağımsız değişkenler arasında %1 seviyesinde önemli ilişkiler kaydedilmiştir. Kum içeriğinin toprak kütle yoğunluğu üzerindeki etkisinin diğer toprak özelliklerinden daha yüksek olduğu bulunmuştur. Kum alt fraksiyonlarının, kütle yoğunluğu ile olan ilişkilerinin değerlendirildiği basit lineer regresyon analizinde ince kum fraksiyonu yüksek bir ilişki ortaya koymuştur. Bağımsız değişken olarak kum alt fraksiyonların da dahil olduğu tekstürel fraksiyonlarla birlikte organik maddenin, kütle yoğunluğu olan ilişkilerinin değerlendirildiği çoklu lineer regresyon analizinde regresyon katsayısı değerlerinin diğer regresyon analizi sonuçlarına göre daha yüksek olduğu kaydedilmiştir.

Basit lineer regresyon analizinde <2 mm fraksiyonunda belirlenen toplam porozite ile bağımsız değişkenler arasında kil ( $R^2$ : 0,787), silt ( $R^2$ : 0,455), kum ( $R^2$ : 0,829) ve organik madde ( $R^2$ : 0,357) içeriği ile %1 seviyesinde önemli ilişkiler kaydedilmiştir. Söz konusu ilişkiler kil, silt ve organik madde için pozitif olup, kum için negatif olmuştur. Kumun alt fraksiyonları ile toplam porozite arasındaki ilişkilerinin değerlendirildiği basit lineer regresyon analizinde toprak örneklerinin <2 mm , 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonunda ölçülen toplam porozitenin, kaba kum fraksiyonundan ince kum fraksiyonuna doğru artan negatif bir ilişki ortaya koymuştur.

Toprak örneklerinin <2 mm, 2-1 mm ve <1 mm fraksiyonlarının doygun hidrolik İletkenlik değerleri ile kil, silt, kum ve organik madde içeriği arasındaki basit lineer regresyon analizinde <2 mm fraksiyonunda belirlenen doygun hidrolik iletkenlikle bağımsız değişkenlerden kil ( $R^2$  0,426) ve kum ( $R^2$ : 0,312) fraksiyonları arasında %1 seviyesinde sırasıyla önemli ilişkiler kaydedilmiştir. Kil ve organik madde negatif, kum içeriği pozitif bir ilişki sergilemiştir. Her üç fraksiyonda da bağımsız değişkenler

içerisinde kil içeriği diğer değişkenlerden daha yüksek önemli negatif ilişkiler ortaya koymuştur. Basit lineer regresyon analizinde toprak örneklerinin <2 mm fraksiyonunda ölçülen doymun hidrolik iletkenlik, kaba kum fraksiyonu ile ilk sırada bir ilişki ( $R^2$ : 0,404) göstermiştir.

Literatürden seçilen ve bu araştırmada önerilen pedotransfer fonksiyonlarının uygunluk kriterleri dikkate alındığında, seçilen pedotransfer fonksiyonlarından Wösten (1997) ve Wösten (1999) hariç, diğerleri uygunluk kriterleri bakımından uyumlu bir performans sergilemiştir. Araştırmada literatürden seçilen modellerden Gülser ve Candemir (2015) ile Saxton (1986) pedotransfer fonksiyonları ve önerilen modellerden kil, silt, kum ve organik maddenin bağımsız değişken olarak yer aldığı çoklu lineer regresyon modeli en düşük MRE ve RMSE parametreleriyle en iyi tahmin performansına sahip olmuşlardır. Bu sonucun ortaya çıkmasında, doymun hidrolik iletkenlik üzerinde toprak özelliklerinden başta toprak tekstürünün yüksek tahminleme gücüne sahip olması etkili olmuştur. Bu sonuca göre, sözkonusu fonksiyonlarda kullanılan girdilerin toprağın doymun hidrolik iletkenliğinin tahminlenmesinde kullanılabileceği ifade edilebilir.

Doymun hidrolik iletkenlik ve toprak tane büyüklük dağılımı arasında bir ilişkinin kurularak geliştirilen model, sözkonusu modelin belirlendiği sınırlar içerisinde yer alan ancak herhangi bir arazi ve laboratuvar ölçümü yapılmayan toprakların doymun hidrolik iletkenliğini tahmin etmede başvurulabilecek bir yöntemdir. Bu nedenle toprakların doymun hidrolik iletkenliğini tahmin etmede tane büyüklüğü dağılımı önemli bir potansiyeldir.

**KAYNAKLAR**

- Ahuja, L. R., Naney, J. W., and Williams, R. D. 1989. Estimating soil water characteristics from simpler properties or limited data1. *Soil Science Society of America Journal*, 49(5), 1100.
- Aimrun, W., Amin, M. S. M., and Eltaib, S. M., 2004. Effective porosity of paddy soils as an estimation of its saturated hydraulic conductivity. *Geoderma*, 121(3-4), 197-203.
- Aimrun, W. and Amin, M.S.M., 2009. Pedo-transfer function for saturated hydraulic conductivity of lowland paddy soils. *Paddy Water Environ.*, 7, 217-225.
- Alexander, E.B., 1989. Bulk density equations for southern Alaska soils. *Can. J. Soil Sci.*, 69, 177-80.
- Alyamani, M.S., and Sen, Z., 1993. Determination of hydraulic conductivity from grain-size distribution curves. *Ground Water*, 31, 551-555.
- Anonim, 1979. Erzurum Projesi Yapılabilirlik Raporu. DSİ Gen. Md. VIII. B. Md. Erzurum.
- Anonymous, 1987. Erzurum Projesi Sakalikes k Sulaması Planlama Revize ve Ek Alan Araz Sınıflandırma Raporu. DSİ Genel Müdürlüğü, VIII. Bölge Müdürlüğü, Erzurum.
- Anonim, 1990. Erzurum İli Rasat Raporları. DMİ Genel Müdürlüğü
- Arya, L.M., Paris, J.F., 1981. A physicoempirical model to predict soil moisture characteristics from particle-size distribution and bulk density data. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 45, 1023-1030.
- Arya, L.M., Leij, F.J., Shouse, P.J. and van Genuchten, M.T., 1999. Relationship between the hydraulic conductivity function and the particle-size distribution. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 63, 1063-1070.
- Assouline, S., 2006. On the relationships between the pore size distribution index and characteristics of the soil hydraulic functions. *Water Resources Research*, 41(7), 1-8.
- Assouline, S., Tessier, D. and Bruand, A., 1998. A conceptual model of the soil water retention curve. *Water Resour. Res.* 34, 223-231.
- Aubertin, M., Bussiere, B. and Chapuis, R.P., 1996. Hydraulic conductivity of homogenized tailings from hard rock mines, *Canadian Geotechnical Journal*, 33(3), 470-482.
- Aydın, A., ve Sezen, Y., 1995. Toprak Kimyası Laboratuvar Kitabı. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Ders Yayınları 174, 140-144.
- Bear, J. and Verruijt, A., 1987. *Modeling Groundwater Flow and Pollution*. Reidel, Dordrecht.

- Bear, J., 1979. *Hydraulics of Groundwater*. McGraw-Hill, New York.
- Ben-Hur, M., Yolcu, G., Uysal, H., Lado M., and Paz, A., 2009. Soil structure changes: aggregate size and soil texture effects on hydraulic conductivity under different saline and sodic conditions. *Australian Journal of Soil Research*, 47, 688–696.
- Bernoux, M., Cerri, C.C. Neill, C. and De Moraes, J.F.L., 1998. The use of stable carbon isotopes for estimating soil organic matter turnover rates. *Geoderma*, 82, 43–58.
- Boadu, F.K., 2000. Hydraulic conductivity of soils from grain-size distribution: new models. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 126(8), 739-746.
- Bouma, J., 1989. Using soil survey data for quantitative land evaluation, 1989. *Adv. Soil Sci.* 9, 177-213.
- Bouma, J., and van Lanen, H.A.J., 1987. Transfer functions and threshold values: from soil characteristics to land qualities. In: *Proc. of the Int. Workshop on Quantified Land Evaluation Procedures, 27/04–2/05/1986, Washington, DC, USA*, pp. 106–110.
- Brakensiek, D.L., Rawls, W.J. and Stephenson, G.R., 1984. Modifying SCS hydrologic soil groups and curve numbers for rangeland soils. *ASAE Paper No. PNR-84-203*, St. Joseph, MI.
- Campbell, G.S., Shiozawa, S., 1994. Prediction of hydraulic properties of soils using particle-size distribution and bulk density data. In: van Genuchten, M.Th., Leij, F.J., Lund, L. (Eds.), *Proceedings of International Workshop on Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils*. University of California, Riverside, CA, pp. 317-328.
- Canbolat, M.Y., Barik, K., ve Özgül, M., 1999. Erzurum yöresinde farklı ana materyaller üzerinde oluşmuş üç toprak profilinin kıvam limitleri ve şişme-büzülme karakteristikleri. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 30 (2), 121-129.
- Canbolat, M.Y. ve Öztaş T., 1997. Toprağın kıvam limitleri izerine etki eden bazı faktörler ve kıvam limitlerinin tarımsal yönden değerlendirilmesi *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.* , 28 (1), 120-129
- Chakraborty, D., Chakraborty, A., Santra, P., Tomar, R.K., Garg, R.N., Sahoo, R.N., Choudhury, S.G., Bhavanarayana, M. and Kalra, N., 2006. Prediction of hydraulic conductivity of soils from particle-size distribution. *Current Science*, 90 (11), 1526-1531.
- Chapuis, R.P. and Aubertin, M., 2003. On the use of the Kozeny–Carman equation to predict the hydraulic conductivity of soils. *Can. Geotech. J.* ,40, 616–628.
- Christiaens, K. and Feyen, J., 2001. Analysis of uncertainties associated with different methods to determine soil hydraulic properties and their propagation in the distributed hydrological MIKE SHE model. *Journal of Hydrology*, 246(1–4), 63–81.
- Cornelis, W.M., Ronsyn, J. and Van Meirvenne, M., Hartmann, R., 2001. Evaluation of pedotransfer functions for predicting the soil moisture retention curve. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 65, 638–648.

- Cosby, B. J., Hornberger, G. M., Clapp, R. B., and Ginn, T. R., 1984. A Statistical Exploration of the relationships of soil moisture characteristics to the physical properties of soils. *Water Resources Research*, 20(6), 682–690.
- Dane, J.H. and Puckett, W., 1992. Field soil hydraulic properties based on physical and mineralogical information. In: van Genuchten, M.Th., Leij, F.J., Lund, L. (Eds.), *Proceedings of International Workshop on Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils*. University of California, Riverside, CA, pp. 389-403.
- Dane, J.H. and Puckett, W., 1994. Field soil hydraulic properties based on physical and mineralogical information. In *Proceedings of the International Workshop on Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils*. (Eds MTh van Genuchten et al.) pp. 389–403. University of California: Riverside, CA )
- De Jong, E., D.F. Acton, H. B. Ststonehouse, 1990. Estimating the Atterberg limits of southern saskatchewan soils from texture and carbon contents. *Can. J. Soil Sci.*, 70: 543- 554.
- Dec, D., Dörner, J., Becker-fazekas, O., and Horn, R., 2008. Effect of bulk density on hydraulic properties of homogenized and structured soils. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 8:1–13.
- Demiralay, İ., 1993. *Toprak Fiziksel Analizleri*. Atatürk Üni. Ziraat Fak. Yayınları No, 143.
- Demiralay, İ., Güresinli, Y.Z., 1979. Erzurum ovası topraklarının kıvam limitleri ve sıkışabilirliği üzerinde bir araştırma. *Atatürk Üni. Ziraat Fak. Dergisi*, 10 (1-2), 77-93.
- Dowdy, S., S. Weardin, 1983. *Statistics for Research*. John Wiley and Sons I. New York, USA.
- Durner, W. Lipsius,K., 2011. Determination of hydraulic properties of porous media across the whole moisture range. *Proceedings Encyclopedia of Hydrological Sciences*. Edited by M G Anderson. John Wiley & Sons, Ltd.
- Elhakeema, M., Papanicolaou A.N. T., Wilsonb C. G., Changc Y. J., Burrasd L, Abbanb B., Wysockie D.A. and Willse, S., 2018. Understanding saturated hydraulic conductivity under seasonal changes in climate and land use. *Geoderma*, 315 , 75–87.
- Elhakim, A.F. 2016. Estimation of soil permeability. *Alexandria Eng J.* ,55(3) ,2631-2638.
- El-Kadi, A.I., 1985. On estimating the hydraulic properties of soil. 2: a new empirical equation for estimating hydraulic conductivity for sands. *Adv. Water Resour.* 8, 148-153.
- Fang, K., Chen, X.M., Zhang, J.B., Wang, B.R., Huang, J., Gan, Z.F., 2008. Saturated hydraulic conductivity and its influential factors of typical farmland in red soil region. *J Irri Drain*, 27, 67–69.

- Ferrer-Julià M., Monreal, T. E., Jiménez, A. S. C. and Meléndez, E. G., 2004. Constructing a saturated hydraulic conductivity map of Spain using pedotransfer functions and spatial prediction. *Geoderma*, 123, 275-277.
- Franzluebbers, A.J., 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil Till Res.* 66,95-106.
- Ghanbarian-Alavijeh, B., Liaghat, A. and Sohrabi, S., 2010. Estimating saturated hydraulic conductivity from soil physical properties using neural networks model. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, 4(2), 58-63.
- Grigal, D.F., Brovold, S.L., Nord, W.S. and Ohmann, L.F., 1989. Bulk density of surface soils and peat in the north central United States. *Can. J. Soil Sci.*, 69, 895-900.
- Grüneberg, E., Ziche, D., and Wellbrock, N., 2014. Organic carbon stocks and sequestration rates of forest soils in Germany. *Global Change Biology*, 20(8), 2644-2662.
- Gupta, S. C. and Larson, W. E., 1979. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent and bulk density. *Water Resour. Res.*, 15, 1633-1635.
- Gülser, C. and Candemir, F., 2015. Using soil moisture constants and physical properties to predict saturated hydraulic conductivity. *Eurasian Journal of Soil Science*, 3(1), 77.
- Gündoğdu, K.S., 1988. Doygun Koşullarda Hidrolik İletkenlik Belirleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üni. Fen Bilimleri Enst. Adana.
- Head, K.H., 1984. *Manual of Soil Laboratory Testing. Volum 1: Soil Classification and Compaction Tests.* ISBN, 0-7273-1302-9. Biddles Ltd, Guildford, Surrey.
- Hızalan, E., Ünal, H. 1966. Topraklarda Önemli Kimyasal Analizler. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları, 278.
- Hillel, D., 1982. *Introduction to Soil Physics.* Academic Pres, Inc. San Diego, California, USA, p. 364
- Hwang, S.I., Powers, S.E., 2003. Using particle-size distribution models to estimate soil hydraulic properties. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 67, 1103-1112.
- Ishaku, J.M., Gadzama, E.W. and Kaigama U., 2011. Evaluation of empirical formulae for the determination of hydraulic conductivity based on grain-size analysis. *Journal of Geology and Mining Research*, 3(4), 105-113.
- Islam, N., Wallender, W. W., Mitchell, J. P., Wicks, S. and Howitt, R. E., 2006. Performance evaluation of methods for the estimation of soil hydraulic parameters and their suitability in a hydrologic model. *Geoderma*, 134, 135-151.
- Jabro, J.D., 1992. Estimation of saturated hydraulic conductivity of soils from particle size distribution and bulk density data. *Amer. Soc. of Agric. Engin.*, 35(2), 557-560.
- Jarvis, N., Koestel, J., Messing, I., Moeys, J. and Lindahl, A., 2013. Influence of soil, land use and climatic factors on the hydraulic conductivity of soil. *Hydrology and Earth Sys. Sci.*, 17(12), 5185-5195.

- Jaynes, D. B. and Tyler, E. J., 1984. Using soil physical properties to estimate hydraulic conductivity. *Soil Sci.* 138, 298–305.
- Jones, C.A., 1983. Effect of soil texture on critical bulk densities for root growth. *Soil Science Society of American Journal* 47: 1208-1211.
- Karahan, G., Erşahin, S., 2016. Predicting saturated hydraulic conductivity using soil morphological properties. *Eurasian J Soil Sci.*, 5 (1) , 30 – 38.
- Keller, T, and Håkansson I., 2010. Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. *Geoderma*, 154(3-4), 398–406.
- Klute, A. and Dirksen, C., 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. In: Klute, A. (ed) *Methods of soil analysis, part 1, physical and mineralogical methods*, 2nd edn. ASA, Madison, WI, pp 687–734.
- Lado. M, Ben-Hur, M. and Shainberg, I., 2004. Soil wetting and texture effects on aggregate stability, seal formation and erosion. *Soil Sci Soc Amer. J.*, 68,1992–1999.
- Li, Y., Chen, D., White, R. E., Zhu, A. and Zhang, J., 2007. Estimating soil hydraulic properties of Fengqiu County soils in the North China Plain using pedo-transfer functions. *Geoderma*, 138, 261–271.
- Li, X.L., Chen, X.M., Zhou, L.C., Fang, K., 2008. Soil saturated hydraulic conductivity and its influential factors in Southwest Karst region of China. *J Irri Drain* 27, 74–76.
- Lilly, A., Nemes, A., Rawls, W.J. and Pachepsky, Y.A., 2008. Probabilistic approach to the identification of input variables to estimate hydraulic conductivity. *Soil Science Soc. of Amer. J.*, 72, 16–24.
- Mbonimpa, M., Aubertin, M., Chapuis, R.P. Bussiere, B., 2002. Practical pedotransfer functions for estimating the saturated hydraulic conductivity. *Geotechnical and Geological Engineering*, 20, 235–259.
- Minasny, B., and Hartemink, A. E., 2011. Predicting soil properties in the tropics. *Earth-Science Reviews*, 106(1–2), 52–62.
- Musavi-jahro, S. H. and Shiravand, R., 2012. Determination of hydraulic conductivity applying empirical formulae and physical modeling. *Archives Des Sciences*, 65(5), 15–21.
- Nelson, D.W. and Sommer, L.E., 1982. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, 2nd Edition. ASA-SSSA, Madison, 595-579.
- Nemes, A., Rawls, W.J. and Pachepsky, Y.A., 2005. The influence of organic matter on the estimation of saturated hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 69, 1330-1337.
- Odong, J., 2008. Evaluation of empirical formulae for determination of hydraulic conductivity based on grain-size analysis. *The Journal of American Science*, 4(1): 1-6.

- Pachepsky, Y. A., Rajkai, K., and Tóth, B., 2015. Pedotransfer in soil physics: trends and outlook - A review. *Agrokémia És Talajtan*, 64(2), 339–360.
- Pachepsky, Y. and Park, Y., 2015. Saturated hydraulic conductivity of US soils grouped according to textural class and bulk density. *Soil Science Society of America Journal*, 79(4), 1094.
- Parasuraman, Kamban, P., Elshorbagy, A. and Si, B. C., 2007. Estimating Saturated Hydraulic Conductivity Using Genetic Programming. *Soil Science Society of America Journal*, 71(6), 1676-1684.
- Patil, N.G., Singh S. K., 2016. Pedotransfer Functions for Estimating Soil Hydraulic Properties: A Review. *Pedosphere*, 26(4), 417–430.
- Puckett, W. E., J. H. Dane, and B. F. Hajek., 1985. Physical and mineralogical data to determine soil hydraulic properties. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 49(4), 831-836.
- Rasoulzadeh, A. and Yaghoubi, A., 2011. Study of cattle manure effect on soil hydraulic properties using inverse method. 2nd International Conference on Environmental Science and Technology (ICEST), Singapore, February 26-28.
- Rasoulzadeh, A., 2010. Estimating Hydraulic Conductivity Using Pedotransfer Functions, *Hydraulic Conductivity - Issues, Determination and Applications*, Prof. Lakshmanan Elango (Ed.), ISBN: 978-953-307- 288-3.
- Rawls, W.J., Brakensiek, D.L. and Saxton, K.E., 1982. Estimation of soil water properties. *Trans. Amer. Soc. of Agric. Engng* 25, 1316-1328.
- Reichert, J. M., Suzuki, L.E.A.S., Reinert, D. J., Horn, R. and Håkansson, I., 2008. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. *Soil and Tillage Research*, 102(2), 242–254.
- Ren, X., Zhao, Y., Deng, Q., Kang, J., Li, D. and Wang, D., 2016. A relation of hydraulic conductivity — void ratio for soils based on Kozeny-Carman equation. *Engineering Geology*, 213, 89–97.
- Reynolds, C. A., Jackson, T. J., and Rawls, W. J., 2000. Estimating soil water-holding capacities by linking the Food and Agriculture Organization soil map of the world with global pedon databases and continuous pedotransfer functions. *Water Resources Research*, 36(12), 3653–3662.
- Reynolds, W.D., Elrick, D.E., 1986. A method for simultaneous in situ measurement in the vadose zone of field-saturated hydraulic conductivity sorptivity and the conductivity-pressure head relationship. *Ground Water Monit Rev.*, 6:84–95.
- Rosas, J., Jadoon, K. Z., and Missimer, T. M., 2015. New empirical relationship between grain size distribution and hydraulic conductivity for ephemeral streambed sediments, *Environ Earth Sci.*, *Environ Earth Sci.*, 73,1303–131
- Rosas, J., Lopez, O., Missimer, T.M., Coulibaly, K.M., Dehwah, A.H.A., Sesler, K., Lujan, L.R., Mantilla, D., 2014. Determination of hydraulic conductivity from grain-size distribution for different depositional environments. *Groundwater*, 52(3), 399–413.

- Salarashayeri, A.F. and Siosemarde, M., 2012. Prediction of soil hydraulic conductivity from particle-size distribution. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Geological and Environmental Engineering*, 6(1), 16-20.
- Salchow, E., Lal, R., Fausey, N. R., and Ward, A. 1996. Pedotransfer functions for variable alluvial soils in southern Ohio. *Geoderma*, 73(3-4), 165-181.
- Sarki, A., Mirjat, M.S., Mahessar, A.A., Kori, S.M. and Qureshi, A.L., 2014. Determination of saturated hydraulic conductivity of different soil texture materials, 7(12), 56-62.
- Saxton, K. E. Rawls, W. J., Romberger, J. S. and R. Papendick, I., 1986. Estimating soil water characteristics-hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 50, 1031-1036.
- Saxton, K.E., and Rawls, W.J., 2006. Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. *Soil Sci. Soc. of Amer. J.*, 70(5), 1569.
- Saxton, K.E., Rawls, W.L., Rosenberger, J.S. and Papendick, R.I., 1986. Estimating generalized soil water characteristics from texture. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 50,1031-1036.
- Schaap, M.G., 2005. Models for Indirect Estimation of Soil Hydraulic Properties, *Encyclopedia of Hydrological Sciences*. John Wiley & Sons.
- Schaap, M.G., Leij, F.J., van Genuchten, M.T., 2001. ROSETTA: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. *J. Hydrol.*, 251,163-176.
- Schoeneberger, P.J., Wysocki, D.A., 2005. Hydrology of soils and deep regolith: a nexus between soil geography, ecosystems and land management. *Geoderma*, 126, 117-128.
- Schwartz, F.W., Zhang, H., 2003. *Fundamentals of Groundwater*. John Wiley & Sons, Inc., p. 583.
- Shepherd, R.G, 1989. Correlations of permeability and grain size. *Ground Water*, 27(5), 633-638.
- Siltanen, R.M., Apps, M.J., Zoltai, S.C., Mair, R.M. and Strong, W.L., 1997. A soil profile and organic carbon database for Canadian forest and tundra mineral soils. Natural Resources Canada, CFS, Northern For Centre, 5320-122 Street, Edmonton, Alberta.
- Silveira Neto, A.N., Silveira, P.M., Stone, L.F. and Oliveira, L.F.C., 2006. Effects of soil tillage and crop rotation systems on soil physical attributes. *Pesq Agrop. Trop.*, 36,1-20.
- Smettem, K.R.J., and Bristow, K.L., 1999. Obtaining soil hydraulic properties for water balance and leaching models from survey data. 2. Hydraulic conductivity. *Aust. J. Agric. Res.*, 50(7), 1259-1262.

- Sönmez, K., Öztaş, T., 1988. Iğdır ovası yüzey topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ile mekaniksel özellikleri mekaniksel özellikleri arasındaki ilişkiler. Atatürk Üni. Ziraat Fak. Dergisi, 19 (1-4), 145-153.
- Stringer, C.E., Trettin, C.C. and Zarnoch, S.J. 2016. Soil properties of mangroves in contrasting geomorphic settings within the Zambezi River Delta, Mozambique Wetl. Ecol. Manage., 24, 139-52.
- Tietje, O. and Hennings, V., 1996. Accuracy of the saturated hydraulic conductivity prediction by pedo-transfer functions compared to the variability within FAO textural classes. Geoderma ,69, 71-84.
- Tietje, O. and Tapkenhinrichs, M., 1993. Evaluation of pedotransfer functions. Soil Sci. Soc. Amer. J., 57, 1088- 1095.
- Timlin, D.J. Williams, R.D., Ahuja, L.R. and Heathman, G.C., 2004. Simple Parametric Methods to Estimate Soil Water Retention and Hydraulic Conductivity (Chapter 5). Development of pedotransfer functions in soil hydrology. Ed. Pachepsky, Y.A. and Rawls, W.J., Developments in Soil Science, 30. Amsterdam, Elsevier, 498p
- Todd, D.K., Mays, L.W., 2005. Groundwater Hydrology. John Wiley & Sons, New York.
- Todd-Brown, K.E.O., Randerson, J.T., Post, W.M., Hoffman, F.M., Tarnocai, C., Schuur, E.A.G. and Allison, S.D., 2012. Causes of variation in soil carbon predictions from CMIP5 Earth system models and comparison with observations. Biogeosci Discuss, 9:14437–14473
- Uma, K.O., Egboka, B. C. E., and Onuoha, K. M., 1989. New statistical grain-size method for evaluating the hydraulic conductivity of sandy aquifers. Journal of Hydrology, 108, 367-386.
- van Genuchten M.Th., Leij F.J. and Wu L., 1999. Proceedings of the International Workshop on Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media, University of California, Riverside.
- Vereecken H., Maes, J. and Feyen., J., 1990. Estimating unsaturated hydraulic conductivity from easily measured soil properties. Soil Science 149: 1-12.
- Vereecken, H., Weynants, M., Javaux, M., Pachepsky, Y., Schaap, M.G. and van Genuchten, M.T., 2010. Using pedotransfer functions to estimate the van Genuchten-Mualem soil hydraulic properties: a review. Vadose Zone J., 9, 795–820.
- Wagenet, R.J., Bouma, J. and Grossman, R.B., 1991. Minimum datasets for use oftaxonomic information in soil interpretive models. Pages 161–183 in Mausbach M. J., Wilding L. P. (Eds.) Spatial variabilities of soils and landforms. Soil Sci. Soc. Amer. J.. Special Publication 28.
- Wagner, B., Tarnawski, V.R., Hennings, V., Müller, U., Wessolek, G. and Plagge, R., 2001. Evaluation of pedo-transfer functions for unsaturated soil hydraulic conductivity using an independent data set. Geoderma, 102,275–297.
- Wang, Z., Chang, A.C., Wu, L. and Crowley, D. 2003. Assessing the soil quality of long-term reclaimed wastewater-irrigated cropland. Geoderma, 114,261–278.

- Wang, Y., Shao, M.A., Liu, Z. and Horton, R., 2013. Regional-scale variation and distribution patterns of soil saturated hydraulic conductivities in surface and subsurface layers in the loessial soils of China. *J. Hydrol.* 487, 13–23.
- Wösten, J.H.M., 1997. Pedotransfer functions to evaluate soil quality. In: Gregorich, E.G., Carter, M.R. (Eds.), *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health, Developments in Soil Science, Vol. 25*. Elsevier, The Netherlands, pp. 221-245.
- Wösten, J.H.M., and M.T. van Genuchten. 1988. Using texture and other soil properties to predict the unsaturated hydraulic conductivity. *Soil Sci. Society of Amer. J.*, 52, 1762–1770.
- Wösten J.H.M., Lilly, A. Nemes, A. and Bas, C. L., 1999. Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. *Geoderma*, 90 (3–4), 169–185.
- Wösten, J.H.M., Pachepsky, Y.A. and Rawls, W.J., 2001. Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. *J. Hydro.* 251, 123–150.
- Wu, L., Vomicil, J.A. and Childs, S.W., 1990. Pore size, particle size, aggregate size and water retention. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* ,54, 95.
- Xu, C., Xu, X., Liua, M., Liuc, W., Yanga, J. Luoa, W., Zhanga, R., and Kielyd, G., 2017. Enhancing pedotransfer functions (PTFs) using soil spectral reflectance data for estimating saturated hydraulic conductivity in southwestern China. *Catena*, 158, 350–356.
- Yakupoğlu, T., Şişman, A.Ö., Karagöktaş M. ve Demir, Ö.F., 2013. Toprakların doymun koşullardaki hidrolik iletkenlik değerlerinin pedotransfer eşitliklerle tahminlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8 (1),84-92.
- Yakupoğlu, T. ve Özdemir, N., 2006. Erozyona uğramış topraklarda organik atık uygulamalarının bazı mekaniksel özelliklere etkisi. *OMÜ Zir. Fak. Dergisi*, 21(2),173-178.
- Yao, R.J., Yang, J.S., Wu, D.H.,Li, F.R.,Gao, P. and Wang, X.P., 2015. Evaluation of pedotransfer functions for estimating saturated hydraulic conductivity in coastal salt-affected mud farmland. *J Soils Sediments*, 15, 902–916.
- Zelege, T. B., and Si, B. C., 2005. Scaling relationships between saturated hydraulic conductivity and soil physical properties. *Soil Sci. Soc. of Amer. J.* , 69(6), 1691-1702.
- Zhang, S., Lövdahl, L., Grip, H., and Tong, Y., 2007. Soil hydraulic properties of two loess soils in China measured by various field-scale and laboratory methods. *Catena*, 69(3), 264–273.
- Zhao, C., Shao, M., Jia, X., Nasir, M. and Zhang, C., 2016. Using pedotransfer functions to estimate soil hydraulic conductivity in the Loess Plateau of China. *Catena*, 143, 1-6.

## ÖZGEÇMİŞ

İbrahim Ethem TURAN 1978 yılında Erzurum'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzurum 'da tamamladı. 1999 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Teknolojisi Bölümünden 2006 yılında mezun oldu. Özel sektörde çalışmaya başladıktan sonra, 2011 yılında Bursa İnegöl İlçe Tarım Müdürlüğü'nde Ziraat Mühendisi olarak göreve başladı. Akabinde 2012 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Halen Erzurum'da ikamet etmekte olup, Palandöken İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü'nde Ziraat Mühendisi olarak görev yapmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.