

**ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**TOPRAĞIN MORFOLOJİK
VE
PARAMETRİK ÖZELLİKLERİNDEN
DOYGUN HİDROLİK İLETKENLİĞİNİN TAHMİNİ**

GÜLAY KARAHAN

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ÇANKIRI
2014**

Her hakkı saklıdır.

TEZ ONAYI

Gülay KARAHAN tarafından hazırlanan ‘Toprağın Morfolojik ve Parametrik Özelliklerinden Doygun Hidrolik İletkenliğinin Tahmini’ adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Sabit ERŞAHİN

Jüri Üyeleri

Başkan: Prof. Dr. Gönül AYDIN

Üye: Prof. Dr. Sabit ERŞAHİN

Üye: Prof. Dr. Taşkın ÖZTAŞ

Üye: Doç. Dr. Hasan Sabri ÖZTÜRK

Üye: Doç. Dr. Ceyhun GÖL

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Sezgin ÖZDEN

Enstitü Müdürü

ÖZET

Doktora Tezi

TOPRAĞIN MORFOLOJİK VE PARAMETRİK ÖZELLİKLERİNDEN DOYGUN HİDROLİK İLETKENLİĞİNİN TAHMİNİ

Gülay KARAHAN

Çankırı Karatekin Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sabit ERŞAHİN

Doygun toprakta hidrolik iletkenliği (K_s) tanımlamak için, hacim ağırlığı, tekstür, organik madde, gözenek büyüklüğü dağılımı gibi mevcut toprak özellikleri kullanılarak yapılan çok sayıda çalışma mevcuttur. Ancak, toprağın doygun hidrolik iletkenliği üzerinde güçlü bir etkisi olmasına rağmen, toprak yapısının tip, büyüklük ve dayanıklılığı; gözenek ve köklerin tip, oryantasyon ve miktarı ve yapışkanlık ve plastiklik gibi toprak morfolojik özellikleri ile doygun hidrolik iletkenlik arasındaki ilişkileri tanımlamayı amaçlayan çalışmalar çok azdır. Bu çalışmanın amacı, doygun hidrolik iletkenliği tahmin etmek için toprak parametrik özellikleri ile birlikte toprak morfolojik özelliklerinin de değerlendirilmesidir. Çalışmada, Çankırı ili Kızılırmak ilçesinde çeltik yetiştirilen alanlar ve bu alanlara bitişik meralardan alınan bozulmamış toprak örnekleri kullanılmıştır. Bozulmamış toprak örnekleri çalışma alanında rastgele seçilen 60 noktadan, traktörün üç-nokta askı sistemine bağlanan özel bir örnekleme düzeneğine monte edilen plastik toprak örnekleycileri (15 cm uzunluğunda ve 8 cm çapında) ile üst toprak (0-15 cm) ve alt topraktan (15-30 cm) olmak üzere iki farklı derinlikten (120 adet) alınmıştır. Toprak parametrik özelliklerinin analizleri için aynı örnek noktalarından bozulmuş toprak örnekleri alınmıştır. Doygun hidrolik iletkenlik, toprak kolonlarında sabit yük seviyeli hidrolik iletkenlik seti kullanılarak ölçülmüştür. Doygun hidrolik iletkenlik ölçümünü takiben, buharlaşmayı önlemek için toprak kolonlarının üstü kapatılmış ve laboratuvarında bekletilmiştir. Kolonlardan su akışı durduğunda, hacim ağırlığı örnekleri alınmış ve penetrasyon direnci ölçülmüştür. Daha sonra topraklar kolonlardan çıkarılmış ve toprak profil tanımlamalarında kullanılan tanımlama kartları yardımıyla örneklerde toprak rengi, toprak yapısı, gözeneklilik, kökler, kıvam, yapışkanlık, plastiklik ve uzama katsayısı gibi toprak morfolojik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca, bozulmuş toprak örneklerinde toprak tekstürü, hacim ağırlığı, pH, tarla kapasitesi ve solma noktası, katyon değişim kapasitesi, özgül yüzey alanı, agregat stabilitesi, organik madde miktarı ve kireç içeriği ölçümleri yapılmıştır. Laboratuvarında ölçülen doygun hidrolik iletkenlik (K_s) değerlerinin aritmetik ortalaması 0.83 cmsa^{-1} olup, maksimum 2.71 ve minimum $0.0036 \text{ cm sa}^{-1}$ arasında değişmektedir. Parametrik özellikler içerisinde en fazla değişkenliği K_s (%80) ve en düşük değişkenliği toprak reaksiyonu (pH) (%5.68); morfolojik özellikler içerisinde ise en yüksek değişkenliği kök miktarı (%61) ve en düşük değişkenliği ise yapı tipi (%19) göstermiştir. Ölçülen K_s değerleri ile toprak morfolojik ve parametrik özellikleri arasındaki ilişki çoklu doğrusal regresyon kullanılarak değerlendirilmiştir. Toprak yapışkanlık, yapı sınıfı, gözenek büyüklüğü, plastiklik ve gözenek miktarı özellikleri ile K_s arasında önemli ilişki bulunmuştur. Bu özellikler kullanılarak geliştirilen çoklu regresyon eşitliğinin K_s 'teki değişkenliğin %94'ünü tanımladığı ve ölçülen ve tahmin edilen değerler arasında %95'lik bir uyum olduğu görülmüştür. Dinamik süreçlerin tahmininde toprak veritabanlarında mevcut olan toprak morfolojik özelliklerinin temel toprak özellikleri ile kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

2014, 256 sayfa

Anahtar Kelimeler: Doygun hidrolik iletkenlik, morfolojik özellikler, PTF, çoklu regresyon

ABSTRACT

Phd Thesis

PREDICTING SATURATED HYDRAULIC CONDUCTIVITY BY SOIL PARAMETRIC AND MORPHOLOGICAL PROPERTIES

Gülay KARAHAN

Cankırı Karatekin University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Forest Engineering

Supervisor: Prof. Sabit ERŞAHİN

Numerous of studies have been conducted to describe soil saturated hydraulic conductivity (K_s) by soil parametric properties such as bulk density, texture, organic matter, and particle-size distribution. However, although soil morphological properties have a strong effect on K_s , studies targeting at describing relation between K_s and soil morphological properties such as type, size, and strength of soil structure; type, orientation and quantity of soil pores and roots; consistency; and plasticity are rare. This study aimed at evaluating soil morphological properties along with soil parametric properties to predict K_s . The study was conducted on paddy soils and adjacent grasslands on Kızılırmak Township (near the town) of Cankırı Province. Undisturbed soil samples were collected from sixty randomly selected sampling sites from topsoil (0-15 cm) and subsoil (15-30 cm) (120 samples) with plastic soil samplers (15 cm length and 8.0 cm id.) connected to an apparatus mounted to three-point system of a tractor. Synchronized disturbed soil samples were taken from the same sampling sites and depths for basic soil analyses. Saturated hydraulic conductivity was measured on the soil columns using a constant-head permeameter. Following the K_s measurements, the upper part of soil columns were covered to prevent evaporation and columns were waited in the laboratory. When the water flow through the column was stopped, samplings were taken for bulk density and penetration resistance was measured on the columns. Then, the soils were disturbed and morphological properties of soil color, soil structure, pores, roots, consistency, and plasticity were described by standard soil description charts used in soil survey studies. In addition, soil texture, bulk density, soil reaction (pH), field capacity, wilting point, cation exchange capacity, specific surface area, aggregate stability, organic matter content, and calcium carbonate were measured on the synchronized disturbed soil samples. Laboratory measured K_s -values had a mean of 0.83 cm h^{-1} and changed between 2.71 and 0.0036 cm h^{-1} . Greatest variability occurred for K_s (80%) and lowest for pH (5.6%) for soil parametric variables; and greatest variability occurred for root amount (61%) and lowest for structure class for morphometric properties. The measured K_s values were correlated to soil parametric and morphological properties by multiple linear regressions. Stickiness, soil structure grade, pore size, plasticity, and pore quantity significantly correlated to K_s . Linear multiple regression equation developed using these properties, described 94% total variation in K_s , and measured and predicted K_s values were significantly correlated with each other ($r=0.95$). The results showed that soil morphological properties, that readily available in soil survey databases, can be used along basic soil properties in predicting soil dynamic processes.

2014, 256 pages

Keywords: Saturated hydraulic conductivity, morphological properties, PTF, multiple regressions.

TEŞEKKÜR

Bilime yol almak tesadüf değildir. Zamanı ve yeri geldiğinde çalışma, disiplin, bilgi ve başarı alanında size ilham veren, hedefler belirlemenize neden olan ve takip etmeniz gerektiğini düşündüğünüz bilim insanları ile karşılaşacaksınız. Bu yola sağlam adımlar ile başlamamı sağlayan danışman hocam Prof. Dr. Sabit ERŞAHİN'e sonsuz teşekkür ederim.

Doktora eğitimim boyunca yoğun akademik ve idari çalışmalarına rağmen ayırdığı zamana ve öğrettiği her şeye, kendisinin öğrencisi olarak ileride yapmayı hedeflediğim çalışmalarla da teşekkür etmek isterim.

Laboratuvar çalışmalarımda Orman Fakültesinin olanaklarını kullanmamı sağlayan Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölüm Başkanı değerli hocam Prof. Dr. Ziya ŞİMŞEK'e minnet ve teşekkürlerimi sunar, aynı zamanda doktora eğitimim sırasında gösterdiği ilgi ve nezaketi için teşekkür ederim.

Tez aşamasında ve çalışmalarım süresince desteğini ve bilgisini esirgemeyen değerli tez izleme komitesi üyesi Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Hasan Sabri ÖZTÜRK'e ve tez izleme komitesi üyesi Çankırı Karatekin Üniversitesi Orman Fakültesi Havza Yönetimi Anabilim Dalı Başkanı Doç. Dr. Ceyhun GÖL'e, değerleri katkıları için tez jüri üyeleri Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Gönül AYDIN ve Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Taşkın ÖZTAŞ'a çok teşekkür ederim.

Toprak örneklerinin alınmasında ve çalışma alanı genel bilgileri temininde yardımlarını esirgemeyen Kızılırmak Meslek Yüksek Okulu Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Ali ECE'ye, çalışma alanı ölçümleri ve harita oluşturulmasında yardımcı olan Orman İnşaatı ve Transportu Anabilim Dalı Araştırma Görevlisi Ender BUĞDAY'a, laboratuvarda kullanılan alet ve malzeme temininde ve analizlerde yardımcı olan Havza Yönetimi Anabilim Dalı Araştırma Görevlisi Semih EDİŞ'e teşekkür ederim.

Analiz sonuçları yazımında yardımcı olan Silvikültür Anabilim Dalı Araştırma Görevlisi Özlem EKEN'e, analizlerde yardımcı olan Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Araştırma Görevlileri Muhittin Onur AKÇA, Çağla TEMİZ, Mehmet Burak TAŞKIN ve Emre Can KAYA'ya teşekkür ederim.

Yüksek lisans ve doktora eğitimime devam etmemi sağlayan, beni destekleyen, inanan ve manevi olarak her zaman yanımda hissettiğim aileme derin şükranlarımı sunarım.

Tez yazımı sırasında engin bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen ve sonrasında akademik hayatım boyunca esirgemeyecek olan değerli bilim insanları Prof. Yakov PACHEPSKY ve Prof. Evgeny SHEIN'a çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, Çankırı Karatekin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Biriminde yürütülen (BAP 2012/8) 'Toprak Parametrik Özelliklerinden Doygun Hidrolik İletkenliğin Tahmini' konulu Bilimsel Araştırma Projesi ve TÜBİTAK tarafından (BİDEP/2233) 'Toprak Morfolojik Özelliklerinden ve Parametrik Özelliklerden Doygun Hidrolik İletkenliğin Tahmini' konulu Doktora Yurtiçi Araştırması olarak desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı her iki kuruma ayrı ayrı teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Gülay KARAHAN

Çankırı, 2014

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	6
2.1. Hidrolik İletkenlik.....	6
2.1.1. Doygun olmayan hidrolik iletkenlik.....	9
2.1.2 Doygun olmayan hidrolik iletkenliğin belirlenmesinde kullanılan yöntemler .	12
2.1.2.1 Laboratuvarında kullanılan yöntemler	12
2.1.2.2 Arazide kullanılan yöntemler	14
2.1.3 Doygun hidrolik iletkenlik.....	16
2.1.4 Doygun hidrolik iletkenliğin belirlenmesinde kullanılan yöntemler	21
2.1.4.1 Laboratuvarında kullanılan yöntemler	21
2.1.4.2 Arazide kullanılan yöntemler	22
2.2 Doymuş Hidrolik İletkenliğin Tahmininde Kullanılan Toprak Özellikleri	24
2.2.1 Toprak strüktürü (yapısı)	25
2.2.1.1 Toprak strüktürü ve hidrolik iletkenlik ilişkisi.....	28
2.2.2 Toprak gözenekleri	32
2.2.2.1 Makro (Kaba) gözenekler	34
2.2.2.2 Mezo (Orta) gözenekler	36
2.2.2.3 Mikro (Küçük) gözenekler	36
2.2.2.4 Toprak gözenekliliği ile hidrolik iletkenlik ilişkisi.....	36
2.2.3 Toprak kıvamı (Consistence)	39
2.2.3.1 Toprak kıvamının belirlenmesi.....	40
2.2.3.2 Toprak kıvam göstergesi	40
2.2.4 Toprak plastiklik özelliği.....	43
2.2.5 Toprak yapışkanlığı	48
2.2.6 Toprak kıvamı ve hidrolik iletkenlik	51

2.2.7 Toprakta kökler	52
2.2. 8 Toprakta benekler.....	55
2.2. 9 Toprak rengi.....	57
2.2. 10 Toprak uzama katsayısı (COLE Index).....	60
2.2.11 Toprakların şişme ve büzülme özellikleri.....	64
2.2.12 Toprak hacim ağırlığı	68
2.2.13 Toprak penetrasyon direnci	70
2.2.14 Toprak bünyesi.....	71
2.2.15 Agregat stabilitesi.....	74
2.2.16 Toprak organik maddesi	76
2.2.17 Tarla kapasitesi	78
2.2.18 Solma noktası.....	81
2.2.19 Toprak reaksiyonu ve EC.....	83
2.2.20 Kireç	85
2.2.21 Katyon değişim kapasitesi	87
2.2.22 Toprak özgül yüzey alanı	91
2.3 Toprak Hidrolik Özelliklerinin Modellenmesi.....	93
2.4 Hidrolik İletkenlik Tahmininde Kullanılan Modeller	95
2.5 Pedotransfer Fonksiyonları.....	98
2.5.1 Pedotransfer fonksiyonlarının tarihi.....	102
2.5.2 PTF'lerin sınıflandırılması	111
2.5.2.1 Sınıf PTF'ler	111
2.5.2.2 Sürekli PTF'ler.....	111
2.5.3 PTF'lerin kullanımı	113
1-Bir toprak modeli yapısına dayanarak hidrolik özellik tahmini.....	113
2-Su tutma özelliğinin nokta tahmini	114
3-Hidrolik özelliklerin tanımında kullanılan tahmin parametreleri.....	115
2.5.4 Pedotransfer Fonksiyonları kullanımında temel sorunlar	115
2.5.5 Pedotransfer fonksiyonlarında kullanılan toprak özellikleri.....	117
2.5.6 Pedotransfer fonksiyonlarının oluşturulmasında kullanılan yöntemler.....	121
2.5.6.1 Regresyon analizi	124
2.5.6.2 Yapay sinir ağları.....	125
2.5.6.3 Veri işlemede gruplandırma yöntemi.....	129
2.5.6.4 Sınıflama ve regresyon ağaçları.....	131

2.5.6.5 Bulanık Mantık Sistemi	133
2.5.6.6 Parametrik PTF'ler	135
2.5.6.7 Destek vektör makinesi.....	137
2.5.7 PTF'lerin doğruluk ve güvenilirliği.....	139
2.5.7.1 PTF'lerin doğruluğu	141
2.5.7.2 PTF'lerin güvenilirliği	141
2.5.8 PTF tahminlerindeki belirsizlikler	143
2.5.9 PTF tahminlerinin verimlilik ve performansı	146
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	149
3.1 Araştırma Alanının Genel Tanıtımı	149
3.1.1 Jeoloji ve topoğrafya	150
3.1.2 İklim	150
3.1.2.1 İklim tipi.....	150
3.1.2.2 Yağış	151
3.1.4 Topraklar	151
3.1.5 Bitki örtüsü	153
3.2 Yöntem	154
3.2.1 Toprak Örnekleme.....	154
3.2.2 Laboratuvar Çalışmaları.....	159
3.2.2.1 Fiziksel analizler.....	159
Toprak penetrasyon direnci	162
3.2.2.1.4 Toprak bünyesi.....	163
3.2.2.1.5 Agregat stabilitesi.....	163
3.2.2.1.6 Tarla kapasitesi	163
3.2.2.1.7 Solma noktası.....	163
3.2.2.1.8 Toprak uzama katsayısı.....	164
3.2.2.2 Kimyasal analizler.....	165
3.2.2.2.1 Toprak organik maddesi	165
3.2.2.2.2 Toprak reaksiyonu ve EC.....	165
3.2.2.2.3 CaCO ₃	166
3.2.2.2.4 Katyon değişim kapasitesi	166
3.2.2.2.5 Toprak özgül yüzey alanı	166
3.2.2.3 Morfolojik tanımlamalar	168
3.2.2.3.1 Toprak strüktürü (yapısı)	168

3.2.2.3.2 Toprak gözenekliliği (porlar)	172
3.2.2.3.3 Toprak kıvamı	175
3.2.2.3.4 Toprak yapışkanlığı	177
3.2.2.3.5 Toprak plastikliği	178
3.2.2.3.6 Toprakta kökler	179
3.2.2.3.7 Toprakta leke ve benekler	180
3.2.2.3.8 Toprak rengi	181
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	184
4.1. Tanımsal istatistiksel analizler	184
5. SONUÇ	207
KAYNAKLAR	209
EKLER	237
Ek.1 Toprak parametrik ve morfolojik özellikleri ile K_s arasındaki korelasyon değerleri	237
ÖZGEÇMİŞ	238

SİMGELER DİZİNİ

%	Yüzde
ΔH	Toplam hidrolik yükteki değişim
ΔL	Kolonun derinliğindeki değişim
A	Kolon yüzey alanı
AB	Köşeli strüktür
AS	Agregat stabilite indeksi
CART	Sınıflama ve regresyon ağaçları
CI	Toprak kıvam indeksi
CO	Kaba strüktür
CO ₂	Karbondioksit
COLE	Toprak Doğrusal Uzama Katsayısı
EGME	Ethylene Glycol Monoethyl Ether
FKT	Kuru toprak ağırlığı
GBYSA	Geri beslemeli yapay sinir ağları
GMDH	Veri işlemede gruplandırma
GPS	Uzaktan algılama sistemi (Global Positioning System)
h	Basınç yükü
ha	Hektar
HA	Hacim ağırlığı
IME	İntegral Ortalama Hata
IRMSE	İntegral Hata Kareleri Ortalaması
İBYSA	İleri beslemeli yapay sinir ağları
k	Gerçek geçirgenlik
KDK	Katyon değişim kapasitesi
K _h	Doygun olmayan hidrolik iletkenlik
km	Kilometre
km ²	Kilometrekare
K _s	Doygun Hidrolik iletkenlik
L	Toprak kolonu uzunluğu
Ld	Kuru çubuğun uzunluğu
LL	Likit limit
Lm	Nemli çubuğun uzunluğu
lt	Litre
m	Metre
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
MAE	Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error)
me	Miliekivalan
ME	Ortalama Hata (Mean Error)
mg	Miligram
mol	Mol
NaOAc	Sodyum asetat
NH ₄ OAc	Amonyum Asetat
°	Derece

OM	Organik madde
ÖYA	Özgül yüzey alanı
P ₂ O ₅	Fosfor penta oksit
PD	Penetrasyon direnci
PI	Plastiklik Limiti
PL	Yassı strüktür
PR	Prizmatik strüktür
PTF	Pedotransfer function
Q	Belirli bir zamanda kolonu terk eden su hacmi
r	Korelasyon katsayısı
R ²	Determinasyon katsayısı
RMSE	Hata Kareleri Ortalaması (Root Mean Square Error)
Өs	van Genuchten parametresi
sn	Saniye
SN	Solma noktası
SVM	Support Vector Machine
t	Zaman
TK	Tarla kapasitesi
v	Viskozite
vb	ve bunun gibi
vd	ve diğerleri
W	Ağırlık üzerinden toprak su içeriği
WRC	Su tutma eğrisi (Water retention curve)
xi	Mesafe
YSA	Yapay sinir ağları
Z	Aşağı yön pozitif olmak üzere düşey mesafe
α	van Genuchten parametresi
Δh	Pozitif basınç potansiyeli
δ _{ij}	Kronecker delta
θ	Hacimsel su içeriğini

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Doygun şartlarda (a) ve doymun olmayan şartlarda (b) toprak gözenekleri.....	7
Şekil 2.2 Hidrolik iletkenliği belirleme yöntemleri	8
Şekil 2.3 Toprak profili içinde su yükseklikleri farkı	16
Şekil 2.4 Bir toprak kolonunda hidrolik iletkenlik ölçümü için kullanılan sabit yük düzeneği	17
Şekil 2.5 Darcy yasasını türetmek için kullanılan deneysel aparatlar.....	18
Şekil 2.6 Toprak yapısı şekilleri.....	26
Şekil 2.7 Toprak strüktür tipleri ve oluşumları	27
Şekil 2.8 Toprak suyunun agregatlar arasında akışı.....	29
Şekil 2.9 Drenaj ile ilgili toprak yapısı sistematığı	29
Şekil 2.10 Killi bir toprakta makro ve mezo gözenekler (porlar)	33
Şekil 2.11 Kumlu ve killi toprakta makro ve mikro gözenekler	33
Şekil 2.12 Toprak taneleri arasındaki farklı büyüklükteki gözenekler	33
Şekil 2.13 Toprak gözenekliliğinin değerlendirilmesi	35
Şekil 2.14 Toprakta makroporlar ve mikroporlar	37
Şekil 2.15 Toprak kıvamını belirleme yöntemleri	41
Şekil 2.16 Toprak nem içeriğine göre kıvam	42
Şekil 2.17 Büzülme, plastik ve likit limitleri	43
Şekil 2.18 Büzülme sınırı oluşturulması için aşamalar	44
Şekil 2.20 (a) Kil gibi sert veya yarı plastik bir maddenin gerilme-deformasyon davranışını gösteren grafik, (b) Kil veya kaya gibi kırılğan maddelerin sergilediği davranışı gösteren grafik	46
Şekil 2.21 Yapışma derecelerine göre toprakların görünümü.....	49
Şekil 2.22 Eşit miktarlarda alınan farklı tekstürdeki toprakların plastiklik ve yapışma özelliklerine göre aldıkları şekiller.....	50
Şekil 2.23 Toprakta kökler ile oluşan makrogözenekler.....	53
Şekil 2.24 Bir hektar toprak altındaki kışık buğdayın 300.000 km uzayabilen kökleri... 54	
Şekil 2.25 Bitki köklerinin toprakta oluşturduğu çatlaklar	54
Şekil 2.26 Toprakta farklı desenlerde oluşan benekler	56
Şekil 2.27 Topraklarda görülen farklı renkler.....	58
Şekil 2.28 Şişme-büzülme özelliği gösteren ağır killi bir toprak.....	61
Şekil 2.29 Islanma ve kuruma nedeni ile toprakta agregat oluşumu	64
Şekil 2.30 Islanan bir toprağın hacimsel olarak genişlemesi	66
Şekil 2.31 Farklı tekstürdeki toprak profilleri içinde suyun düşey yönde hareketi	71
Şekil 2.32 Toprakların kil içeriği ile agregat stabilitesi ilişkisi	74
Şekil 2.33 Organik madde, agregat stabilitesi ve zaman ilişkisi.....	77
Şekil 2.34 Toprak tekstürüne göre yarayışlı su içeriği değişimi.....	79
Şekil 2.35 Toprak profili nem koşulları	81
Şekil 2.36 Toprakta bulunan pH değerleri aralıkları.....	83
Şekil 2.37 Toprakta kirecin kaymak tabakası oluşturması.....	85
Şekil 2.38 Kireç uygulamasının toprağa etkisi	86
Şekil 2.39 KDK'nın bir fonksiyonu olarak -1500 kPa'da gravimetrik su içeriği	90
Şekil 2.40 PTF gelişimi ve uygulamalarında ölçekler arası ilişki.....	99
Şekil 2.41 (a) İstatistik vs. (b) toprak kalitesini tahmin etmek için PTF kullanılarak yapılan dinamik uygulamalar	101
Şekil 2.42 Toprak su tutma eğrisi	112

Şekil 2.43 PTF geliştirmek için kullanılacak bir şema	122
Şekil 2. 44 İleri beslemeli 3 katmanlı YSA	126
Şekil 2.61 Geri beslemeli iki katmanlı YSA.....	127
Şekil 2.46 Yapay Sinir Ağları ile PTF uygulaması.....	128
Şekil 2.47 Pedotransfer fonksiyonları yöntemlerinden YSA, GMDH ve CART kullanımı ile su içeriği tahminleri	132
Şekil 2.47 Bulanık mantıkta kullanılan kavramlar.....	134
Şekil 2.48 Parametrik PTF'leri türetmek için bir şema	136
Şekil 2.49 Karar destek makinesi (SVM) metodu akış şeması	138
Şekil 2.50 Toprak davranışının modellenen 5 fonksiyonel yönünde belirsizliğinin açıklanmasında değişkenliğin farklı kaynaklarına bağlı önemi	145
Şekil 3.1 Çankırı il ve ilçeleri	149
Şekil 3.2 Çankırı il arazisinin niteliklerine göre dağılımı	152
Şekil 3.3a Toprak örneklerinin alındığı sahadan bir görüntü.....	154
Şekil 3.3b Toprak örneklerinin alındığı sahadan bir görüntü	154
Şekil 3.4 Toprak örnekleme noktalarının çalışma sahasındaki dağılımı.....	155
Şekil 3.5 Traktörün kuyruk milinden hareket alan ve içerisinde plastik boru bulunan aparattın toprağa girişi.....	156
Şekil 3.6 Traktörün kuyruk milinden hareket alan ve içerisinde plastik boru bulunan aparattın toprağa girişi.....	156
Şekil 3.7 Traktörün kuyruk milinden hareket alan ve içerisinde plastik boru bulunan aparattın toprak örneği ile topraktan çıkarılması.....	157
Şekil 3.8 Traktöre bağlı ve içerisindeki plastik boruda toprak örneği olan aparattın çıkarılması	157
Şekil 3.9 İçerisinde plastik boru bulunan aparattan toprak örneği bulunan plastik borunun çıkarılması.....	158
Şekil 3.10 Makineden ve örnekleme aparatından ayrılan plastik boru içerisindeki bozulmamış toprak örneği	158
Şekil 3.11 Doygun hidrolik iletkenlik ölçümü için örneklerin doyurulması (solda) ve hidrolik iletkenliğin ölçümünde kullanılan sabit yük düzeneği (sağda)	160
Şekil 3.12 Toprak penetrasyon direnci ölçümü.....	162
Şekil 3.13 Toprak örneklerinde uzama katsayısının belirlenmesi	164
Şekil 3.15 Toprak örneklerinin özgül yüzey alanı ölçümü için hazırlanması.....	167
Şekil 3.16 Toprak strüktür tipleri	168
Şekil 3.17 Granüler (a) ve köşeli (b) yapıdaki toprak örnekleri	169
Şekil 3.18 Farklı büyüklükteki toprak örnekleri	170
Şekil 3.20 Toprak örneğinde gözeneklerin görünümü.....	174
Şekil 3.21 Toprak örneği gözeneklerinin mikroskopta görünümü.....	174
Şekil 3.22 Toprak örneklerinin kıvam (consistence) ölçümü	175
Şekil 3.23 Toprak örneklerinin yapışkanlığının belirlenmesi	177
Şekil 3. 24 Toprak örneklerinde plastiklik ölçümü.....	178
Şekil 3.25 Toprak örneklerinde köklerin görünümü	179
Şekil 3.26 Toprak örneklerinde leke ve beneklerin görünümü	180
Şekil 3.27 Farklı renk özelliği gösteren toprak örnekleri ve toprak renklerinin munsell skalası ile belirlenmesi	181
Şekil 4.1 Toprak tekstür sınıfına ait değerlerin yüzdeleri	185
Şekil 4.2 Toprak hacim ağırlığına ait değerlerin yüzdeleri.....	186
Şekil 4.3 Toprak pH değerlerine ait değerlerin yüzdeleri	186

Şekil 4.4 Toprak CaCO ₃ değerlerine ait değerlerin yüzdeleri.....	186
Şekil 4.5 Toprak yapı sınıfına ait kod değerleri yüzdeleri	187
Şekil 4.6 Toprak yapı tipine ait kod değerleri yüzdeleri	188
Şekil 4.7 Toprak yapı büyüklüğüne ait kod değerleri yüzdeleri	188
Şekil 4.8 Toprak gözenek büyüklüğüne ait kod değerleri yüzdeleri.....	188
Şekil 4.9 Toprak gözenek miktarına ait kod değerleri yüzdeleri	189
Şekil 4.10 Toprak kıvamına ait kod değerleri yüzdeleri	189
Şekil 4.11 Toprak yapışkanlığına ait kod değerleri yüzdeleri.....	189
Şekil 4.12 Toprak plastikliğine ait kod değerleri yüzdeleri	190
Şekil 4.13 Toprak kök büyüklüğüne ait kod değerleri yüzdeleri	190
Şekil 4.14 Toprak kök miktarına ait kod değerleri yüzdeleri.....	190
Şekil 4. 15 Toprak beneklerine ait kod değerleri yüzdeleri	191
Şekil 4.16 Toprak renk değerlerine ait sınıflama yüzdeleri	191
Şekil 4.17 Ölçülen ve tahmin edilen K _s değerleri arasındaki ilişki.....	195
Şekil 4.18 Parametrik özellikler ile ölçülen ve tahmin edilen K _s değerleri arasındaki ilişki.....	199

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Gözenek çapı ve rutubet tansiyonuna göre, gözenek iriliği dağılımı sınıflaması	32
Çizelge 2.2 Renklerine göre toprakların özellikleri	59
Çizelge 2.3 Şişen killere karşılık determinasyon katsayıları	63
Çizelge 2.4 Kök gelişimi için toprak tekstürüne dayanan hacim ağırlığı ilişkisi.....	68
Çizelge 2.5 Farklı tekstürlere göre toprakların KDK değerleri	87
Çizelge 2.6 Minerallerinin KDK değerleri.....	88
Çizelge 2.7 Farklı tipteki killerin çap, yüzey alanı ve KDK değerleri.....	92
Çizelge 2. 8 Pedotransfer fonksiyonu örnekleri.....	107
Çizelge 2.9 Pedotransfer Fonksiyonlarda kullanılan toprak özellikleri.....	117
Çizelge 2. 10 Klasik ve bulanık mantık arasındaki farklar	134
Çizelge 3.1 Kızılırmak ilçesinin belirli iklim özelliklerine ait değerler.....	151
Çizelge 3.2 Çankırı ili arazi dağılımı	152
Çizelge 3.3 Doymun hidrolik iletkenlik sınıflama ve kod değerleri	161
Çizelge 3.4 Hacim ağırlığı sınıflama değerleri	161
Çizelge 3.5 Toprak penetrasyon direnci sınıflama değerleri	162
Çizelge 3.6 Toprak Strüktürünün tip bakımından tanımlanmasında kullanılan kriterler	169
Çizelge 3.7 Toprak Strüktürünün büyüklük bakımından tanımlanmasında kullanılan kriterler	170
Çizelge 3.8 Toprak Strüktürünün derece bakımından tanımlanmasında kullanılan kriterler	172
Çizelge 3.9 Toprak gözenekliliğinin miktar bakımından sınıflandırılması	172
Çizelge 3.10 Toprak gözeneklerinin (porlar) büyüklük bakımından sınıflandırılması...	172
Çizelge 3.11 Toprak gözeneklerinin (porlar) tip bakımından sınıflandırılması.....	173
Çizelge 3.12 Toprak gözeneklerinin (porlar) şekil olarak sınıflanması.....	173
Çizelge 3.13 Toprak kıvamı (consistence) sınıflandırılmasında kullanılan kriterler	175
Çizelge 3.14 Toprak nemli kıvamının tanımlanmasında kullanılan kriterler	176
Çizelge 3.15 Toprak yapışkanlığının sınıflandırılmasında kullanılan kriterler	177
Çizelge 3.16 Toprak plastikliğinin tanımlanmasında kullanılan kriterler.....	178
Çizelge 3.17 Toprak örneklerinde köklerin tanımlanmasında kullanılan kriterler	180
Çizelge 3.18 Toprak örneklerinde benekliliği belirlemede kullanılan kriterler.....	180
Çizelge 3.19 Toprak örneklerinin renklerine göre oluşturulan kodlar	181
Çizelge 3.20 PTF için seçilen kalibrasyon ve validasyon örnekleri	183
Çizelge 4.1 Toplam örnek sayısının (120) parametrik özelliklerine ait tanımsal istatistikler	184
Çizelge 4.2 Toplam örnek sayısının (120 örnek) morfolojik özelliklerine ait tanımsal istatistikler	187
Çizelge 4.3 Kalibrasyon örneklerinin (80 örnek) parametrik özelliklerine ait tanımsal istatistikler	192
Çizelge 4.4 Kalibrasyon örneklerinin (80 örnek) morfolojik özelliklerine ait tanımsal istatistikler	192
Çizelge 4.5 Validasyon örneklerinin (40 örnek) parametrik özelliklerine ait tanımsal istatistikler	193

Çizelge 4.6 Validasyon örneklerinin (40 örnek) morfolojik özelliklerine ait tanımsal istatistikler	193
Çizelge 4.7 Doygun hidrolik iletkenlik tahmininde önemli etkisi bulunan özellikler ...	194
Çizelge 4.8 Ölçülen ve tahmin edilen doymun hidrolik iletkenlik değerlerine ait tanımsal istatistikler	195
Çizelge 4.9 Tahmin edilen doymun hidrolik iletkenlik değerlerinin doğruluk değerleri.	196
Çizelge 4.10 Toprak parametrik özellikleri ile K_s arasındaki korelasyon değerleri	197
Çizelge 4.11 Doygun hidrolik iletkenlik tahmininde önemli etkisi bulunan parametrik özellikler.....	198
Çizelge 4.12 Parametrik özellikler ile ölçülen ve tahmin edilen doymun hidrolik iletkenlik değerlerine ait tanımsal istatistikler	199
Çizelge 4.13 Parametrik özellikler ile parametrik ve morfolojik özelliklerin K_s tahmin doğruluğu için değerler	200

1. GİRİŞ

Toprakların daha iyi anlaşılması, iklim değişikliği, çevre düzenleme ve ekosistem hizmetlerindeki araştırma soruları için gereklidir (Hartemik and McBratney 2008). Katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç fazlı bir sistem olan toprak; katı kısımlar arasını dolduran, içi su ve hava dolu gözenekli bir sistemdir. Bu gözeneklerde bulunan su, buharlaşma, yağış veya yerçekimi kuvvetinin etkisi ile hızı ve miktarı az olsa da sürekli hareket halindedir. Toprak suyunun bu hareketini yönlendiren kuvvet ise, suyun bulunduğu farklı bölgelerdeki potansiyel farkıdır. Toprak suyunun hareketini sağlayan yegâne kuvvet potansiyel farkı olurken, hareketin hızını tayin eden faktör ise ortamın hidrolik iletkenliğidir.

Hidrolik iletkenlik toprağın suyu iletme yeteneğinin bir ölçüsüdür. Daha detaylı tanımlanırsa; hidrolik iletkenlik toprağın birim kesit alanından, birim zamanda ve birim yük farkı altında iletilen su miktarıdır (Erşahin 2001). Ölçek ne olursa olsun, topraklar aslında heterojendir ve bu heterojenlik toprağın hidrolik davranışlarını kontrol eder (Vogel and Roth 2003). Toprak hidrolik özellikleri, toprak-su ilişkilerini tanımlayan önemli fiziksel özelliklerdendir ve toprak-su modellerini çalıştıran önemli girdilerdir (Minasny and Bratney 2002). Toprak hidrolik özelliklerinin, özellikle doyumluğa yakın toprak koşullarındaki hidrolik iletkenliğin bilinmesi, doyum ortamlarda su akışının ve çözümlerin taşınmasının fazla olması nedeni ile çok önemlidir (Bagarello *et al.* 2003). Toprakların hidrolik iletkenlik özelliğinin bilinmesi kil tipi, toprak sıkışması, toplam gözeneklilik, gözenek büyüklük dağılımı, gözenek geometrisi, tekstür ve strüktür gibi toprak özellikleri hakkında fikirler vermekte ve çıkarımlar yapılmasına olanak sağlamaktadır (Öztekin vd. 2007).

Birçok toprakta hidrolik iletkenlik sabit değildir. Çeşitli kimyasal, fiziksel ve biyolojik olaylar nedeniyle, hidrolik iletkenlik toprakta suyun hareketine bağlı olarak değişir. Pratikte, bir toprağı sıkışmış olan havayı uzaklaştırmadan tamamen doyum hale getirmek çok zordur, çünkü sıkışmış hava kabarcıkları gözenek geçişlerini tıkayabilirler (Munsuz 1985).

Bu nedenle topraktaki su hareketi ile ilgili çalışmalarda toprak özellikleri önemli değişkenler olarak kullanılmakta ve toprak hidrolik özelliklerinin değişkenliklerinin belirlenmesinde doğrudan ölçülen toprak özellikleri ile tahminler yapılmaktadır.

Temsili toprak tiplerinin hidrolik özelliklerini hızlı ve kapsamlı bir şekilde tahmin etmek için yeni yöntemler geliştirmek toprak bilimi araştırmalarında çok önemli bir konudur (Weynants *et al.* 2009). Çünkü toprağın dinamik süreçlerinin ölçümü fazla zaman alır ve pahalıdır. Bu nedenle, dinamik süreçlerin ölçümünü kolayca tahmin edebilen fonksiyonların geliştirilmesine gerek duyulmuştur. Pedotransfer fonksiyonları (PTFs) olarak bilinen bu fonksiyonlar, rutin, kolay ve ucuz ölçülebilen toprak özelliklerinin yardımı ile istenen toprak özelliklerinin tahmin edilmesi (çıkarılması) için kullanılan fonksiyonlar olarak tanımlanırlar (Wösten *et al.* 2001).

Toprak temel özellikleri ve hidrolojik parametreler arasındaki ilişkileri ifade eden istatistiksel regresyon denklemlerine genellikle 'pedotransfer fonksiyonları' veya PTF'ler denir (Bouma 1989). Pedotransfer araştırmaları, çevre modellemesinde, hidrolik ve ilgili parametrelerde yüksek talep ile hızla gelişen bir alandır (Pachepsky *et al.* 2008).

PTF'lerin gelişimindeki en kapsamlı araştırmalar, su tutma eğrisi ve hidrolik iletkenliğin tahmini için olmuştur. Çünkü hidrolik özellikler, yüksek uzaysal ve zamansal değişimlere sahiptir, bu özelliklerin doğrudan ölçümleri zaman alıcı ve pahalıdır, bu yüzden tahminlerin elde edilmesi için dolaylı yöntemlerin kullanılması giderek önem kazanmaktadır (Dashtaki *et al.* 2009).

PTF terimi, Johan Bouma tarafından gerekli olan verilerin dönüşümü olarak icat edilmiştir. Bu kavram, toprak etüdündeki bilgilere olan gereksinimden ortaya çıkmaktadır. PTF'ler, bu temel bilgileri kullanarak mevcut olmayan toprak özelliklerini tahmin ederler, yeni bilgiler üretirler ve belirli bir model için gerekli veya daha kullanışlı özellikler ile mevcut toprak verileri arasındaki boşluğu doldururlar.

PTFler ile ilgili günümüze kadar yapılan çalışmalarda, toprak doygun hidrolik iletkenliğini tanımlamak için hacim ağırlığı, tekstür, gözeneklilik, gözenek büyüklüğü dağılımı gibi toprak özellikleri oldukça yaygın kullanılmıştır. Ancak doygun hidrolik iletkenliği etkileyen toprak morfolojik özelliklerinin kullanımı göz ardı edilmiştir. Oysa toprak yapısının, gözenek ve köklerin, kıvam (consistency), yapışkanlık ve plastiklik gibi toprak morfolojik özelliklerinin hidrolik iletkenlik üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır.

Toprak morfolojik özellikleri toprağın görünüşü ve biçimi ile ilgili özelliklerdir. Toprakların morfolojik özellikleri olarak sayılan ve en çok tespit edilen özellikler; “toprak rengi”, “toprak strüktürü”, “toprak kıvamı”, “kireç birikimi, tuz birikimi, geçirimsiz katmanlar, taban suları, kök gelişimi, biyolojik aktivite, taşlılık” gibi özel görünümüdür.

Toprak morfolojisi ve hidrolik özellikleri arasındaki korelasyonu bulmak için yapılmış birçok çalışma vardır. Bazı çalışmalar toprak morfolojik özelliklerini kullanarak hidrolik iletkenliğini tahmin etmede başarılı olmuştur (O'neal 1952, Mckeague *et al.* 1982). Ancak tanımlayıcı sistemler ve geleneksel toprak araştırmalarındaki yorumlayıcı kurallar büyük ölçüde nitel olarak kalmış ve yalnızca toprakların verilen aralıkları için uygun olmuştur.

Genel olarak değerlendirildiğinde, toprak tekstürü gibi toprak parametreleri ve özellikleri arasında önemli ilişkiler olduğunu öneren birçok erken çalışma sınırlı veri setleri ile yeterli başarıyı yakalamıştır (Gupta and Larson 1979, Arya and Paris 1981, Williams *et al.* 1983, Ahuja *et al.* 1985, 1999, Rawls *et al.* 1998, Gijnsman *et al.* 2002). Daha sonraki çalışmalar ilave değişkenler ve ilişkileri değerlendirmiştir (Vereecken *et al.* 1989, Van Genuchten and Leij 1992, Pachepsky and Rawls 2005). Son yıllarda geliştirilen birçok tahmin yöntemi, genelleştirilmiş tahminlerin kullanılabilir olduğunu, ancak bu yöntemlerin farklı koşullarda farklı davrandığını, yani başarılarının farklı olduğunu göstermiştir (Rawls *et al.* 1982, Saxton *et al.* 1986, Williams *et al.* 1992, Stolte *et al.* 1994, Kern 1995) (Saxton and Rawls 2006).

Bu yöntemlerin neredeyse hepsi birden fazla toprak tanımlayıcıları içerir, bazıları genellikle pratik uygulamalar için kullanılabilir değildir. Daha sonraki analizler sinir ağları (Schaap *et al.*1998; Bayat *et al.* 2013) veya arazi tanımlamaları ve pedotransfer fonksiyonları (Rawls and Pachepsky 2002) analizlerini araştırmalarına rağmen, yöntemlerin çoğu istatistiksel ilişkilerle türetilmiştir (Saxton and Rawls 2006).

PTF araştırmalarındaki son eğilimler, hidrolojik özellikler ile daha iyi bir bağlantı için morfolojik özelliklerden veri toplamak ve yöntemleri genişletmek için yapılan girişimleri göstermektedir. İlk PTF çalışmalarında horizon/pedon ölçeğinden agregat/ped ölçeğine toprak hidrolik özelliklerinin tahmini için toprak yapısal özelliklerinin kullanılması başarısız olmuştur (Abbaspour and Moon 1992, Pachepsky and Rawls 2002). Daha yakın zamanda ise, Lilly *et al.*(2008), araziden elde edilen morfolojik göstergelerin, yaygın olarak kullanılan laboratuvar verileri olarak bazı hidrolik özellikleri eşit derecede başarıyla tahmin edebileceklerini göstermiştir (Pachepsky 2008).

McKenzie and Jacquier (1997), iyi tahmin ilişkilerinin ancak hidrolik özellikler ile mantıksal bir fiziki bağlantıya sahip arazi kriterleri kullanıldığında elde edilebileceğini belirtmiştir. Yazarlar ayrıca, hidrolik özellikler ile fiziksel olarak önemli olan arazi kriterleri arasında doğrudan ilişkileri geliştiren tahmin sistemlerinin, horizonlar veya toprak serileri gibi sınıflandırılmış özelliklere güvenen sistemlerden daha üstün olması gerektiğini öne sürmüşlerdir. Araştırmacılar, alansal gözenekliliğin basit bir görsel tahminini tasarlamış ve doygun iletkenliğin arazi tekstürü, yapı derecesi, alansal gözeneklilik, hacim ağırlığı, dağılım indeksi ve horizon tipinden tahmin edilebileceğini bulmuşlardır.

Lin *et al.* (1999) arazi morfolojisinden hidrolik özellikleri tahmin etmek için benzer sistem önermişlerdir. Yazarlar, morfolojik özellikleri su akışı ile ilgili rakamlara dönüştürmüştür. Bu çalışmadan, rutin çalışmalara ilave edilen morfolojik tanımlamaların tahmin kapasitesini geliştirmek için gerekli olabileceği sonucuna varılmıştır.

Calhoun *et al.* (2001), toprak morfoloji ve arazi tanımlamalarının PTF'lerin gelişiminde kullanımını olduğunu iddia etmiştir. Yazarlar, hacim ağırlığı tahmininde, morfolojinin ve arazi tanımlamalarının parçacık büyüklüğü ve organik karbonun laboratuvar ölçümlerinden daha hesaplı olduğunu göstermişlerdir.

Fizyografik tanımlamalar ve toprak morfolojik karakterizasyonunun kullanılabilirliği Rawls and Pachepsky (2002) tarafından açıklanmıştır. Çalışmada su tutma tahmini için toprak araştırma verilerinden toplanan eğim derecesi, eğim durumu ve horizon sınıfları kullanılmıştır.

Toprağın yapısal özellikleri, fonksiyonel hidrolik özellikler ile yakından ilişkilidir. Bu nedenle, bu özelliklerin PTF girdi listelerine dâhil edilmesi, esasen hidrolik parametre tahminlerini geliştirebilir (Pachepsky *et al.* 2008).

Toprak hidrolik özelliklerinin modellenmesi için oluşturulan PTF'lerde parametrik özelliklerin kullanıldığı çok çalışma olmasına rağmen, morfolojik özelliklerin kullanıldığı sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Ayrıca yapılan bu çalışmalarda morfolojik özelliklerin tümünün kullanıldığı bir çalışma mevcut değildir.

Bu çalışmada doymuş toprakta su hareketinin PTF'ler kullanılarak modellenmesi amaçlanmıştır. Bunun için bazı toprak özellikleri yardımı ile doymuş koşullardaki su hareketini tanımlayan PTF'lerin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda sıkça kullanılan toprak özellikleri olan toprak tekstürü, organik madde içeriği, katyon değişim kapasitesi ve özgül yüzey alanı yanında; kök özellikleri (yoğunluk, şekil, büyüklük), penetrasyon direnci, strüktür (şekil, dayanıklılık, büyüklük), gözenekler (şekil, sıklık, büyüklük), renk (hue, value, kroma), kıvam (plastiklik, yapışkanlık) özellikleri de kullanılmıştır.

Bu bağlamda, ilk defa bu çalışmada ayrıntılı olarak kullanılan morfolojik özellikler ile doymuş hidrolik iletkenlik arasındaki ilişkiler belirlenerek matematiksel fonksiyonlar tanımlanmış ve tanımlanan bu fonksiyonların farklı topraklarda doymuş hidrolik iletkenliği tahmin etme başarısı belirlenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Hidrolik İletkenlik

Su toprak profili içinde, bir baraja dökülen su gibi, yüksek enerjili bölgeden düşük enerjili bölgeye doğru hareket eder (Foth 1991). Suyun bu hareketi farklı bölgeler arasındaki potansiyel farkı azaltmaya yönelik olarak gözenekler arasında gerçekleşir. Su, büyük gözenekler içinde daha hızlı akar, akış hızlı olduğunda hidrolik iletkenlik değeri de büyük olur. Toprak içindeki suyun akışı daima toplam su potansiyelindeki farklılık ile ilgilidir.

Hidrolik iletkenlik ya da toprağın suyu iletme yeteneği gözeneklerin oluşturduğu boşluklarda bulunan suyun hareketine bağlıdır. Foth (1991)'a göre bir toprağın iletkenliği bir odaya açılan kapıya benzer. Odanın kapısı daha büyük olduğunda, içeri girebilen veya dışarı çıkabilen insan sayısı artar. Kapının boyutu sabit kaldığında içeri veya dışarı hareket edebilen insanların hareket hızı da sabit kalır, aynı şekilde, bir toprağın toprak suyunu içeren fiziksel özellikleri sabit kaldığında hidrolik iletkenlikte sabit olacaktır.

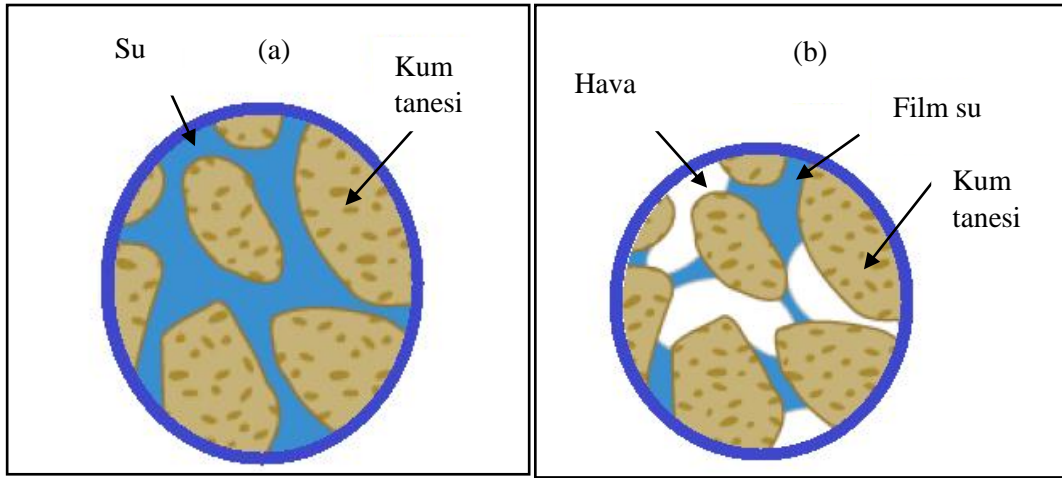
Toprak hidrolik iletkenliği, toprakların geçirgenlik özelliklerini, topraklarda tuz ve tarımsal kimyasalların taşınma ve yıkanmasını kontrol eden önemli bir fiziksel özelliktir. Hidrolik iletkenlik, tarım toprakları içinde çok büyük uzaysal değişkenlik gösterir ve dolayısı ile toprakların tam karakterize edilebilmesi için çok sayıda ölçüm yapılması bir zorunluluktur (Nielsen *et al.* 1973).

Sönmez (1960)'e hidrolik iletkenlik drenaj çalışmalarında, fazla suyun topraktan uzaklaştırılması için gerekli olan drenaj sisteminin tespitinde, toprakların yıkanma yolu ile ıslahı çalışmalarında, sulamada verilecek su miktarlarının su veya toprak kayıplarına sebep olmayacak şekilde tespit edilmesinde kullanılır. Ayrıca bunlara benzer diğer kültür teknik çalışmalarında toprakların hidrolik iletkenlik değerlerinin bilinmesi gerekmektedir.

Doygun ve doygun olmayan hidrolik iletkenlik

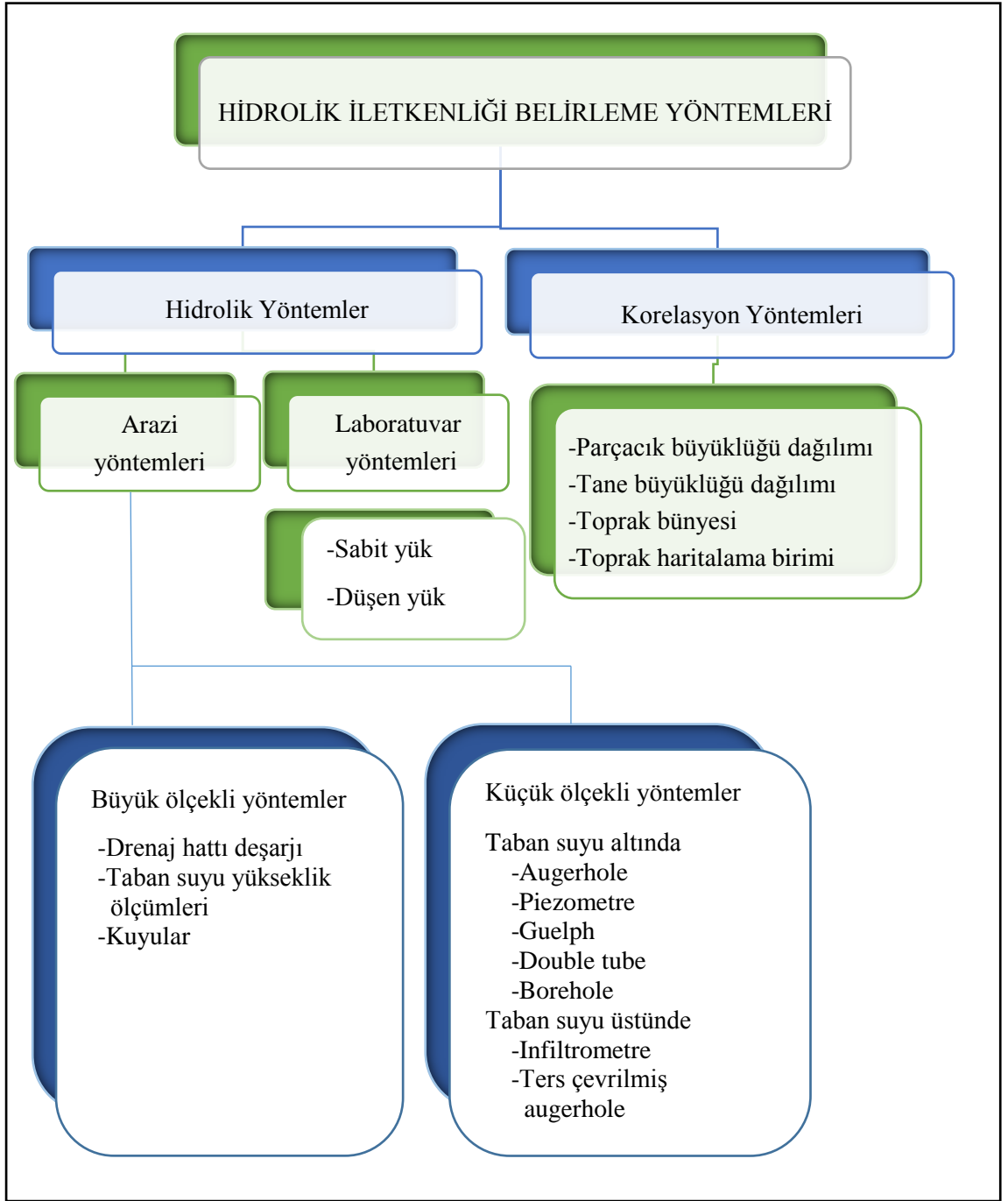
Hidrolik iletkenlik gözenekli bir materyalin farklı su içerikleri sonucu farklı doygunluk seviyesine sahip olduğu koşullar altında suyu iletme yeteneğidir. Iwata (1995)'a göre hidrolik iletkenlik, toplam porozite, por çapı, por geometrisi, tekstür ve strüktür gibi toprak özelliklerinden önemli derecede etkilenmektedir. Bu tanımlara göre farklı koşullara bağlı olarak topraktaki hidrolik iletkenlik değerleri doymuş ve doymamış şartlarda ölçülmektedir.

Topraklarda bütün gözenekler su ile dolduğunda ve suyun toprak taneleri etrafında bükülmemesi halinde "toprak doymuş" denir. Bu tanım; bütün gözeneklerin su ile dolu olduğu ve toprağı en azından çok küçük bir su zarının sardığı anlamına gelir. Bütün gözenekler su ile dolu olmadığı ve gözeneklerde bir bükümlülüğün olduğu veya gözeneklerin çeperlerinde ince bir su zarı absorbe edildiği durumda ise "toprak doymamıştır" denir (Yeşilsoy 1976) (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Doygun şartlarda (a) ve doygun olmayan şartlarda (b) toprak gözenekleri

Toprakların hidrolik iletkenlik değerinin belirlenmesi korelasyon ve hidrolik yöntemlerle yapılabilir. Hidrolik iletkenliğin belirlenmesinde kullanılan yöntemler Şekil 2.2'de özetlenmiştir (Oosterben and Nijland 1994).



Şekil 2. 2 Hidrolik iletkenliği belirleme yöntemleri (Oosterben and Nijland 1994)

2.1.1. Doymamış olmayan hidrolik iletkenlik

Doymamış toprak; büyük boşlukların hava ile dolu bulunduğu ve bunun sonucu olarak suyun hareketinin fazla sayıdaki hava-su sınır yüzeylerinde ve değişik yönlerde gerçekleştiği bir topraktır (Baver 1956). Doymamış koşullarda su hareketinin sayısal olarak ifade edilebilmesi toprak profilinin heterojen yapısından kaynaklanan değişken su içeriğinden dolayı oldukça karmaşık, güç ve zaman alıcı bir süreçtir (Harter and Yeh 1998, Tuli *et al.* 2001, Tartakovsky *et al.* 2003).

Doymamış koşullardaki su hareketini daha doğru tanımlayabilecek yasa veya kuramın topraktaki mikro ve makro gözenek ve parçacık dağılımını, yüzey gerilimi, ıslanma açısı, su yoğunluğu, viskozite, su ve toprak ara yüzeyinin etkileşimini değiştiren, su ve toprağın tüm fiziksel ve kimyasal özelliklerini dikkate alabilmesi gerekir (Kırda ve Sarıyev 2002).

Doymamış topraklarda makro-gözenekler hava ile dolu olup, geride yalnız küçük mikro-gözenekler kalmış olduğundan, bunlar suyun tutulduğu ve hareketinin gerçekleştiği ortamlardır. Ayrıca, doymamış topraklarda, su içeriği ve suyun tutulma kuvveti fazlasıyla değişken olabilir. Doymamış topraklarda su akışı matrik ve yerçekimi kuvvetlerinin birlikte etkileri sonucu oluşmaktadır. Doymamış koşullarda suyun akışı için itici güç ise, gravite değil, matrik potansiyeldeki farklılıktır. Bu durum, suyun hareket hızını ve yönünü etkiler ve toprak suyunun akışını ölçmeyi çok daha güçleştirir. Suyun hareketi, toprakta kalın su filmlerinin bulunduğu bölgeden, ince su filmlerinin bulunduğu bölgeye doğru olur (Brady and Weil 1999).

Doymamış koşullarda kullanılan Darcy eşitliği E.Buckingham tarafından doymamış topraklardaki akışın tanımlanması için uyarlanmıştır. Bu uyarlamada doymamış toprakların hidrolik iletkenliğinin, su içeriği veya matrik potansiyelin bir fonksiyonu olduğu varsayımı kabul edilmiştir (Jury *et al.* 1991).

Toprakta su içeriği azaldıkça doymamış hidrolik iletkenlik değeri azalır. Doymamış şartlarda topraktaki su akışının yönü toprak içerisinde farklı bölgelerde oluşan nem farklılığı nedeni ile oluşan potansiyel farkına bağlıdır.

Doymamış toprakta suyun hareketi aşağıdan yukarıya veya yukarıdan aşağıya doğru, yani düşey yönde olabildiği gibi, yatay ve eğik yönlerde de olabilir. Suyun bu hareketinin, kapillar gerilim, sıcaklık ve elektriksel akımlar etkisi altında meydana geldiği ifade edilmektedir (Baver 1956). Doymamış koşullardaki su hareketi, toprakta meydana gelen biyolojik, kimyasal ve fiziksel birçok olayı doğrudan ve dolaylı olarak etkilemektedir (Yeşilsoy 1996). Toprak içerisindeki boşlukların tamamen su ile dolu olması çeltik gibi bazı ürünler dışında tarımsal üretimde bitki gelişimine olan olumsuz etkisinden dolayı istenmeyen bir durumdur. Toprak gözeneklerindeki hava oranı %10'un altına düştüğünde verimde azalma görülmektedir. Bu nedenle doymamış koşullardaki su iletimi, tarımsal açıdan doymamış su iletiminden çok daha önemlidir (Klute 1965).

Doymamış olmayan gözenekli ortamlardaki su akışının tanımlanmasında Richards eşitliği yaygın olarak kullanılmaktadır. Richard's eşitliği kütle dengesi (süreklilik denklemi) ve momentum dengesinin bir kombinasyonudur (Moene 1990). Bir boyutlu düşey akış için Richards eşitliği aşağıdaki gibi yazılabilir (Hillel 1998).

$$\frac{\partial \theta(h)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(h) \frac{\partial h}{\partial z} - K(h) \right] \quad (2.1)$$

Eşitlikte;

θ = Hacimsel su içeriğini (cm³)

h = Basınç yükünü

K = Hidrolik iletkenliği (cm sn⁻¹)

Z = Aşağı yön pozitif olmak üzere düşey mesafeyi (cm)

t = Zaman (sn)

Yukarıda verilen Eşitlik 1'in analitik olarak çözülebilmesi veya nümerik modellemelerde kullanılabilmesi için iki fonksiyonun bilinmesi gereklidir. Bunlar toprak su karakteristik eğrisi (θ_h) ve doymamış hidrolük iletkenlik (K_h) fonksiyonlarıdır (Büyüktaş ve Hakgören 2005). Buckingham-Darcy eşitliği doymamış topraklarda iletkenliği ifade eden diğer bir eşitliktir.

Bu eşitlik,

$$q = -K(\theta) \frac{\partial H}{\partial z} = -K(\theta) \left[\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right] \quad (2.2)$$

şeklinde yazılır.

Eşitlikte;

$\partial H / \partial z$ = Hidrolik eğim (hidrolik yük farkı)

h = Matrik potansiyel

K = Hidrolik iletkenliği (cm sn^{-1})

Z = Aşağı yön pozitif olmak üzere düşey mesafe (cm)

Darcy eşitliğinin Navier-Stokes eşitliğinden türetildiğine ilişkin bir tartışma konusu hala mevcuttur. Bu türetilme yapıldığında durağanlık, sabit yoğunluk, boşluktaki monoton basınç değişimleri, toprak matrisi ve sıvı arasındaki sürtünmeye bağlı olarak ihmal edilebilir sürtünme gibi bazı varsayımlar yapılmalıdır (Moenen 1990). Bu türetmeyi takiben Darcy eşitliğinin genel formu ise şu şekildedir;

$$u_i = \frac{k}{v} g \left(\frac{\partial h}{\partial x_1} + \delta_{ij} \right) \quad (2.3)$$

Eşitlikte;

x_i = mesafe (m)

v = viskozite ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$)

k = gerçek geçirgenlik (m^2)

δ_{ij} = kronecker delta

2.1.2 Doymun olmayan hidrolik iletkenliğin belirlenmesinde kullanılan yöntemler

Doymun olmayan toprakta hidrolik iletkenliğin belirlenmesinde kullanılan yöntemleri laboratuvar ve arazide kullanılan yöntemler olarak sınıflandırabiliriz.

2.1.2.1 Laboratuvarda kullanılan yöntemler

Değişmeyen durum yöntemleri

Değişmeyen koşullarda doymamış akış yöntemi, yatay veya dikey laboratuvar kolonlarına sabit yük veya sabit akı koşulları altında uygulanabilir. Hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın doymamış hidrolik iletkenlik, Darcy eşitliği kullanılarak birim kesit alandaki değişmeyen akışın hidrolik gradiente oranı şeklinde basitçe hesaplanır. Hidrolik iletkenlik, kolon içerisinde bulunan ortalama su içeriği ve basınç yükü ile ilişkilendirilir (Stephens 1996).

Geçişken yöntemler

Hidrolik iletkenlik verileri sağlamada zamanı azaltmak amacı ile çeşitli geçişken yöntemler sunulmuştur. Bu yöntemler, daha fazla sayıda veriye ihtiyaç olduğunda daha gelişmiş düzenekler kullanılarak ve elde edilen verilerin daha karmaşık matematiksel analizler ile kullanılmasına dayanır ki bu durumda zaman kazanılmış olur. Geçişken yöntemlere örnek olarak anlık profil yöntemi, Bruce-Klute yöntemi, basınç plakaları yöntemi, tek adım dış akı yöntemi ve ultra santrifüj yöntemi verilebilir (Stephens 1996).

-Anlık profil yöntemi

İlk olarak Richards ve Weeks (1953) tarafından geliştirilmiş ve daha sonra Watson (1966) tarafından modifiye edilmiştir. Bu yöntem, bilinen infiltrasyon ve drenaj oranına sahip bozulmuş veya bozulmamış toprak örneklerini kullanmaktadır. Bu yöntemde gama ışınımı ile toprak rutubet seviyesindeki değişimler belirlenirken nem içeriğine denk gelen toprak su potansiyelini tespit etmek için de tansiyometre gibi ölçüm düzenekleri kullanılmaktadır (Stephens 1996).

-Bruce-Klute yöntemi

Bruce and Klute (1956) tarafından geliştirilen yöntemde yatay olarak yerleştirilmiş kalın bir kolon içerisine kuru toprağın paketlenmesi ile düzenek kurulur. Bu yöntemde su kolonun açık bir ucundan mariotte sifonu yardımı ile sabit emiş altında uygulanır. Tek gereken veri ölçümü kolonun herhangi bir noktasındaki değişik zamanlarda veya birçok noktada aynı zamanda su içeriğinin belirlenmesidir. Burada su içeriği ağırlık cinsinden kolayca belirlenebilir. Aynı zamanda gama ışınları saçılması yöntemi de bu amaçla kullanılabilir (Stephens 1996).

-Basınç plakaları yöntemi

Gardner (1955)'e göre bu yöntem laboratuvar ortamında iletkenliğin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden üçüncüsüdür. Burada prensip basınç altında toprak örnekleri içerisindeki suyun dışarı çıkarılması ve zamana bağlı olarak çıkan su oranının tespiti ve analiz edilmesidir. Bu yöntemde geniş negatif hava giriş değerine sahip basınç plakalarını içeren basınç çemberleri kullanılmaktadır (Stephens 1996).

-Tek-adım dış akı yöntemi

Basınca bağlı dış akı yöntemi ilk olarak Doering (1965) ve daha sonra Passioura (1976) tarafından rapor edilmiştir. Bu yöntem, toprak kolonu üzerine uygulanan, bilinen bir basınçla veya toprak kolonu altında vakumun giderek artırılması yolu ile toprak kolonu içerisindeki suyu çıkışa zorlamaya dayanmaktadır. Bir-adım dış akı yönteminde veriler asılı su kolonu düzeneği yardımı ile veya basınç odaları içerisinde pozitif basınç uygulanması yolu ile suyun drenajı ile sağlanır. Suyun dış akı oranı grafiklenir ve değerlendirilir (Stephens 1996).

-Santrifüj yöntemi

Santrifüj yöntemi son zamanlarda önem kazanmaya başlamıştır. Bu nedenle, yaygın bir biçimde test edilme olanağı henüz bulamamıştır (Nimmo *et al.* 1987). Burada prensip, örnekler santrifüjlenirken örnekte değişmeyen durum akışının örnek boyunca sağlanması ve hem matrik potansiyel hem de santrifüj kuvvetlerini hesaba alan Darcy denklemini kullanarak hidrolik iletkenliğin hesaplanmasıdır (Stephens 1996).

2.1.2.2 Arazide kullanılan yöntemler

Profilde anlık ölçüm yöntemi

Bu yöntem arazi şartlarında kullanılan en yaygın yöntemdir. Bu yöntemin prensibi toprakların geçici drenajına dayanmaktadır. Ölçümün yapılacağı alanda istenilen derinliklere tansiyometreler, burgu ile açılmış deliklere ise nötron metre yerleştirilir. Toprak profili üstten istenilen profil derinliğinde, toprak doygunluğa ulaşmaya kadar su yükü oluşturularak ıslatılır. Zaman içinde istenilen derinlikte toprak su içeriğindeki değişime karşılık tansiyometrik verilerin grafiklenmesi ile toprak su karakteristiğine dair veriler elde edilir ve doymamış hidrolik iletkenliğin hesaplanmasında kullanılır (Stephens 1996).

Sabit akış yöntemi

Profilde değişmeyen duruma ulaşmaya kadar toprak üzerine uygulanan suyun sabit akışla verilme şekline göre iki farklı yöntem vardır. Yöntem, suyun hangi şekilde verileceğine göre farklılık kazanmıştır. Bunlardan birincisi, ıslatma işleminde dirençli tabaka yöntemini kullanırken, diğeri yağmurlama sulama yöntemini kullanmaktadır. Her iki yöntemde de uygulanan suyun akış miktarı göllenmeye yol açacak akıştan daha azdır. Uygulanan su oranı azaldıkça hidrolik iletkenlikte azalmaktadır (Stephens 1996).

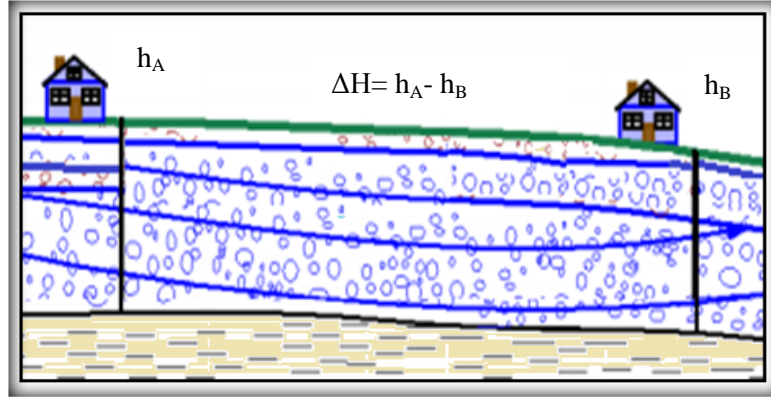
Hidrolik iletkenliği tahmin etmek için akış hidrolik gradiyentle karşılıklı yürütülür. Hidrolik gradiyent tansiyometreler kullanılarak ölçülür. Anlık profil yönteminde hidrolik iletkenlik kuruma anında ölçülürken sabit akış yönteminde ıslanma koşullarında ölçülmektedir (Stephens 1996).

Akış ağı yöntemi

Akış ağı yöntemi, doymamış hidrolik iletkenliğin belirlenmesinde Stephens (1985) tarafından tanımlanan ve diğer yöntemlere göre oldukça yeni sayılabilecek bir yöntemdir. Bu yöntem sabit yük kaynağının yakınlarında hidrolik yük alanlarının haritalanmasına dayanmaktadır. Kaynaklar yüzeyde göllendirilen su, burgu deliklerinde biriktirilen su veya karıklar olabilmektedir. Bu yöntemin prensibi, gözlem ve su kaynağından uzaklaştıkça su miktarında da azalma olacağını ifade eden çok boyutlu akış teoremine dayanmaktadır. Hidrolik yük, tansiyometre gibi basınç-yükü sensörlerinin farklı bölge ve farklı derinliklere dikey olarak yerleştirilmesi ile haritalanır. Daha sonra birkaç akış tüpü eşit parçalara ayrılır. Su kaynağına yakın olan parçalar doymun hale getirilir. Akış tüpleri boyunca toprakların hidrolik iletkenlikleri kaynağına yakın doymun bölgelerden itibaren hesaplanır (Stephens 1996).

2.1.3 Doymun hidroluk iletkenlik

Œiddetli bir yağış veya aşırı sulama koşullarında toprağın büyük ve kk gözenekleri su ile doludur. Bu durumda toprak su içeriği toplam gözenekliliğe eşittir ve hava dolu gözeneklerin hacminin sıfır olduğu kabul edilir. Bu koşullarda oluşan su hareketi doymun koşullardaki su hareketidir. Toprağın su ile doymun olduğu durumda suyun iletimini sağlayan kuvvet su yükünün neden olduğu pozitif basınc potansiyelidir (Δh). Hidrolik gradiyent olarak bilinen ve su hareketine yön veren itici kuvvet, toprakta suyun hareket yönünde iki farklı noktadaki su yükü (potansiyel) farkına eşittir (Œekil 2.3).



Œekil 2.3 Toprak içinde su yükseklik farkları

Ancak doymun koşullarda suyun hareketi sırasında toprak gözeneklerinde hava kabarcıkları sıkışarak hapsedilebilir. Hapsedilen havanın toplam gözenek hacmine oranı %5-15 değerleri arasında olabilir. Bu durumda toprak havasının basıncının artması ile suyun iletimi azalacağı için doymun koşullardaki su hareketinde tam doymun koşulların gerçekleştiğini düşünmek doğru değildir (Jury *et al.* 1991).

Toprakların fiziksel ve hidrolik özelliklerinden biri olan doymun hidrolik iletkenliğin ilk laboratuvar ölümü 1856 yılında Henry Darcy tarafından yapılmıştır (Stephens 1996). Toprakta akış hızının sabit olduğu kararlı durumların açıklanmasında Darcy eşitliği yeterli olmaktadır. Doymun bir toprak sütünü içinden akan suyun miktarı, aşağıda gösterilen Darcy kanunu ile ifade edilir (Braddy and Weil 1999).

$$Q = KA t \frac{\Delta H}{\Delta L} \quad (2.4)$$

Eşitlikte;

Q = Belirli bir zamanda kolonu terk eden su miktarı (cm^3/sn)

K = Kolonun hidrolik iletkenliği (cm/sn)

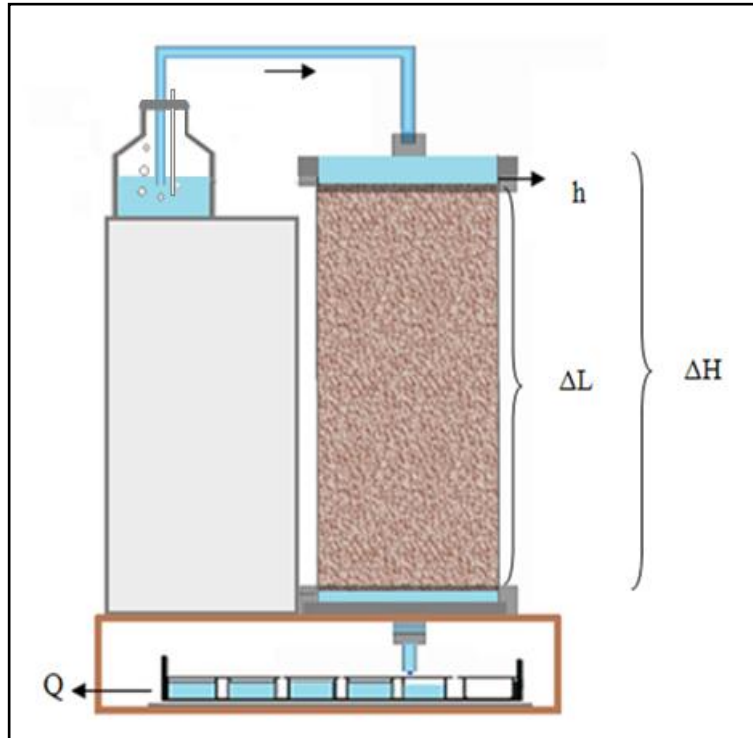
A = Kolonun yüzey alanı (πr^2) (cm^2)

ΔH = Toplam hidrolik yükteki değişim (cm)

ΔL = Kolonun derinliğindeki değişim (cm)

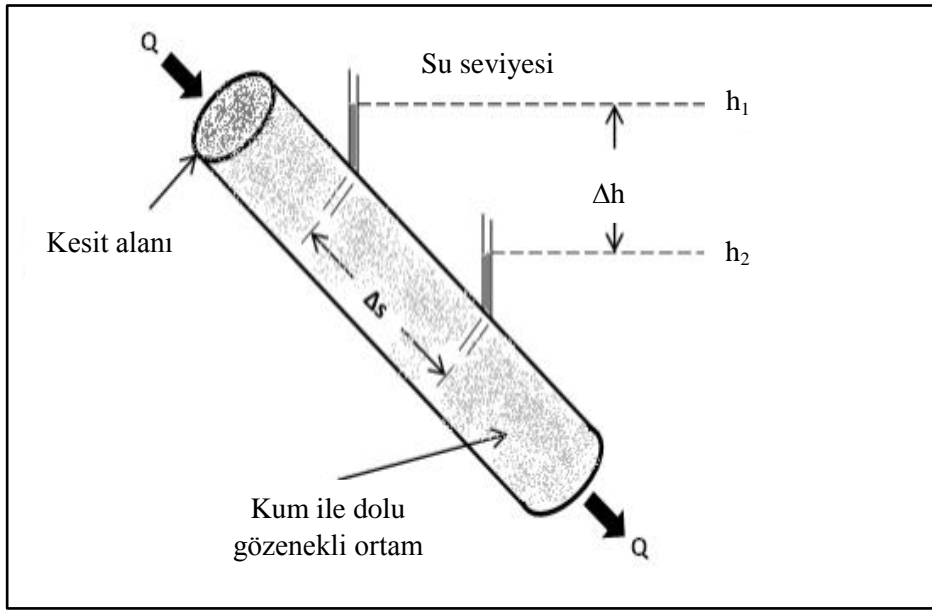
t = Zaman (sn)

Şekil 2.4'te düşey olarak yerleştirilen bir toprak kolonunda, kolonun uzunluğu (L) boyunca düşey yöndeki su hareketi gösterilmiştir. Kolonun kesiti (A) içinden geçerek dışarı akan suyun akış hızı ($q = Q/A$) Darcy su akışı olarak tanımlanır.



Şekil 2.4 Bir toprak kolonunda hidrolik iletkenlik ölçümü için kullanılan sabit yük düzeneği

Darcy tarafından yapılan gözenekli bir ortamdaki akışın ampirik açıklaması özellikle hidroloji ve yeraltı suyu mühendisliğinde genellikle kabul edilen bir eşitlik olmasına rağmen uygulamalarda üst ve alt limitlere sahiptir. Örneğin, eşitlik çok yüksek bir sıvı akış hızına sahip değildir ve özellikle geçirgenliği düşük olan materyallerde, çok düşük yük eğimleri için sıvı akışının doğru bir açıklaması olup olmadığı hakkında bazı sorular vardır (Deming 2002). Darcy yasası toprak gözeneklerinin her biri uniform bir çapa sahip, düzgün tüplerden oluşan bir demet olduğu varsayımına dayanır. Fakat gerçekte, toprak gözenekleri uniform, düz ve silindirik tüpler gibi değil, şekil olarak düzensiz, dolambaçlı ve birbirlerine bağlıdır (Hillel 1998). Toprak gözenekleri boyunca su akışı, ortamın özelliğine ve ortam içindeki akışkanın özelliğine bağlıdır, ayrıca toprağın gözenek geometrisine olduğu kadar akışkanın yoğunluk ve viskozitesine bağlıdır (Akanegbu 2013) (Şekil 2.5).



Şekil 2. 5 Darcy yasasını türetmek için kullanılan deneysel aparatlar (düzenleme Deming 2002)

Su akışının ardındaki itici güç olan hidrolik gradiyent, toprak içindeki enerji dağılımının eğimini tanımlayan bir vektördür. Su akışı q ile yük farkı Δh arasında doğrusal bir ilişki vardır ve bu ilişkiyi tanımlayan doğrunun eğimi (m) toprak bünyesine göre değişmektedir. Düşey veya yatay yönde, toprak kolonu içinde tek boyutlu su akışı Darcy yasası (Eş. 2.5) ile açıklandığında;

$$q = \frac{Q}{At} = -K_0 \frac{\Delta H}{\Delta L} \quad (2.5)$$

eşitliği ile tanımlanır (Braddy and Weil 1999).

Q = Belirli bir zamanda kolonu terk eden su miktarı (cm^3/sn)

K = Kolonun hidrolik iletkenliği (cm/sn)

A = Kolonun yüzey alanı (πr^2) (cm^2)

ΔH = Toplam hidrolik yükteki değişim (cm)

ΔL = Kolonun derinliğindeki değişim (cm)

t = Zaman (sn)

Doygun bir toprakta toprak su içeriği saturasyon derecesinden solma noktasına doğru azalırken, hidrolik iletkenlikte de buna paralel olarak azalma gösterir. Hidrolik iletkenlikteki bu azalma farklı tekstür ve strüktüre sahip topraklarda gözeneklerin büyüklük ve dağılımlarına bağlı olarak farklılık göstermektedir.

Homojen bir toprağın hidrolik iletkenliği, toprağın sıkışmadığı veya bozulmadığı varsayıldığında zaman içinde değişmeden kalır. Kesit alanı A olan bir toprak sütununda doygun akışta su gözeneklerinin tümü su ile doludur. Toprak kolonu içinde suyu çeken kuvvet, toprak tabakasının üstünde ve altında su yüksekliklerindeki farka eşittir. Şekil 2.5'ten doygun bir topraktaki su akışının yalnızca dikey yönde olabileceği sonucuna varılmamalıdır.

Hidrolik kuvvet, akışın yatay yönde olabildiği gibi yukarı doğru da olmasına neden olabilir. Yerçekimi kuvveti yatay yönde akışa yardım etmez ve yukarı doğru akışı da engellemektedir. Bu nedenle toprak profili içinde en hızlı akış profilin aşağısına doğrudur (Braddy and Weil 1999).

Doygun bir toprağın hidrolik özelliği, özellikle infiltrasyon hızının belirlenmesinde, sulama uygulamalarında, drenaj planlamasında, akışta, yer altı suyunun birikiminde ve yıkanmada ve diğer tarım ve hidrolojik süreçlerde önemli bir toprak özelliğidir. Doygun hidrolik iletkenliğin belirlenmesi için çeşitli laboratuvar ve arazi metotları kullanılabilir. Fakat laboratuvar ve arazide hidrolik iletkenliğin belirlenmesi genellikle zaman alır, pahalıdır ve yoğun emek ister. Genellikle, doygun toprak hidrolik iletkenliğinin ölçümü doğrudan ve dolaylı metotlara dayanır. Doğrudan metotlar, azalan yük (Falling head), Burgu deliği (Auger hole) ve Guelph geçirgenliği gibi laboratuvar ve arazi metotlarıdır. Dolaylı metotlar ise simülasyon modelleri ve tahmin metotlarıdır (Aimrun and Amin 2009).

2.1.4 Doymun hidrolik iletkenliğin belirlenmesinde kullanılan yöntemler

Doymun toprakta hidrolik iletkenliğin belirlenmesinde kullanılan yöntemleri laboratuvarında ve arazide kullanılan yöntemler olarak sınıflandırabiliriz.

2.1.4.1 Laboratuvarında kullanılan yöntemler

Laboratuvarında doymun hidrolik iletkenliğin ölçülmesinde sabit yük ve azalan yük yöntemleri kullanılır. Klute and Dirksen (1986) tarafından verilen yöntemde bozulmuş veya bozulmamış toprak örnekleri kullanılabilir.

Sabit yük yöntemi

Bu yöntemde eşit çap ve yüksekliğe sahip olan sabit yük altındaki doymun toprak kolonlarına Darcy kuralı uygulanır ve

$$K_s = \frac{VL}{[At(H_2 - H_1)]} \quad (2.6)$$

şeklinde ifade edilir (Stephens 1996). Eşitlik 2.6'da:

K_s = Kolonun hidrolik iletkenliği (cm/sn)

V = Su miktarı

L = Toprak kolonu uzunluğu

A = Kolonun yüzey alanı (πr^2) (cm²)

H_2-H_1 = Hidrolik yük farkıdır

t = Zaman (sn)

Azalan yük yöntemi

Bu yöntemde doymuş toprak üzerine yerleştirilen bir tüp ile yük sağlanır (Eş.2.7).

$$K_s = \frac{aL}{At} \ln \left(\frac{H_1}{H_2} \right) \quad (2.7)$$

şeklinde ifade edilir (Stephens 1996).

Eşitlikte;

- K_s = Kolonun hidrolik iletkenliği (cm/sn)
 a = Toprak kolonunun kesit alanı
 A = Borunun kesit alanı
 L = Toprak kolonu uzunluğu
 t = Zaman (sn)

2.1.4.2 Arazide kullanılan yöntemler

Hava giriş permametrosi yöntemi

Bu yöntem Bouwer (1966) tarafından taban suyu üzerindeki jeolojik materyalin arazi-doymuş hidrolik iletkenliğinin ölçümü için geliştirilmiştir. Bu yöntemi genellikle oldukça homojen kum ve siltli kum topraklarda uygulamak uygun görülmeyle birlikte, bazı çalışmalarda killi topraklar için de iyi sonuçlar vermiştir (Stephens 1996).

Brohole permametrosi

Boersma (1965 a,b) tarafından tanıtılan borehole permametrosi yaygın kullanılan yöntemler arasında yer almaktadır. Brohole permametrosi taban suyu üzerindeki çatlak olmayan, homojen, isotropik toprak ve kayaların doymuş hidrolik iletkenliklerinin yerlerinde belirlenmesi amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem ayrıca kuyu permametrosi, sabit yüklü borhole infiltrasyon testleri, ters auger hole yöntemi olarak da anılmaktadır (Stephens 1996).

Disk permametresi/tansiyon infiltrometresi

Disk permametresi Perroux ve White (1988) tarafından düşük tansiyonda farklı materyallerin arazi-doygun hidrolik iletkenlik, sorptivite, makroskopik kılcal uzunluk, karakteristik gözenek boyutu ve hatta doymamış hidrolik iletkenliğini belirlemek amacı ile geliştirilmiştir (Stephens 1996).

Üstü kapatılmış çift-silindir infiltrometre yöntemi

Bu yöntem, doğal toprakların infiltrasyon yeteneğini belirlemek için geliştirilmiş olsa da günümüzde düşük geçirimsizliğe sahip materyallerin arazide doymun hidrolik iletkenlik ölçümü için yaygın kullanılan bir düzenek haline gelmiştir (Stephens 1996).

2.2 Doymuş Hidrolik İletkenliğin Tahmininde Kullanılan Toprak Özellikleri

Toprakta suyun tutulması ve su ve çözülmüş maddelerin hareketini etkileyen hidrolik iletkenlik gibi birçok toprak özelliği mevcuttur. Bu özelliklerin tahmini, ziraat, orman, karasal ekosistem yönetimi ve arazi ıslahı ile ilgili toprak yönetim uygulamaları ve mühendislikte başlıca gereksinimlerden biridir (Balland *et al.* 2008).

Doymun hidrolik iletkenlik topraktaki gözeneklerin tümünün veya çoğunluğunun su ile dolu olması durumudur. Bu nedenle yaygın olarak kullanılan toprak bünyesi, organik madde içeriği, hacim ağırlığı, agregat stabilitesi gibi parametrelerin yanında gözeneklilik, toprak yapısı, toprak ve kök ilişkisi ve toprak kıvam özellikleri gibi morfolojik parametreler doymun hidrolik özelliği belirleyen önemli parametrelerdir.

Toprak morfolojisi 1960'larda yeraltı suyu tahmini için yararlı bir kaynak olarak öne sürülmüştür (Kutilek 1966). Bu yöndeki son gelişmeler de karmaşık yapı ile yapı ve fonksiyon arasındaki ilişkilerin açıklanmasını kapsamaktadır (Dixon 2005, Muhammedoğlu and Yardımcı 2006).

Doymun hidrolik iletkenlik, muhtemelen topraklarda su akış sürecinin tanımlanması için en önemli toprak hidrolik parametresidir. Bu parametreyi, sıkışma, makro gözenekler, örnek büyüklüğü, sıcaklık ve hapsedilmiş hava gibi nedenler ile yüksek değişkenliğe sahip toprak koşullarında elde etmek zordur. Örneğin ölçülen doymun hidrolik iletkenlik ve tahmin edici olarak kullanılan toprak verileri arasındaki ölçek farklılıkları gibi ölçek etkisi, doymun hidrolik iletkenlik (K_s) tahmini için su tutumundan çok daha önemlidir. Çünkü arazide doymun hidrolik iletkenlik değerlerinin dağılımını (ortalama veya standart sapma gibi) doğru olarak belirlemeye çalışmak, noktasal değerleri doğru belirlemeye çalışmaktan daha anlamlıdır (Pachepsky and Rawls 2004).

2.2.1 Toprak strüktürü (yapısı)

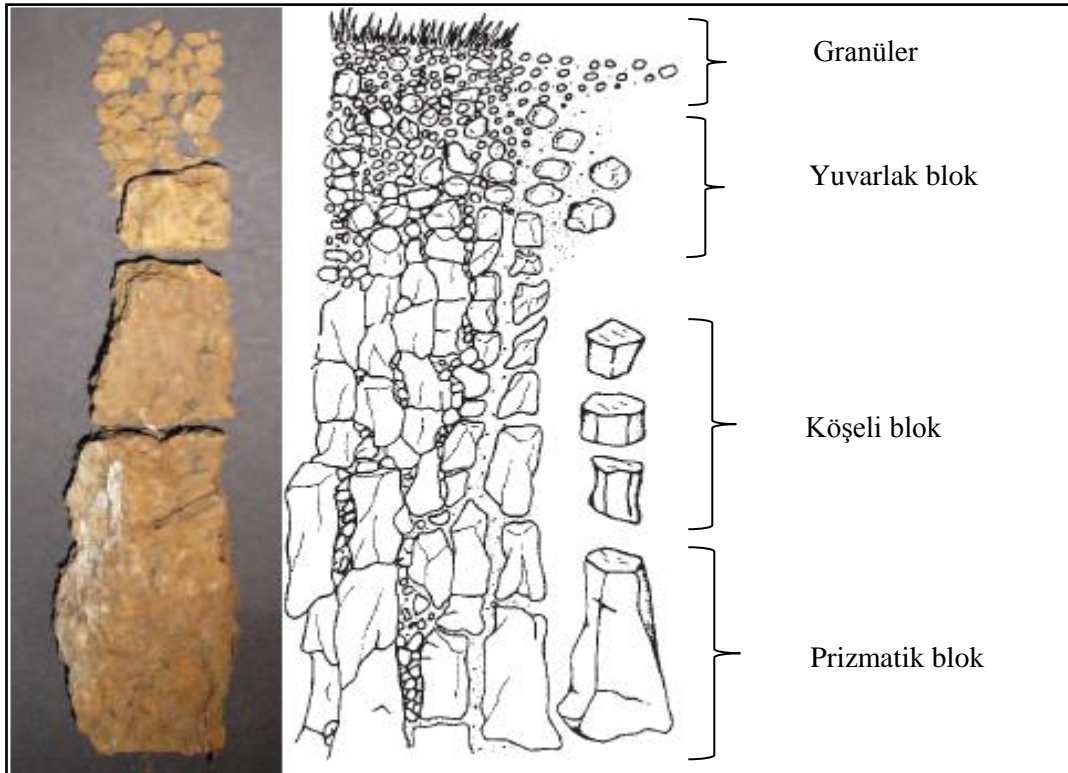
Toprak strüktürü, toprak parçacıklarının pedojenik süreçler sonucu ortaya çıkan belirli toprak birimleri (agregatlar ya da pedler) halinde doğal organizasyonu anlamına gelmektedir (TRGM 2013). Toprak strüktürünün önemi 150 yıl öncesinden araştırmacılar tarafından fark edilmiş ve birçok kapsamlı araştırmalarda (Harris *et al.* 1966, Oades 1984, Dexter 1988, Kay 1990, Horn *et al.* 1994) incelenmiştir. Toprak yapısının; bitki gelişimi, karbon ve besin döngüsü ve alımı, suyun depolanması ve iletimi, toprak erozyonuna direnç ve antropojenik kaynaklı kimyasalların tutulması ve taşınması üzerinde önemli etkileri vardır (Sumner 2000).

Toprak strüktürü; agregatların şekil, büyüklük ve dizilişleri ile karakterize edilen yapısal sistemin adıdır. Toprak sistemi içerisinde gerçekleşen birçok olay ve süreç; kum, silt ve kil parçacıklarının ortamda bulunan bağlayıcı, yapıştırıcı ve çimentolayıcı maddelerin etkisiyle bir araya gelerek kümeleşmesine yol açar (Öztaş 2014).

Toprak agregatlarının veya strüktürel ünitelerin kümeleşmesi elektrokinetik bir olaydır. Yüksek zeta potansiyeline sahip kolloidler süspansiyon içinde birbirleriyle çarpıştıklarında birbirlerini iterler. Eğer zeta potansiyeli düşecek olursa çarpışan taneler çöker ve kümeleşme olur. Stabil agregat oluşmasında primer taneler su içinde disperse olmayacak kadar sıkı bir şekilde bağlanmıştır. Toprak strüktürünün oluşması için kümelerdeki primer tanelerin birbirlerine yapışması (çimentolanması) gerekir (Anonim 2014a).

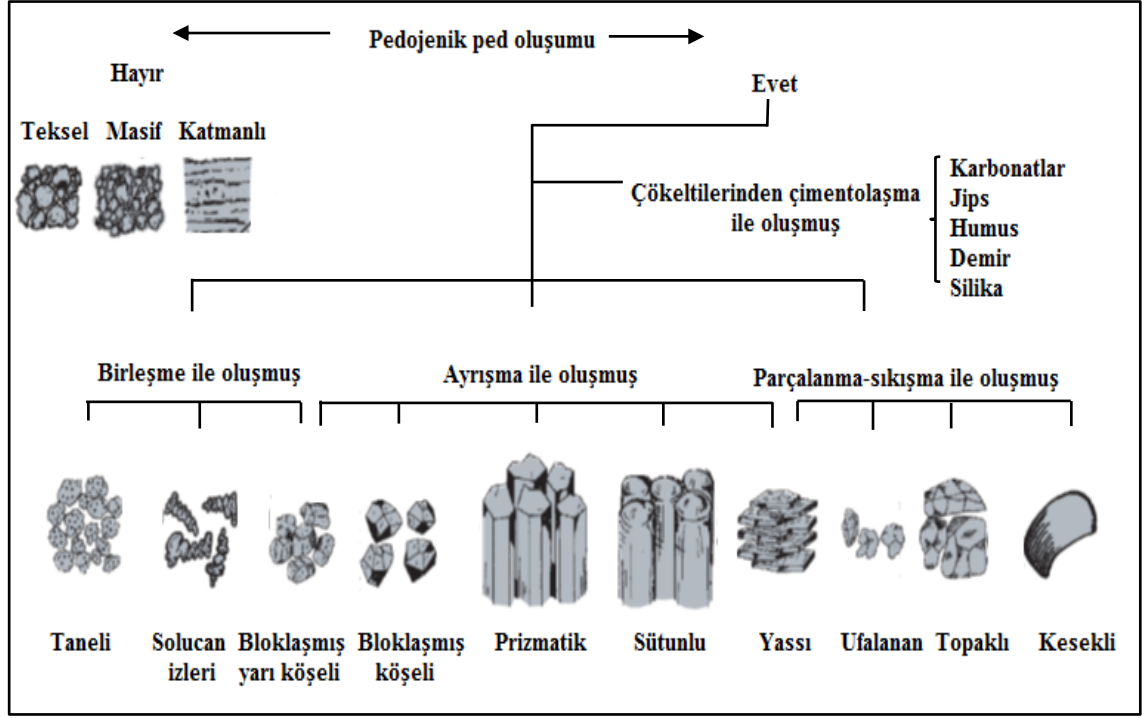
Toprak strüktürü gözeneklerin sürekliliği ile ilişkilidir. Baver (1956)'e göre toprak strüktürü genellikle toprak tanelerinin diziliş durumu olarak tarif edilir. Tane terimiyle toprağın kum, silt ve kil gibi fraksiyonları ifade edilir, ancak toprak fraksiyonlarının kümeleşmesiyle oluşan agregatlar da strüktürel anlamda tane terimine girer ve bunlara sekonder toprak tanecikleri denir. Buna göre; “Toprak strüktürü kum, silt, kil gibi primer toprak tanecikleri ile agregat veya sekonder toprak tanecikleri denilen toprak elemanlarının belirli yapısal desenler halinde dizilmesi sonucu oluşur”.

Primer toprak parçacıklarından kum ve silt genellikle bireysel tanecikler halinde bulunurken, kil parçacıkları kümeler halinde bulunurlar. Toprak strüktüründe kümelerden oluşan agregatların kalitesi, boyutu ve tipi dikkate alınır (TRGM, 2013). Toprak strüktürü; agregatların şekil ve dizilişleri (strüktür tipi), büyüklük dağılımları (strüktür sınıfı) ve dayanıklılık düzeylerine (strüktür derece) göre belirlenmektedir (Soil Survey Staff 1993). Bir toprak profilinde farklı strüktürler Şekil 2.6'da görülmektedir.



Şekil 2. 6 Toprak yapısı şekilleri (Anonyoumus 2014a)

İkinci bir strüktürün varlığında, bu strüktürün ilk strüktürle ilişkisi de tanımlanmalıdır. Birincil ve ikincil strüktürler birlikte gözlenebilir (örneğin sütunlu ve prizmatik strüktürler). Birincil strüktür ikincil strüktüre parçalanabilir (örneğin prizmatik strüktürün köşeli blok strüktüre parçalanması). Birincil strüktür ikincil strüktürü oluşturmak üzere birleşmiş olabilir (örneğin yassı strüktürün bütünleşerek prizmatik strüktür oluşturması). Strüktür tipleri ve strüktür oluşumunda etkili faktörler Şekil 2.7'de şematize edilmiştir.



Şekil 2. 7 Toprak strüktür tipleri ve oluşumları (TRGM 2013)

Kaba bünyeli topraklar strüktürel açıdan zayıf bir gelişim sergilerler. Bu topraklar, agregatlaşmada büyük rol oynayan kil ve organik madde bakımından yetersizdirler. İnce bünyeli topraklar (aşırı killi topraklar hariç) genellikle sağlam bir strüktürel yapı gösterirler. Orta bünyeli-tınlı topraklarda ise agregatlaşma genellikle yeterli düzeydedir.

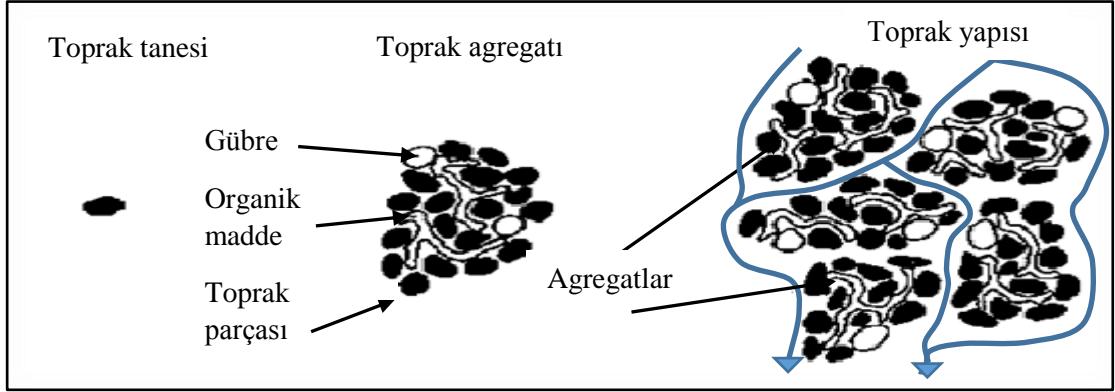
2.2.1.1 Toprak strüktürü ve hidrolik iletkenlik ilişkisi

Topraklar, sedimentlerin veya altlarındaki kayaların yapısı karşılaştırıldığında doğrudan gözlemler için nispeten kolayca ulaşılabilen oldukça heterojen ve karmaşık yapıya sahiptirler. Toprak biliminin genç yaşına rağmen, toprak strüktürünün sistematik tanımlayıcı çalışmaları neredeyse 70 yıllık bir geçmişe sahiptir. Nikiforoff (1941)'un toprak strüktürünün horizon ölçeğinde tanımlamaları ile ilgili sistematığı anlattığı ufuk açan çalışması tüm dünyada kullanılmaktadır.

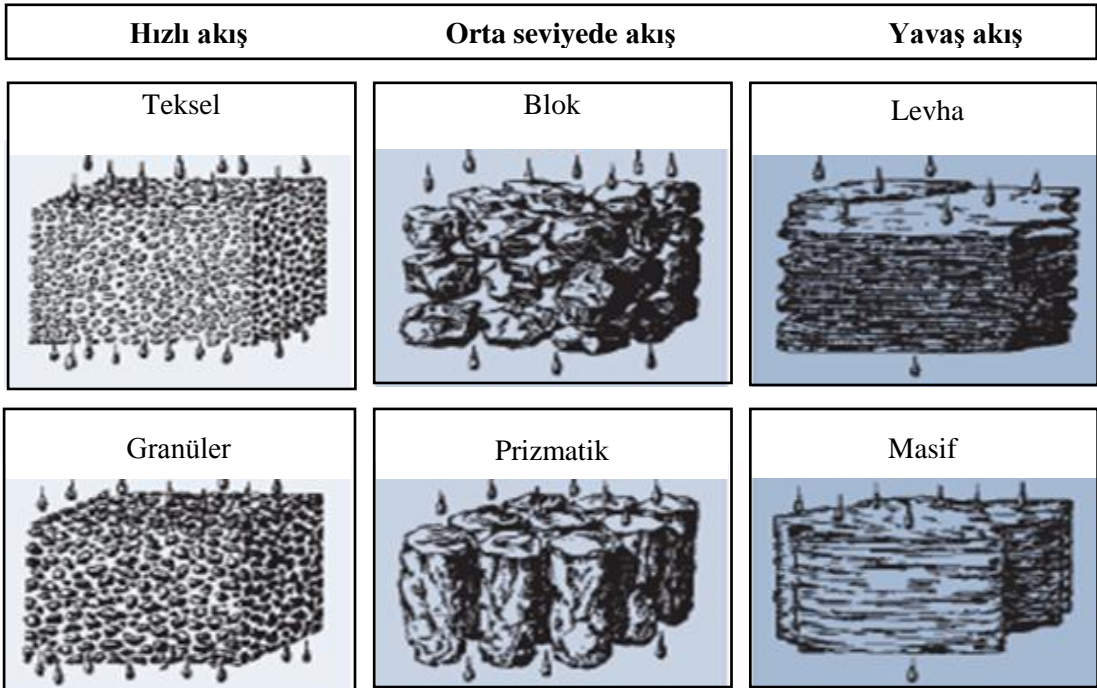
Lin *et al.* (1999)'a göre, toprak yapısı terimi geleneksel olarak toprak araştırmalarında birincil toprak parçacıklarından oluşan toprak birimlerinin şekil, boyut ve sınıfları için kullanılmaktadır. Toprak yapısı kavramı aslında pedality demektir; ancak, pedality tek başına interpedal gözeneklerin büyüklüğü ve interpedal ve transpedal gözeneklerin büyüklük ve miktarı gibi gözeneklilik hakkında yeterli bilgi sağlamaz.

Yaygın arazi toprak tanımlamaları, boşluklardan çok katı kısmın yapısal düzenlemelerini karakterize eder. Katıların yapısı ve gözeneklerin yapısı için yapılan tanımlamalar birbirlerini tamamlayıcıdır ancak doğrudan ilişkili olmaktan çok uzaktırlar (Pachepsky *et al.* 2008).

Toprakta iyi bir strüktür oluşumu toprağın hidrolik iletkenliğini olumlu yönde etkilemektedir. Toprakta bulunan agregatlar bir araya gelerek bir yapı oluştururlar ve bu da suyun toprakta daha hızlı hareket etmesini sağlar. Strüktür gelişiminin iyi olduğu topraklarda su, oluşan yapıların arasındaki geniş boşluklardan aşağıya doğru rahat bir şekilde hareket edebilir (Şekil 2.8 ve Şekil 2.9).



Şekil 2. 8 Toprak suyunun agregatlar arasında akışı (Anonyomus 2014b)



Şekil 2. 9 Drenaj ile ilgili toprak yapısı sistematığı (Engle *et al.* 1991)

Şekil 2.21'e göre toprak strüktürünü oluşturan birimlerin yüksekliği yaklaşık olarak genişliğine eşit (blok yapı) ise, toprakta su ve hava hareketi iyidir. Yüksekliği genişliğinden daha büyük olan yapı birimleri (prizmatik yapı) çoğunlukla, ıslak iken şişen ve kurduğunda büzülen ve dolayısıyla hava ve su hareketinin zorlaştığı alt topraklar ile ilişkilidir.

Parçacıkların eni boyundan fazla (pulsu yapı) olduğunda, toprakta su ve hava hareketi ile kök gelişmesi sınırlıdır. Granüler yapı, özellikle ince bünyeli (tekstürlü) topraklarda, suyun girişi ve hava hareketi bakımından idealdir. Su ve hava, blok yapılı alt topraklarda tabakalı yapılılardan daha serbestçe hareket eder (Anonim 2014b).

Toprak yapısı ve fonksiyon arasındaki ilişkiler bitki bilimi ve moleküler biyoloji gibi bir çok disiplinlerde çalışılmıştır. Genel olarak bu araştırmaların eğilimi ampirik veya mekanik bir model formundaki ilişki ile yapı ve fonksiyon arasındaki ilişkiyi nicelleştirmektir (Pachepsky *et al.* 2006). Yapılan bir çok çalışmada özellikle toprak yapısı ile ilgili olan morfolojik özellikler hidrolik iletkenliğin arazi ölçümü, teorik hesaplaması veya laboratuvarında belirlenen değerler arasındaki bazı varyasyonları açıklayabileceği bildirilmiştir (Sharma and Uehara 1968, Keng and Lin 1982, Field *et al.* 1984, Bouma 1992). Pachepsky *et al.* (2006)'a göre toprak morfolojisinin nitel gözlemlerinin, nicel toprak hidrolik parametrelerine dönüştürülebileceği dikkat çekici görünmektedir. Bu nedenle bu konunun keşfetmek için ilginç bir çalışma olduğu bildirilmiştir.

O'Neal (1949), toprak geçirgenliğinin tahmini için toprak yapısı ve diğer özelliklerin kullanılabilmesini vurgulamıştır. Ancak bazı çalışmalarda bu özellikler kullanılamamıştır. King and Franzmeier (1981) doygun hidrolik iletkenliği tahmin etmek için genetik ve morfolojik toprak özelliklerini kullanmışlardır. Doygun hidrolik iletkenlik toprak yapısının 3 bileşeni olan büyüklük, tip ve sınıf özellikleri ve toprak tekstürüne dayanarak sınıflandırılmıştır. Ancak bu gruplama çok sayıda sınıf oluşması ile ve her sınıfta çok az gözlem ile sonuçlanmıştır. Bu nedenle gruplama içerisinde küçük sınıfların büyük sınıflar ile birleştirilmesi, mantıksal olarak planlanması ve tutarlı gruplama yapılması zor olmuştur. Örneğin, zayıf prizmatik yapılar, orta derecede yarı köşeli blok yapılara bölünmüştür. Ayrıca, bazı benzer görünüşteki horizonlar farklı araştırmacılar tarafından farklı olarak tanımlanmıştır. Toprak yapısının kullanılmasında başarılı olunamamış ve daha sonra tekstür, ana materyal ve horizon gelişimine dayanan toprak etüt kılavuzunda yer almayan sınıflamalar kullanılarak K_s verileri sınıflandırılmıştır. K_s verilerindeki değişimi ana materyallerin orijinal hacim ağırlığı ve toprak oluşumu sırasındaki değişimleri ile açıklamışlardır.

Sonuç olarak doygun hidrolik iletkenlik değerlerinin, standart toprak yapısı sınıflamalarının kullanılmasından çok materyallerin orijinlerinin kullanılmasına dayanan ancak resmi olmayan kriterler ile daha homojen olarak gruplanabileceği belirtilmiştir. Quisenberry *et al.* (1993) ise su akışı ve çözünen taşınmasında toprak yapısının öneminin farkedilmesine rağmen, yapının belli bir yöntemde sayısallaştırılmasının yararlı olacağı konusunun eksik olduğunu yorumlamıştır. Ancak sonraki çalışmalarda sınıflama teknikleri başarılı bir şekilde kullanılmış, bunlar arasında sınıflama ve regresyon ağaçları yöntemi toprak yapısı ile ilgili PTF çalışmalarında başarılı bir şekilde uygulanmıştır (Clark and Pregibon 1992, McKenzie and Jacquier 1997, O'Connell and Ryan 2002, Park and Vlek 2002).

Pachepsky *et al.* (2006), yapısal özellikleri; zayıf ve orta sınıf, orta ve ince büyüklük ve köşeli ve yarı-köşeli blok tipi olarak sınıflandırılan örneklerin baskın olduğu 2149 toprak örneğinde regresyon ağaçları yöntemi kullanılarak toprak yapısı ve hidrolojik özellikleri ile ilgili PTF oluşturmuştur. Yazarlar, bu çalışmada kullanılan yöntemde olduğu gibi, bir toprakta bir arada tutulan toprak birimlerinin oranlarını ve ayrı olan birimler içinde ayırma kolaylığı sağlayan bazı kriterleri belirtmişlerdir. Bunlar;

a- Yapısız; toprakta gözle görülebilir bir agregatlaşma veya zayıf oluşumların doğal hatlarının düzenli sıralanması ve tanımlanması yoktur.

b-Zayıf; toprak birimleri ancak yerinde gözlemlenebilir, toprak hafifçe dağıtıldığında toprak materyali hiç bir zayıflık düzlemi sergilemez.

c-Orta; toprak birimleri iyi oluşur ve bozulmamış topraklarda belirgindir, toprak materyali dağıtıldığında, bitişik pedlerin neredeyse tüm yüzeyleri ortaya çıkar.

d-Güçlü; toprak birimleri bozulmamış toprakta farklıdır ve toprak dağıtıldığında, toprak materyali başlıca birimlere ayrılır.

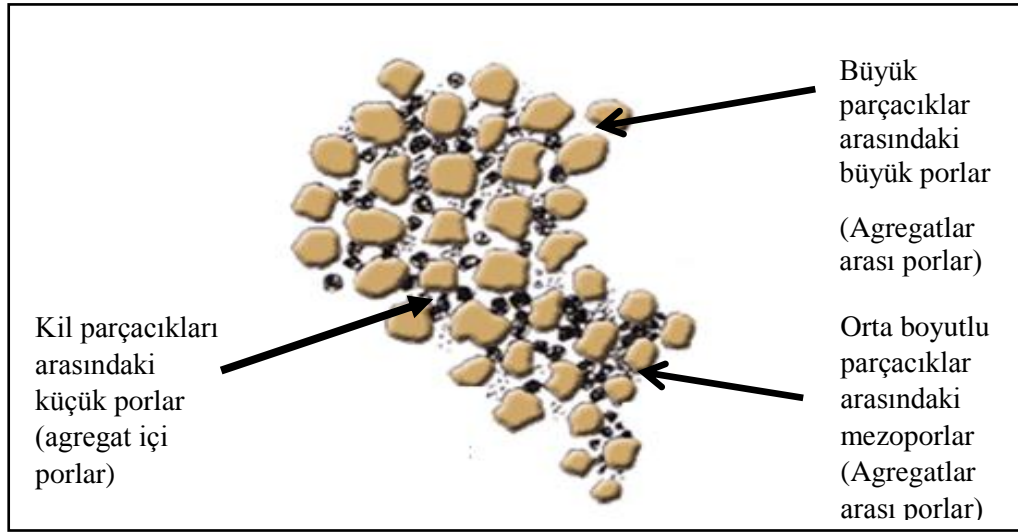
2.2.2 Toprak gözenekleri

Toprak strüktürü üzerinde yapılan araştırmalar, toprağın çeşitli büyüklükteki boşlukları ihtiva eden gözenekli bir ortam olduğunu göstermiştir. Topraktaki boşluklar olan gözenekler, toprak hacminin toprak taneleri tarafından işgal edilmeyen yüzdesi olarak tarif edilir. Toprakta parçacıkların dizilmesi, toprak boşluklarının şeklini ve miktarını belirler. Toprak boşlukları değişen oranlarda hava ve su içerirler. Hava ve suyun oranı toprak boşluklarının büyüklüğüne bağlıdır. Toprak boşluklarının büyüklüğü ise toprak strüktürünü oluşturan tanelerin şekil, diziliş ve miktarına göre değişmektedir (Baver 1956).

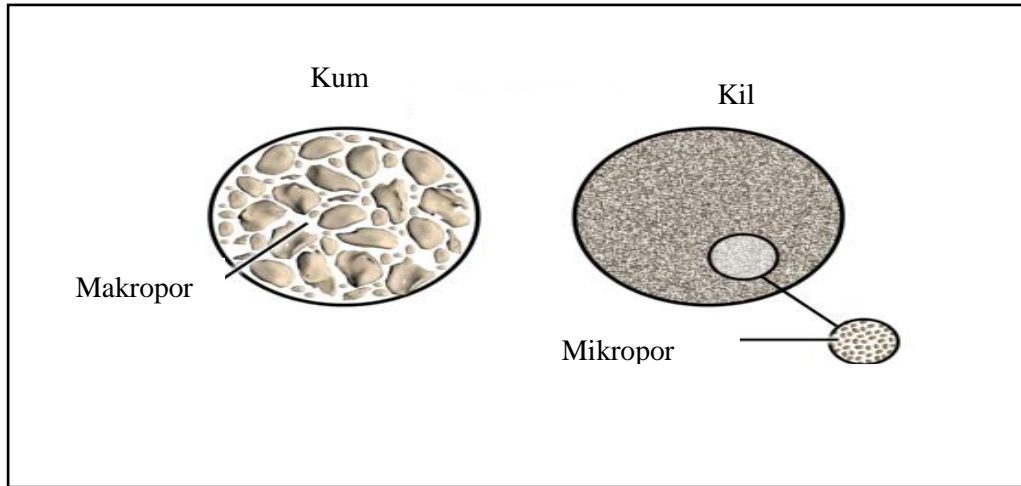
Toprakların gözenekliliği %30 – %70 arasındadır. Toprak gözenek hacmi, bir taraftan toprağı meydana getiren primer toprak taneciklerinin ayrı ayrı büyüklüğü ile ilgili olduğu gibi, diğer taraftan toprağın strüktürü demek olan, sekonder toprak parçacıklarının özel dizilişleri ve gruplaşmaları ile de ilgilidir. Kumlu toprakların gözenekleri iri, fakat toplam gözenek hacmi düşüktür. Killi topraklarda ise gözenekler ince fakat toplam gözenek hacmi fazladır. Topraktaki bir gözeneğin büyüklüğü, toprak içinde oluşan bir çok olayda hangi rolü alacağını belirleyebilir. Gözenekler büyüklüklerine göre makro, mezo ve mikro gözenekler olarak sınıflandırılırlar. Toprakların gözenek iriliği (Şekil 2.10, 2.11 ve 2.12) gözenek dağılım sınıflaması ise Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Gözenek çapı ve rutubet tansiyonuna göre, gözenek iriliği dağılımı sınıflaması (Seheffer and Sehahtsehabel 1973)

Gözenekler büyüklüğü	Gözenek çapı (Mikron)
Çok Kaba	>50
Kaba	50-10
Orta	10-0.2
Küçük (ince)	< 0.2



Şekil 2.10 Killi bir toprakta makro ve mezo gözenekler (porlar) (Anonyoumus 2014c)



Şekil 2.11 Kumlu ve killi toprakta makro ve mikro gözenekler (Anonyoumus 2014ç)



Şekil 2.12 Toprak taneleri arasındaki farklı büyüklükteki gözenekler (USDA, NRCS. 2008)

2.2.2.1 Makro (Kaba) gözenekler (>100 mikron)

Gözenek büyüklüğü dağılımının, gözeneklerin düzen ve sürekliliklerinin toprak K_s değerleri üzerinde büyük etkisi vardır. Bu karmaşık etkiler Bouma *et al.*(1979) tarafından killi topraklarda çalışılmıştır. Diğer bir örnek ise toprak suyu içeriği ve matriks yük ilişkisinin kullanılarak gözenek büyüklüğü dağılımını belirleyen Marshall (1957)'dir (Oosterben and Nijland 1994).

Makroporlar, 1.0 mm'den büyük toprak boşlukları olarak tanımlanırlar (Luxmoore 1981). Toprak yüzeyinde makroporlardaki bir artış toprak içindeki sudaki bir artışa tekabül eder (Edwards *et al.* 1979). Toprak suyu çapları 1000 mikrondan büyük kaba gözeneklerde kolayca hareket edebildiğinden, bu gözenekler kendiliğinden drene olabilen gözenekler diye de adlandırılmaktadırlar.

Serbest drenaj koşullarında su, yerçekimi kuvvetinin etkisiyle bu gözeneklerden hızla boşalmakta, çap büyüklüğü ile orantılı olarak suyun boşalması da hızlanmaktadır. Suyun boşaldığı kaba gözenekler hava ile dolmakta ve kök solunumu ve biyolojik aktivite için büyük öneme sahip olan toprak ile atmosfer arasındaki gaz değişimini sağlamaktadırlar. Bu gözenekler, düşük tansiyonlu olmaları nedeniyle, ancak taban suyu seviyesinin çok yakınlarında su ile dolu bulunabilirler (Anonim 2014c).

Kaba gözenekler, hızlı (50 mikrondan büyük) ve yavaş (50 - 10 mikron) drene olabilen kaba gözenekler olarak kendi aralarında ikiye ayrılırlar. Hızlı ve yavaş drene olan kaba gözenekler, kumlu topraklarda genellikle primer gözenekler, diğer mineral topraklarda ise ancak sekonder gözenekler olarak bulunmaktadır (Anonim 2014c). Topraklarda makroporların değerlendirilmesi Şekil 2.13'te verilmiştir. Toprakta doygun su iletkenliğinin düşük olması süreklilik göstermeyen makro gözeneklerin eksikliğinden ve bu gözenekleri tıkayan ince toprak parçacıklarının bulunmasından kaynaklanabilir. Makro gözenekleri tahrip eden faktörler ise toprak işleme, alet tekerleği ile sıkıştırma, su damlasının hidrolik etkisi, yüzey akışın kesme kuvvet etkisi, yüklenmiş toprak zerrelere arasındaki kimyasal kuvvetlerin etkisi ve zayıflamış toprak parçacık bağları üzerindeki yerçekimi kuvveti etkisidir (Trout *et al.* 1992).



Agregatlar arasında fazla sayıda makropora sahip topraklar iyi bir toprak yapısı gösterirler.



Toprakta ve agregatlar arasında makroporlar önemli ölçüde azalmıştır fakat orta derecede topaklanma gösteren topraklarda makroporlar mevcuttur.



Toprak yüzeyleri birkaç çatlak ve delik ile düzdür ve keskin kenarlara sahiptir.

Şekil 2.13 Toprak gözenekliliğinin değerlendirilmesi (Houskova 2005)

2.2.2.2 Mezo (Orta) gözenekler (10-0,2 mikron)

Orta gözeneklerin çapları küçük olduğundan bu gözeneklerdeki su çok yavaş hareket eder. Su, uzun süre toprağın bu gözeneklerinde tutulabilmekte ve bu su bitkilere faydalı suyu teşkil etmektedir. Kumlu ve siltli topraklarda genellikle primer, diğer topraklarda sekonder gözenekler olarak bulunmaktadır (Anonim 2014c).

2.2.2.3 Mikro (Küçük) gözenekler (<0,2mikron)

Küçük gözeneklerde su, çok yüksek bir tansiyonla tutulur, uzun sürelerde dahi, yerçekimi kuvvetinin etkisi altında boşalamaz ve bitkiler tarafından kullanılamaz. Kök gelişimi ve mikrobiyolojik aktivite bakımından, gözenek iriliği çok büyük önem taşımaktadır. Çapı yaklaşık 10 mikrondan büyük saçak kökler ancak kaba gözeneklere girebilme imkanına sahiptirler. Çapları ortalama 3 - 6 mikron olan mantarlar ve çapları ortalama 1 mikron, ekstrem hallerde 0,2 mikron olan bakteriler ise ancak orta gözeneklere nüfuz edebilmektedirler. Küçük gözenekler ise mikroorganizmaların nüfus edemeyeceği kadar küçüktürler (Anonim 2014c).

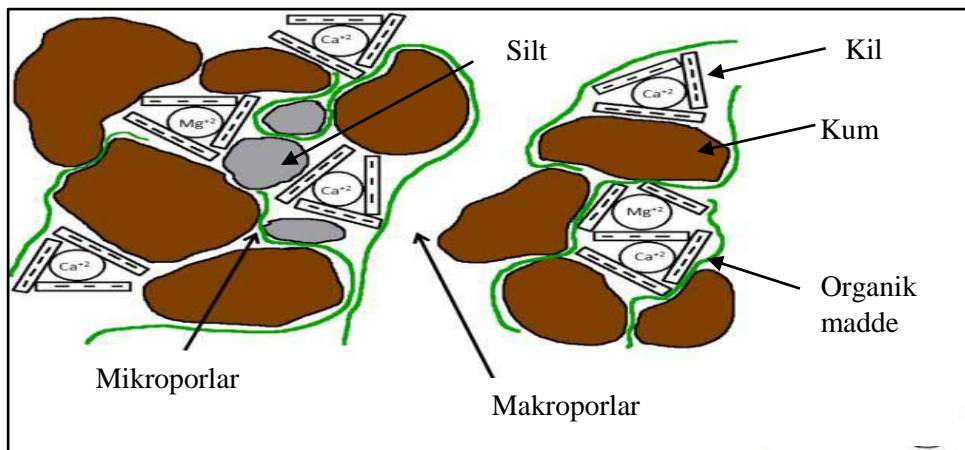
2.2.2.4 Toprak gözenekliliği ile hidrolik iletkenlik ilişkisi

Hidrolik iletkenlik gözenek boyutu ile yakından ilgilidir. Bir boru içinde akan su, borunun yarıçapının dördüncü kuvveti ile orantılıdır. Su, küçük bir gözeneğin on katı büyüklükteki bir gözenekte, küçük gözenekteki akışın 10.000 katı daha hızlı akabilir (Foth 1991). Doygun topraklarda, kaba tekstürlü toprakların su ile dolu boşluklarında su ve toprak yüzeyi arasındaki sürtünme, daha fazla yüzey alanı içeren ince bünyeli topraklarınkinden daha düşüktür. Doygun şartlardaki bir toprağa basınç uygulandığında, öncelikle büyük boşluklardaki su boşalır. Bu nedenle büyük boşluk oranı fazla olan topraklar daha yüksek hidrolik iletkenlik değerine sahiptirler.

Su, büyük gözeneklerden hızlı bir şekilde hareket ederken aynı zamanda küçük gözeneklerde de yavaş bir şekilde hareket halindedir. Toprağın su içeriği azaldığında, su daha küçük boyutlu gözeneklerde hareket eder çünkü ilk olarak büyük gözeneklerdeki su boşalmıştır. Bu nedenle, bir toprağın hidrolik iletkenliği gözeneklerden azalan su içeriği ile doğru orantılıdır.

Gözenekler suyun iletim (makroporlarda) ve adsorbsiyon (mikroporlarda) yollarında önemlidir. Bu nedenle, makro gözeneklerin artması nedeni ile boşluk oranının da artması, suyun infiltrasyonunu arttırabilir. Doygun hidrolik iletkenliğin topraktaki makroporlar ile ilgili olduğu beklenmektedir (Aşkın 2005). Su büyük gözenekler (makrogözenekler) aracılığıyla toprağa girer ve çok sayıda küçük gözeneklerde (mikro) depolanır. Gözenekli topraklarda makro ve mikro gözeneklerin arasında bir denge vardır (Şekil 2.14) (Anonyomus 2014d).

Toprağın hidrolik iletkenliği toplam gözenek hacminden çok gözenek büyüklüğü tarafından belirlenmektedir. Aynı gözenekliliğe sahip olan iki topraktan gözenekleri daha ince olanın hidrolik iletkenliği gözenekleri kaba olana göre daha düşüktür (Childs 1957). Topraktaki gözeneklerin, havayla tıkanması durumunda perkolasyon azalabilmektedir (Baver 1959). Bu durumda gözenekli ortamın hidrolik iletkenliği tam doyumluk durumundakine göre yarı yarıya azalabilmektedir (Bloomsburg and Corey 1964).



Şekil 2.14 Toprakta makroporlar ve mikroporlar (Anonyomus 2014e)

Toprak gözeneklerinin mantarların ve mikrofloranın gelişmesi sonucunda tıkanması hidrolik iletkenlik üzerine önemli etki yapabilmektedir. Özellikle toprak örneğinin uzun süre su içerisinde bırakılması durumunda mikrobiyal faaliyet sonucu hidrolik iletkenlik önemli ölçüde azalabilmektedir (Reeve 1957, Klute 1969).

Toprakların hacim ağırlıkları, kum içeriğinin artmasıyla artmakta ve bu artış por çapı ile ilişkili olarak hidrolik iletkenliğin artışı sonuçlamaktadır (Özdemir 1998). Diğer taraftan toprakta suyun tutulma gücü de gözenek büyüklüğü ile doğrudan ilişkili olduğundan (Iwata *et al.* 1995) belirli negatif basınçlarla toprakta tutulan su miktarını ifade eden toprak nem sabiteleri hidrolik iletkenlik değeri ile önemli ilişkiler verebilmektedir (Yakupoğlu vd. 2013).

Toprak drene olduğunda hidrolik iletkenlik hızla düşer. Kılcal demet modeli bunu şu şekilde açıklar; daha büyük gözenekler hava dolu ise, su hareketi daha küçük gözeneklerde sınırlı kalır. Poiseuille yasasının akış ve tüp yarıçapı ilişkisinin açıklaması doğru kabul edilir, ancak olayın yalnız bir kısmı yakalanmıştır. Toprak kurudukça, su ile dolu akış yollarının toprağı işgal ettiği kesit hacmi azalır. Kalan gözenek akış yolları daha dolambaçlı ve birbirinden uzak hale gelir çünkü birim hacim başına daha az sürekli gözenek yolu kalmıştır. Su ile dolu gözeneklerin kesitsel hacmindeki bir artışla su yolları ile bağlantı kesilir. Ancak film akışı dolu gözeneklerden olan akıştan çok yavaş olduğu için bu su dolu gözenekler, çok yavaş drene olan akış yollarından izole edilmiştir ve bu nedenle filmler yolu ile olan akış dışında akışa katkı sağlamazlar (Hunt *et al.* 2013).

Ölçüm işlemleri sonunda kalan su değişik yerlerde kalan suların toplamıdır. Bunlar; ince filmler (Tuller *et al.* 1999), yüzeydeki darbe ve çukurlar (Toledo *et al.* 1990), tanelerdeki kılcal köprüler (Rose 1958, Orr *et al.* 1975), izin verilen ancak erişilemeyen su dolu gözenekler (Hunt 2004a) ve verilen zamanda drene olmayan su dolu gözenekler (Hunt and Skinner 2005) dir. Uygulamada, bu etkilerin hesaba katılması çok nadir olarak denenmektedir (Hunt and Skinner 2005).

2.2.3 Toprak kıvamı (Consistence)

Bir toprak su sisteminin konsantrasyonu, toprak kütlesinin serbest bir şekilde akamayacağı kadar arttığı zaman, kohezyon ve adezyon kuvvetleri aktif rol oynamaya başlar. Bu durumdan sonra toprak belirli bir 'kıvam'a sahip olur. Toprak kıvamı genellikle toprakta farklı rutubet şartlarında kohezyon ve adezyon gibi fiziksel kuvvetlerin oluşum derecesine göre tarif edilebilir. Bu oluşumlar; ilk olarak, toprağın yerçekimine, basınca, itme ve çekmeye karşı tavrını, ikinci olarak toprak parçacıklarının diğer maddelere yapışmasını ve üçüncü olarak parmaklar arasında sıkıştırılan toprak parçacığından alınan bilgileri kapsamaktadır (Baver 1956).

Bu tariflere göre toprak kıvamı, toprak parçacıkları arasındaki kohezyon ve adezyon kuvvetlerine bağlı olarak, toprağın herhangi bir etki altında kopma, kırılma ve şekil değiştirmeye karşı dayanıklılığını ifade etmektedir. Toprağın bu dayanıklılığı, kum, kil, silt ve içerdiği organik madde miktarına göre değişir. Kıvam; toprak yapısı, toprak gözenekliliği, toprağın erozyona karşı direnci ve kolay işlenip işlenmemesi ile ilgili konularda bilgi verir.

Bir toprağın kıvamı sahip olduğu nem miktarıyla ilişkilidir ve genelde toprak ıslak iken akışkan, nemli iken yapışkan ve kuru olduğunda sert durumdadır. Farklı topraklar değişik nem içeriklerinde farklı kıvam düzeylerine sahiptirler (Gülser ve Candemir 2006).

Kıvam indeksi (consistency index) toprağın kıvamını yani toprağın plastiklik limitindeki su içeriğine yakınlığını gösterir. Kıvam indeksi sıfır olan bir toprak sıvı limitindedir ve son derece yumuşaktır. Diğer yandan plastik limitine eşit su içeriğine sahip bir toprak, toprağın nispeten ufalanabilir olduğunu gösteren %100 kıvam indeksine sahiptir. Kıvam indeksinin %100'den büyük olması toprağın güçlü olduğunu göstergesidir (Anonyoumus 2014f).

Toprak kıvam indeksi matematiksel olarak;

$$CI = \frac{LL - w}{PI} \times 100 \quad (2.8)$$

şeklinde ifade edilir (Anonyoumus 2014f). Eşitlikte;

LL = Likit Limit

PI = Plastiklik Limiti

w = Ağırlık üzerinden toprak su içeriğidir

2.2.3.1 Toprak kıvamının belirlenmesi

Toprak tutarlılığı; Parmaklar arasında toprağa basınç uygulayarak, penetrometre ile (toprak içinde penetrometrenin ilerlemesi bir bitki kökü ile aynı etkiyi yapar) ve köklerin incelenmesi ile yapılabilir (Anonyoumus 2014g).

2.2.3.2 Toprak kıvam göstergesi

Toprağın kıvamı;

1-Kil minerallerinin miktarı ve tipine,

2-Toprak işlenme koşullarına,

3-Sıkışma potansiyeline ve

4-Bitki gelişimi ve fide çıkışını kısıtlayan bölgelerin ve çamur, kabuk, sert katman gibi sıkıştırılmış bölgelerin varlığına bağlıdır (Anonyoumus 2014g).

Toprak kıvamı belirleme yöntemleri Şekil 2.15'te gösterilmiştir.

gevşek*



* Taneli yapısı olan toprak daima gevşektir.


Gevşek:
Toprak yapısı el ile sıkıştırılmadan dağılır.

Dağılgan/gevrek



Dağılgan:
Toprak örneği el ile az miktarda basınç uygulandığında kırılır ve dağılır.

sıkı



Sıkı:
Toprak örneği önemli miktarda basınç uygulandığında kırılır. Kırılmadan önce parmaklar arasında ezilir.

Çok sıkı



Çok sıkı:
Toprak örneği parmaklar arasında kırılmaz. Ancak çekiçle kırılabilir.

Şekil 2.15 Toprak kıvamını belirleme yöntemleri (Anonim 2014d)

Toprak kıvamını etkileyen faktörler;

1-Su içeriği;

Toprak kıvamını etkileyen en önemli faktör su içeriğidir, toprak kıvamı toprağın nem içeriğine göre değişir (Şekil 2.16). Islak bir toprakta toprak parçacıkları daha kolay şekil alabilir. Su toprakta bir yağlayıcı gibi hareket eder. Toprak ıslandığında işlenir veya çignenirse sıkışır, daha yoğun olur. Bir toprak ıslak iken işlenir ise;

1-Toprak zayıf mukavemete sahip olur, partiküller kolayca taşınır.

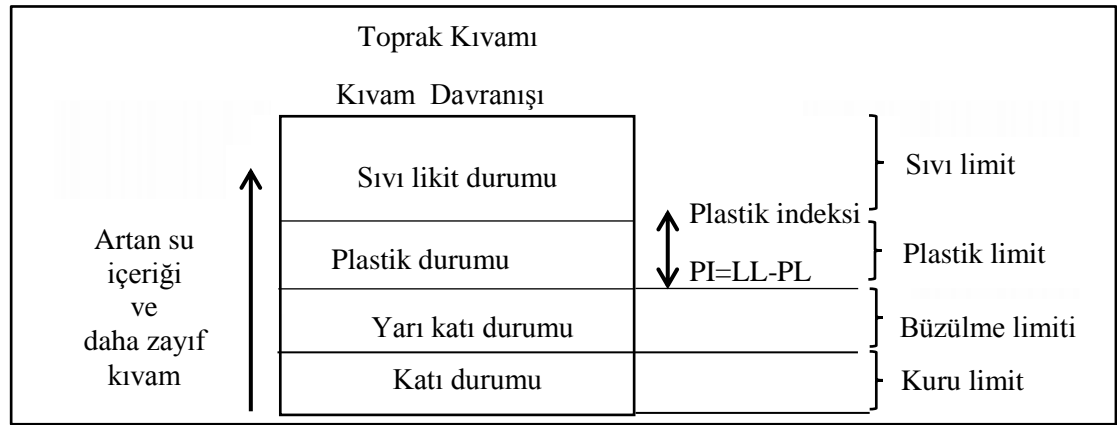
2-Tekerlekler altında kalan toprak sıkışır ve hacim ağırlığı artar.

3-Büyük gözenekler tahrip olur, pedler arasındaki çatlaklar ve eski kökler ezilir.

4-Toprak kurduğunda sertleşir. Bitki kökleri toprak partiküllerinin şeklini değiştirecek güce sahip olamaz.

5-Kök gelişimi sınırlanabilir.

6-Bu sistemler kuraklığa meyillidir ve gübre alımı zorlaşır (Anonyoumus 2014g).



Şekil 2.16 Toprak nem içeriğine göre kıvam (Anonyoumus 2014h)

2-Toprak bünyesi; Kil içeriği arttıkça toprakta gözenek çapı küçüleceği için toprak daha sıkidır. Bu nedenle killi topraklar kumlu topraklara göre serttir. Toprak parçacıkları arasında zayıf bir güç bulunduğundan kumlu topraklar çok küçük bir tutarlılığa sahiptir. Bu bir araç tekerleğinin kumlu toprağı kolayca itebileceği ve sıkıştırabileceği anlamına gelir (Anonyoumus 2014g).

2.2.4 Toprak plastiklik özelliği

Toprağın bir durumdan diğerine değiştiği andaki su iğerii Atterberg limitleri veya kıvam limitleri olarak bilinir. İsveçli bir ziraat mühendisi olan Atterberg, 1911'de ince taneli toprakların sıvı, plastik, yarı katı veya katı olmak üzere başlıca üç durumda bulunabileceğini belirtmiştir.

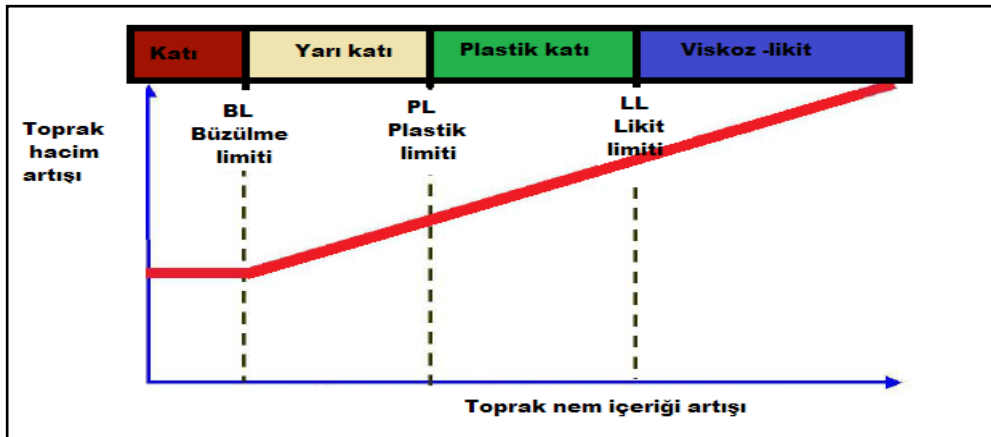
Toprakların mekaniksel özelliklerinin değerlendirilmesinde ölçü olarak "toprak kıvam limitleri (Atterberg Limitleri)" kullanılmaktadır. Kıvam limitleri, Terzaghi and Black (1967) tarafından Atterberg'e atfen toprağın kıvam halleri arasındaki sınırlara karşılık gelen nem miktarları olarak tanımlanır (Anonyoumus 2014f).

Atterberg limitleri 3 sınıfa ayrılmaktadır;

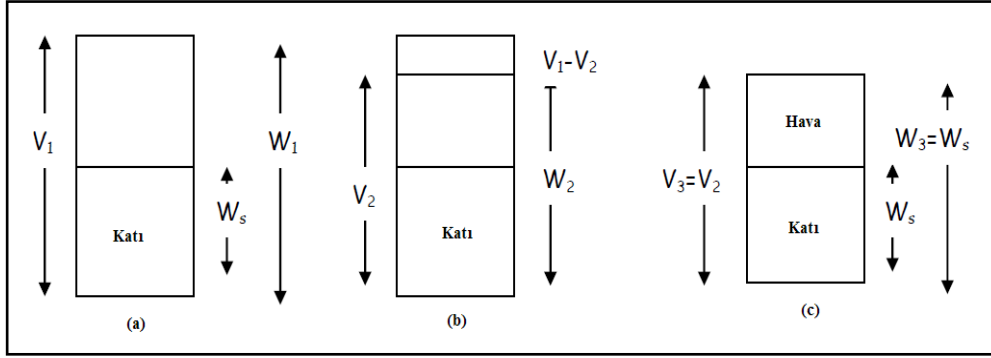
1-Likit limiti: Toprağın akışkan durumundan plastik durumuna değiştiği andaki su iğerii'dir.

2-Plastik limiti: Toprağın yarı katı hale geldiğinde sahip olduğu su iğerii plastik limiti olarak bilinir.

3-Büzölme limiti: Toprağın yarı katı formdan katı formuna dönüştüğu andaki su iğerii'dir (şekil 2.17 ve 2.18) (Anonyoumus 2014f).

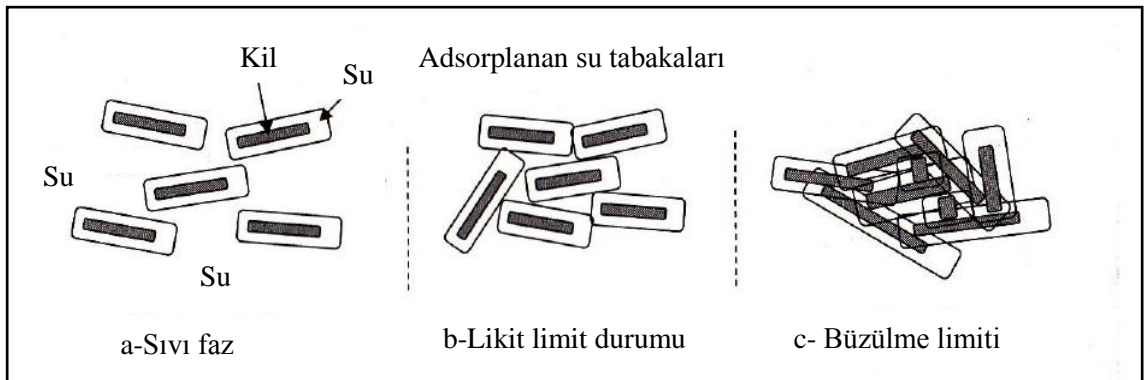


şekil 2.17 Büzölme, plastik ve likit limitleri (Anonyoumus 2014f)



Şekil 2.18 Büzülme sınırı oluşturulması için aşamalar (a) tamamen doymuş bir toprak örneği tahmin edilen büzülme sınırından daha büyük su içeriğine sahiptir (b) büzülme sınırındaki bir toprak örneği (c) fırın kuru durumdaki toprak örneği (Anonyoumus 2014f)

Kil-su sistemleri çalışmalarından likit limit (LL) ve büzülme limiti (SL) anlaşılabilir. Adsorbe edilen su, kil parçacığının bir kısmı olarak kabul edilir. Kil parçası yeterli şekilde su içeriyorsa, adsorbe edilen su tabakaları birbirleri ile tam olarak temas edemezler. Böylece, herhangi bir sürtünme direnci olmaz. Bu durum sıvı halde iken yer almaktadır. Eğer su, bütün adsorbe edilen su tabakalarının birbirleri ile temas halinde olduğu bir seviyede kalırsa, temas noktalarında sürtünme direnci olacaktır. Bu, likit limit durumu olarak kabul edilir. Toprak daha kuru olduğunda, adsorbe edilen su tabakaları üstüste yer alacaktır. Bu durum, bütün parçacıkların kendi aralarında temas halinde olabileceği son noktadır ve büzülme limiti aşaması olarak kabul edilir (Şekil 2.19) (Anonyoumus 2014f).



Şekil 2.19 Su içinde adsorplanan su tabakaları ve kil parçacıkları (Anonyoumus 2014f)

Plastiklik ve likit limitleri bir toprağın plastiklik özelliklerini tanımlamak için kullanılır (British Standard 1961). Plastiklik limiti toprağın ufalanabilir formundan plastik durumuna geçtiği nem içeriği ve likit limiti ise plastiklikten likitliğe geçtiği andaki nem içeriğidir. Likit limit ile plastik limit arasındaki sayısal fark, plastiklik indeksi olarak adlandırılır (Dexter and Bird 2001, SSSA 2010).

Toprakların likit limit (LL) değerleri yaklaşık olarak 10-100 ve plastik limit (PL) değerleri ise 0-60 arasında değişmektedir. Düşük LL ve PL değerine sahip ve parçacık büyüklüğü geniş dağılım gösteren topraklar yüksek hacim ağılığına sıkıştırılabilir ve davranışları kararlıdır (Özdemir 1998).

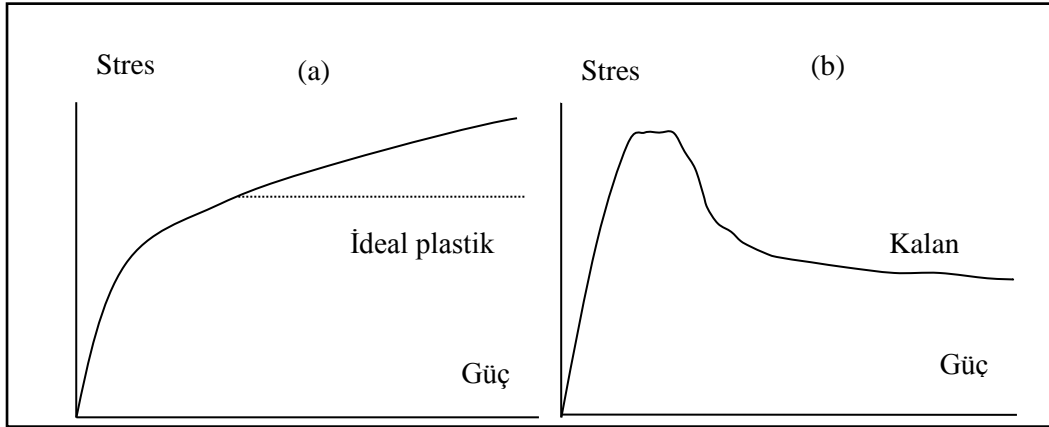
Plastiklik, kitleyi teşkil eden taneleri bir arada tutan kohezyon kuvvetlerinin etkisiyle meydana gelir. Zerreler arasındaki kohezif kuvvetler ise taneler arasındaki su zarının kalınlığına bağlıdır. Toprak içerisindeki su zarlarının meydana getirdiği kohezif güçler, toprak kitlesinin kırılmadan şekil değiştirilebilmesini sağlamaktadır.

Bir toprağın plastiklik özelliği, toprağın çatlama göstermeden şeklinin değişmesidir. Plastiklik ince taneli topraklarda ve yalnızca kil minerallerine sahip topraklarda görülen önemli bir özelliktir. Killi topraklarda suyun tutulması toprağın plastikliğine yol açar. Kil parçacıkları içinde tutulan su, parçacıkların birbiri üzerinden kaymalarına izin verir.

Plastik özelliği killerin istenen bir şekle dönüştürebilme, şekil değiştirmeye sebep olan faktör ortadan kaldırılrsa bile şeklini muhafaza etme, içerdiği su ortamdan uzaklaştırılrsa bile şeklini koruyabilme karakterlerini kapsar (Şekil 2.20). Kumlar ıslak oldukları zaman şekil alabilirler. Fakat sularını kaybedince şekillerini koruyamaz, dağılırlar. Bu nedenle kumlar plastik değildir (Anonyoumus 2014f).

Ayrıca, benzer minerolojik tipte olan ancak farklı orjinli kil mineralleri içeren örnekler, fiziksel özellikler bakımından değişkenlik gösterebilir. Bu zorlukların üstesinden gelmek için, yapay olarak kum ve silt ile birlikte saf kil mineralleri karışımlarının kullanıldığı deneyler yapılmıştır. Bu deneyler, kil minerali tipi ve plastiklik içeriği arasındaki ilişkinin elde edilmesini sağlamıştır (Dumpleton and West 1966).

Plastiklik indeksi ile likit limit grafiği plastisite kartı olarak bilinir (Dumpleton and West 1966). Plastisite kartı üzerinde grafiklenen bir toprak genellikle mühendislik özellikleri ve ince taneli topraklar için Casagrande metodu (1947) sınıflandırılmasının temel formlarını verir (Anonyoumus 2014f).



Şekil 2.20 (a) Kıl gibi sert veya yarı plastik bir maddenin gerilme-deformasyon davranışını gösteren grafik, (b) Kıl veya kaya gibi kırılğan maddelerin sergilediği davranış gösteren grafik (Anonyoumus 2014ı)

Plastik topraklar, ısladıkları zaman orta bir basınçta parçalanabilir ve yapışkan değillerdir. Özel durumların açıklanması için iki kıvam terimi eklenir, bu terimler; çimentolu ve sertleşmemiş topraklardır. Çimentolaşma kalsiyum karbonat, silika ve demir ve aliminyum oksitler gibi çimentolama ajanları nedeni ile gerçekleşir. Çimentolaşmış horizonlar su içeriği ve kök direncinden etkilenmezler, çok sert olduklarında kırılmaları için bir çekiç ile vurulması gerekebilir (Foth 1991).

Toprakların organik madde miktarı ile kıvam limitleri ve arazi kullanımı arasında çok yakın bir ilişki bulunmaktadır. Tarım arazilerinde işlemeye bağlı olarak organik madde içeriği artmakta ve bu durum kıvam limitleri değerlerini artırmaktadır. Türkiye topraklarının büyük çoğunluğu doğal koşullar ve uygun olmayan arazi kullanımı gibi faktörlerden dolayı çok az miktarda organik madde içermektedir (Demiralay ve Güresinli 1979, Canqui *et al.* 2006).

Toprakların kireç miktarı arttıkça, hafif plastik veya plastik olmayan topraklarda likit limit ve plastik limit artmakta ve plastiklik indeksi azalmakta; fazla plastik topraklarda ise likit limit azalmakta ve plastik limit artmaktadır (Atanur 1973). Toprağın maksimum sıkışabilirliğinin göstergesi olan nem içeriği ile kıvam limitleri arasında pozitif bir ilişki bulunmaktadır (Ekwue and Stone 1995, Arvidsson *et al.* 2004).

Toprağın plastikliği sadece kireç ilavesi ile de önemli ölçüde değiştirilebilir (Harichane and Ghrici 2009). Kireç içeriği %3'ten fazla olduğunda genişleyen topraklarda likit limit kısmen değişmeden kalır. Fakat çoğunlukla silika açısından zengin kalıntı (residual) topraklarda likit limit yüksek kireç içeriğinde tekrar artma eğilimine sahiptir. Toprakların işlenebilirliği %5 kireç içeriği seviyesinde önemli artış gösterir. Hatta yüksek plastikliğe sahip killi topraklar %3 kireç oranında silte dönüşebilir (Hussain and Dash 2010). Kil içeriği yüksek bir toprağın kıvamı, yalnızca içindeki su miktarı artırılarak, çok katı bir kıvamdan viskoz bir sıvı kıvamına kadar çok geniş bir aralık içinde değişebilmektedir (Kara vd. 1993).

Canbolat ve Öztaş (1997) kıvam limitleri ile bazı fiziksel ve kimyasal özellikler arasındaki ilişkileri belirlemek için yaptıkları araştırmada, toprak örneklerinin likit limit ve plastik limit değerleri ile organik madde miktarı ve kireç içeriği arasında önemli pozitif, kum içeriği ile önemli negatif ilişkiler belirlemişlerdir.

2.2.5 Toprak yapışkanlığı

Atterberg (1911), yapışma noktasının toprak kıvamında önemli bir karakter olduğunu belirtmiştir. Bu nokta, toprağın yabancı madde üzerine yapışamayacağı su miktarını göstermektedir. Yapışma noktasına, toprağın suyu çekici kuvvetlerinin tatmin edildiği noktada varılmaktadır. Bu nokta, toprak kolloidal tanelerinin adsorbe ettiği su ile toprak kitlesindeki küçük boşluklarda bulunan suyu ifade eder. Kohezyon ve adezyon ile ilgili su zarı teorisine göre, yapışma noktası maksimum adezyonun meydana geldiği noktadaki su muhteviyatı ile yaklaşık aynı seviyede bulunmaktadır. Bu noktaya toprak su ile tamamen doymadan önce erişilmektedir (Baver 1956).

Atterberg'in tecrübe sonuçları, yapışma noktası ile yukarı plastik limitinin toprak tipine göre birbirinden farklı olduğunu göstermektedir. Ancak plastik topraklarda, yapışma noktası yukarı plastik limitinin biraz aşağısında bulunmaktadır. Plastikliği az olan topraklarda bu nokta yukarı plastik limitinin biraz daha yukarisindedir (Baver 1956).

Toprakta organik, inorganik maddeler ve kireç içeriği plastiklik özelliğine benzer şekilde toprak yapışkanlığı üzerinde de etkilidir. Toprak yapışma noktası genellikle plastik sınırı üzerindeki nem içeriğidir. Toprak tekstüründen ziyade toprak yapışkanlık ve plastiklik verilerini kullanmanın bir avantajı vardır çünkü toprak örneklerini önceden analiz için hazırlama işlemi gerekmez (Post *et al.* 2001).

Yapışkanlık, bir toprak parçasının diğer maddelere tutunma derecesidir ve başparmak ile işaret parmağı arasında bastırıldığı zaman toprak parçasının parmaklarda tutunma durumunun belirtilmesi ile açıklanır. Toprak yapışkanlığı toprak ıslak iken değerlendirilir (Şekil 2.21).

1-Yapışkan değil; toprak parmaklar arasında kalmaz



← Yapışkan olmayan toprak

2-Az yapışkan; toprak yalnız bir parmağa yapışır fakat parmaklar uzaklaştırıldığında direnç göstermez



← Az yapışkan toprak

3-Yapışkan; toprak parmaklara yapışır, parmaklar uzaklaşınca hafif direnç gösterir.

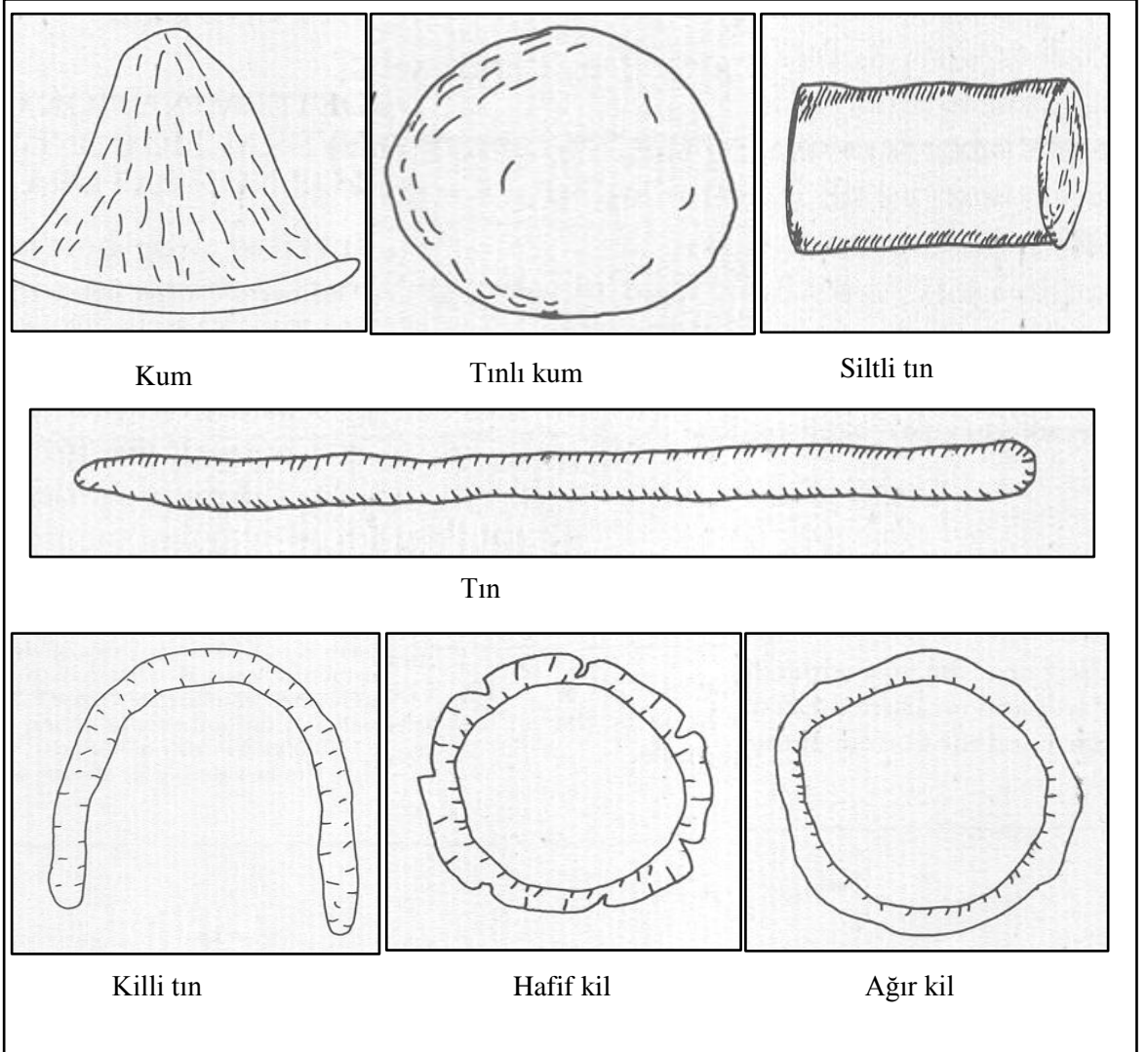
4-Çok yapışkan; toprak parmaklara çok yapışır, parmaklar uzaklaşınca topraklar oldukça direnç gösterirler (Houskova 2005).



← Çok yapışkan toprak

Şekil 2.21 Yapışma derecelerine göre toprakların görünümü (Anonyomus 2014i)

Yapışkanlık ve plastiklik özelliklerine göre aynı miktardaki toprakların aldıkları şekiller Şekil 2.22’de gösterilmiştir.



Şekil 2.22 Eşit miktarlarda alınan farklı tekstürdeki toprakların plastiklik ve yapışma özelliklerine göre aldıkları şekiller (Anonyoumus 2014j)

2.2.6 Toprak kıvamı ve hidrolik iletkenlik

Toprağın kıvamı içerdiği su miktarına göre değişmektedir. Toprak su içeriği toprağın gözenekliliği, dolayısı ile tekstürü ile ilişkili olduğundan eşit miktarda su ilave edilen farklı tekstüre sahip topraklar kıvam açısından farklılık gösterirler.

Fazla miktarda su içeren toprakların (doymuş topraklar) akıcı bir durum gösterdikleri bilinir. Daha düşük nem içeriğine sahip topraklarda toprak akıcılığını kaybeder, sıkı, yapışkan ve plastik bir durum alır. Toprak nem içeriği daha da azalırsa, toprak yapışkanlık ve plastiklik özelliğini kaybeder, kümeli veya dağılıbilir bir durum alır, dokunulduğu zaman yumuşak bir his verir. Sonunda kuru duruma geçildiğinde toprak sert bir kitle haline gelir, parmaklar arasında ovalandığında sertlik hissedilir (Baver 1956).

Toprak tekstürü ile bağlantılı olarak killi bir toprağa fazla su ilave edildiğinde yapışkan bir kıvam alır, bu durumda iken henüz plastiklik özelliği kazanmamıştır. Toprak suyunu kaybetmeye başladığında yapışkanlık yavaş yavaş kaybolur, toprağa kolaylıkla şekil verilebilir. Siltli bir toprak ıslandığında istenen kıvama ulaşabilir. Kumlu bir toprakta ise yapışkanlık ve plastiklik özelliği bulunmaz.

Tarımsal amaçlı çalışmalarda genellikle toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri değerlendirilirken, kıvam gibi mekaniksel özellikleri üzerinde pek durulmamaktadır (Denef *et al.* 2004). Toprak kıvamının toprak hidrolik özellikleri açısından kullanıldığı çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bicki *et al.* (1988), Alfisollere göre Mollisol toprakların büyük bir perkolasyon oranı ve düşük değişkenlik katsayısına sahip olduğunu bulmuşlar ve bu farkı Alfisollerin alt topraklarının güçlü tutarlılığına bağlamışlardır. Vepraskas *et al.* (1996), toprak ve saproliti ayıran geçiş horizonlarında hidrolik iletkenlik, plastiklik ve yapışkanlıkta paralel değişiklikler gözlemlemişlerdir. Voronin (1990), toprakların değişkenliği çalışmasında plastiklik limitindeki gravimetrik su içeriği ve toprak su potansiyeli arasında doğrusal bir ilişki bulmuştur. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda penetrasyon direnci açısından, kıvam verileri toprak su tutumunun tahmini için yararlı bulunmuştur (Pachepsky *et al.* 1998, Gimenez *et al.* 2001).

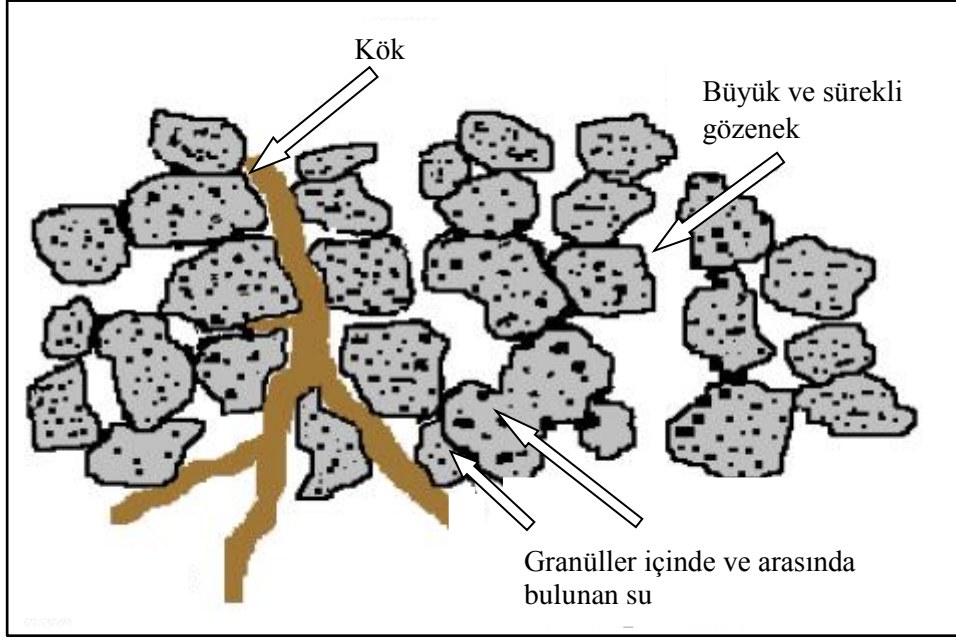
2.2.7 Toprakta kökler

Waisel *et al.* (2002)'a göre bitki kökleri 'bitkinin gizli yarısıdır'. Toprak ile kök arasındaki etkileşimler karmaşıktır ve genellikle tam olarak tanımlanamamıştır. Toprak-bitki-atmosfer sürekliliğinde su iletimini gerçekleştiren ortam bitki kökleri ile toprak arasındaki ilişkilerdir.

Toprakta kök sistemlerinin büyümesi büyük oranda toprak özelliklerinden etkilenir, ancak toprak özellikleri de kökler tarafından değiştirilebilir (Şekil 2.23). Özellikle bitkisel üretim için toprakların kullanılmasında toprak bilimindeki çoğu klasik uygulamalar, homojen topraklarda denge ölçümleri ile bu dinamikleri minimize etmeye çalışmaktadır. Ancak yeni teknikler toprak ve bitki etkileşimini keşfetmek için artan bir şekilde geliştirilmektedir. Örneğin, Young and Crawford (2004) toprak yapısının dinamik jenerasyonunda mikropların önemli rolüne dikkat çekmişler ve toprakta fiziksel ve mikrobiyal süreçlerin etkileşimlerini ve toprak-mikroorganizma sisteminde oluşan örgütlenmeleri vurgulamışlardır. Hatta, mikroorganizmalar için alt tabakaların kaynağı ve toprakta biyolojik, kimyasal ve fiziksel değişimler için madde olarak köklerin ezici rolü gözardı edilmesine rağmen, kökler toprak biyolojisi için önemli bir bileşendir (Gregory 2006).

Kökler toprak altında gizli bir hayat yaşarlar. Bir hektar alandaki kışlık buğdayın su ve besin maddeleri ile mahsulü desteklenen köklerin uzunluğu 300.000 km olabilir (Şekil 2.24). İyi gelişmiş kök sistemi iyi bir toprak yapısının bir sonucudur ve yüksek verim için gereklidir. Toprağın çevresinde köklerin genişlemesi sınırlıdır. İyi drene olmuş killi toprak iyi bir toprak yapısına sahiptir, bazı bitkilerin kökleri 2-3 m derine ulaşabilir. Kökler hızlı büyüme dönemlerinde profil boyunca yaklaşık olarak $0.5-3 \text{ cmgün}^{-1}$ oranında hareket ederler. Ancak kendi kanallarını oluşturma yetenekleri sınırlı olduğu için, kökün büyümesi topraktaki çatlak ve deliklere bağlıdır. Islak bir toprakta, kök ucu toprak parçacıklarında yer edinebilir ancak kuru toprakta kökler çapları daha büyük olan gözenekleri kullanmak için zorlanır. Topraktaki mekanik direnç, kök ucu ve dallarının kalınlaşması ile yansıtılır (Anonyomus 2014k).

North and Nobel (1991)'in belirttiğine göre; bitkilerin kök sistemleri, topraktan daha büyük bir su potansiyeline sahip olduklarında su kaybederler (Dirksen and Raats 1985, Richards and Caldwell 1987). Toprak kurduğunda kök içinde ve topraktan köke doğru olan hidrolik iletkenlik azalabilir, böylece bitkinin su kaybı sınırlanır (Paussoira 1998).



Şekil 2. 23 Toprakta kökler ile oluşan makro gözenekler (Anonyomus 2014c)

Köklerin miktar sınıflaması her birim alandaki yüzdeleri ile verilir;

- Çok az (% 0,2)
- Az (%1)
- Orta (% 0,2-1)
- Orta-fazla (% 1-5)
- Fazla (> %5).

Büyüklik sınıflaması ise mm olarak değerlendirilir;

- Çok ince ($\ll 1$ mm)
- İnce (1-2 mm)
- Orta (2-5 mm)
- Kaba (5-10 mm)
- Çok kaba (> 10 mm)



Şekil 2.24 Bir hektar toprak altındaki kışlık buğdayın 300.000 km uzayabilen kökleri (Anonyoumus 2014k)



Bitki kökleri mikroorganizmalar tarafından gıda olarak kullanılan bileşikleri salgırlar. Ayrıca, kökler topraktan suyu absorplar ve toprağı kurutur, zayıf yüzeyler boyunca çatlaklar oluştururlar (Şekil 2.25).

Şekil 2.25 Bitki köklerinin toprakta oluşturduğu çatlaklar

Bitki köklerinin faaliyetlerinin toprak strüktürüne doğrudan ve dolaylı etkileri vardır. Toprakta agregasyon oluşumunda kök kıllarının bağlayıcı özelliğı gibi etkilerin yanısıra büyük boyutlardaki köklerin basıncı ile meydana gelen boşlukların hacmi toprağın yüksek geçirgenliğe sahip olmasının nedenlerinden olabilir. Bitki kökleri toprakta yapısal (structural) gözenekler oluştururlar. Yani kökler ilerledikleri yollar boyunca toprakta makro gözenekler oluşturarak suyun daha rahat ve hızlı hareket etmesini sağlarlar, ayrıca salgıladıkları bazı salgılar ile de toprakta strüktür oluşumunu gerçekleştirerek suyun toprakta iletimini kolaylaştırırlar.

2.2. 8 Toprakta benekler

Toprak profilinde renk, boyut ve sayı olarak ifade edilen toprak beneklenmesi, yeşil ve kırmızı ile kaplı bölgelerdir (Soil Survey Staff 1975). Toprakta beneklenme oluşumu toprak nem rejiminin bir göstergesidir (Soil Survey Staff 1951). Beneklenme gibi özellikler doğrudan gözlenen ve bir toprak profilini 'okuma' sanatını bildiğine inanan eğitilmiş bir pedolojist tarafından yorumlanan özelliklerdir. Bu yorumlamalar çok caziptir, çünkü ayrıntılı toprak fiziksel ölçümlerinden daha ucuzdur. Ancak pedolojistler okuma becerilerini abartmamalı ve sık sık fiziksel ölçümler ve gözlemler yaparak görsel yeteneklerini kuvvetlendirmelidir (Bouma 1977). Toprak beneklenmesinin ilk uygulaması olarak kabul edilen çalışmalar Vepraskas *et al.* (1974), Veneman *et al.* (1976) ve Vepraskas and Bouma (1976)'dır.

Doygun topraklar, ancak organik madde gibi bir enerji kaynağının varlığında demir bileşiklerini indirgeyen düşük redoks potansiyeline sahip olabilir (van Schuylenborg 1973). Toprağın periyodik doygunluğu redüksiyona neden olan genel bir süreçtir. Bu gözlemin mantıksal bir sonucu olarak toprak beneklenmesinin periyodik doygunluk göstergesi olduğu düşünülebilir ve böylece toprak morfolojisi toprak davranışının bir yön tahmini için kullanılır. Ancak bazı potansiyel problemler de mevcuttur (Bouma 1977);

1-Doygunluk her zaman muhtemel bir enerji kaynağı eksikliği nedeniyle oluşan azalma koşulları ile çakışmaz (van Schuylenborg 1973). Bu yüzden beneklenme bir doygunluğa işaret edebilir, ancak benek eksikliği veya benek oluşmaması doygunluk olmaması anlamına gelmez.

2- Toprakta görülenler mevcut süreçlerin sonucu olmayabilir fakat geçmişte görülen iklim ile ilişkili olabilir. Bazı topraklardaki gibi toprak beneklenmesi, büyük ölçüde insanlar tarafından değiştirilen bir toprak nem rejimini gösterebilir.

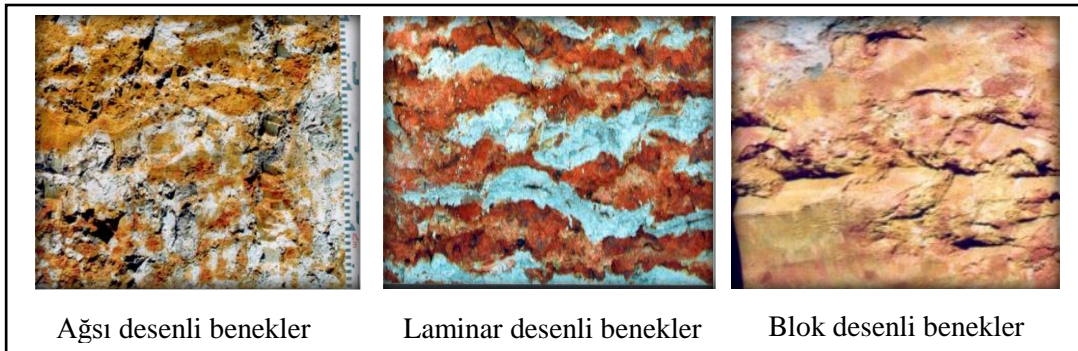
3-Toprak beneklenmesi tam olarak periyodik doygunluk ile ilişkili olsa da, toprağın ne kadar süre doygun olduğunun bilinmesi oldukça önemlidir (Soil Survey Staff 1975).

Toprak beneklenmesini etkileyen faktörler;

- 1- Mikroorganizma popülasyonu,
- 2- Organik karbon enerji kaynağı,
- 3- Oksijen eksikliği,
- 4- Zaman,
- 5- Sıcaklık şeklinde sıralanabilir (Dobos *et al.* 1990).

Ayrıca burada belirtilmemesine rağmen, mikroorganizma gelişimi ve Fe^{++} ve Fe^{+++} çözünebilirliğine etkisi nedeni ile toprağın pH değeri beneklenme üzerinde etkilidir (Dobos *et al.* 1986). Demirin toprak içinde yer değiştirmesi içi kompleks oluşturması veya indirgenmiş olması gerekir. İndirgenme olayının toprakta beneklenme oluşumunda temel hareket mekanizması olduğuna inanılır (Rowell 1981, Blume 1988, Van Breeman 1988b). Yüksek oksijen içeriğine sahip alanlar suya doymuş periyotlarda toprakta hava tuzağı ile karşılaşabilirler. Bu çok önemli bir mekanizmadır çünkü Collis-George ve Yates (1990) doymuş toprakların %5-25 hava tuzağı ile dolu gözeneklere sahip olabileceğini göstermişlerdir.

Toprakta benek desenleri blok, ağsı veya laminar şekillerde görülebilir. Şekil 2.26'da ayrılmış üç farklı benek örneği gösterilmiştir.



Şekil 2.26 Toprakta farklı desenlerde oluşan benekler (Anonyoumus 2014)

Pickering and Veneman (1984) ve Veneman and Bodine (1982) kaba ve orta tekstürlü topraklarda detaylı renk ve benek tanımlamaları ile ilgili yaptıkları çalışmada, mikro morfolojinin benekli örnekleri açıklamada yararlı olduğunu ve morfolojinin su rejimi ve oksidasyon-redüksiyon koşullarını belirttiğini açıklamışlardır.

2.2.9 Toprak rengi

Renk; maddeden yansıyan ışığın gözde oluşturduğu duygudur. Bu durumda “ toprak rengi” de topraktan yansıyan ışınların göze etkisi sonucu meydana gelmektedir. Renk, toprak yüzeyinin altında gerçekleşen bazı kimyasal süreçler gibi bir toprağın bazı genel özelliklerinin kullanışlı bir göstergesi olabilir (Anonim 2014e).

Toprak rengi bir çok toprak özelliğini gösterir. Yanındaki toprak ile karşılaştırılan toprağın rengindeki bir değişim, toprağın mineral orijininde veya gelişimindeki bir farkı gösterir. Beyaz renkler genellikle toprakta tuz ve karbonat (kireç) birikimi olduğunu gösterir. Genellikle pas renginde, farklı renk noktaları, bir toprağın her yıl yetersiz havalandırma periyotlarına sahip olduğunu gösterir. Benekli veya beneksiz mavimsi, grimsi ve yeşilimsi alttopraklar, yetersiz havalanma ve aşırı su koşullarının daha uzun süre devam ettiğini gösterirler. Daha koyu renkli coğrafik bölgeler genellikle yüksek organik madde içeriği gösterirler. Ancak zıt iklim koşulları arasında, renk organik madde içeriğinin iyi bir göstergesi değildir (örneğin yüksek konsantrasyonlarda koyu mineralli topraklar koyu renkli olabilir) (Gardiner and Miller 2004).

Toprak rengi ile toprak organik madde miktarı, havalanma ve drenaj koşulları gibi özellikler arasında ilişkiler vardır. Topraklarda görülen başlıca renkler kırmızı, kahverengi, gri, sarı ve siyah renkler ile bunların değişik tonları ve karışımlarıdır (Anonim 2014e) (Şekil 2.27). Toprak rengi toprağı oluşturan maddelerin özelliklerine göre değişir. Bir toprak nemli ise koyu, çözünebilir tuz, kum ve karbonatlar içeriyorsa açık, demir oksitler varsa kırmızı ve organik madde fazla ise koyu renklerde olabilir. Topraklara renk veren başlıca maddeler;

1. Organik maddeler (koyu, gri, siyah)
2. Demir bileşikleri (koyu, kırmızı, sarı, yeşilimsi, mavimsi)
3. Mangan bileşikleridir (koyu, gri, siyah).



Şekil 2.27 Topraklarda görülen farklı renkler (Anonyomus 2014m)

Toprak renkleri Munsell renk skalası kullanılarak hue, value ve kroma terimleri ile açıklanır (Soil Survey 1951). Hue; dalga boyunu, value; açıklık ve koyuluk derecesini kroma ise belirli bir renk için saflık ve gücü belirtir (Munsall 1974).

Demir oksitler pedojenik çevrelerde üç nedenden dolayı kullanışlı arazi göstergeleridir:

- 1-Demir oksitler çeşitli mineraller içerirler.
- 2-Demir oksitlerdeki çeşitli mineraller farklı renklindedirler.
- 3-Demir oksitlerde oluşturulan mineral tipleri çevre tarafından etkilenirler.

Toprak renk (hue) değeri bir yüzeyden yansıyan dominant spektral rengin, kroma ise spektral rengin saflığının bir ölçümüdür. Daha küçük boyutta parçacıklar daha büyük yüzey alanı ve yansıtılan ışık ile ilişkilidir. Bu önemlidir çünkü toprak yüzeyi göz ile analiz edilip yansıtılan renklerin bir mozaiğini üretir.

Toprakta beneklerin miktarına, tipine, boyutuna ve toprakta demir oksitlerin dağılımına dayanan kırmızı, kahverengi renkler görürüz (Ciolkosz and Dobos 1990). Bu nedenlerle arazide toprak renklerinden demir oksitleri tanımlamak pedoloji hakkında bilgi verme potansiyeline sahiptir (Schwertmann 1993). Farklı renkteki toprakların özellikleri ve yönetim etkileri Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2. 2 Renklerine göre toprakların özellikleri (Anonyoumus 2014m)

Toprak rengi	Toprak tipi ve özelliği	Tipik yönetim etkileri
Siyah	Yüksek seviyede organik madde (peat) ile ilgilidir	Drenaj problemleri Düşük pH Yüksek denitrifikasyon
Siyah	Vertisol (çatlayan killi topraklar)	İşlenebilirlik sorunları
Beyaz / soluk /ağartılmış	Bu topraklar genellikle ağartılmış veya soluk olarak adlandırılır. Yüksek yağış ve drenaj nedeni ile topraktaki demir ve mangan parçacıkları yıkanır.	Besin elementi yıkanması Düşük bitki su alımı
Kırmızı	Bu renk iyi bir drenajın göstergesidir. Toprakta bulunan demir yüksek oksijen içeriği nedeni ile daha kolay okside edilir. Bu olay toprağın paslı rengini geliştirmeye neden olur. Organik madde nedeni ile renk daha koyu olabilir.	Yüksek P fiksasyonu Düşük su alımı
Sarı-sarı kahve	Bu topraklar kırmızı topraklara göre daha zayıf drenaja sahiptir. Bu topraktaki demir bileşikleri hidrate formundadır ve bu nedenle paslı renk üretmez.	Orta P fiksasyonu Düşük su alımı Sıkışma
Kahve	Bu topraklarda orta seviyede organik madde ve demir oksidasyonu	Düşük-orta arası P fiksasyonu Düşük-orta arası bitki su alımı
Grimsi/gri/yeşil	Bu topraklarda çok zayıf drenaj veya su tutma vardır. Bu topraklarda hava eksikliği, demir ve mangan için toprağa renk veren bileşikler oluşurmaya sağlar.	Su tutma ve drenaj problem Yüksek denitrifikasyon riski Metan emisyon tehlikesi

2.2. 10 Toprak uzama katsayısı (COLE Index)

Kil içeriği ve kil tipi toprakların birçok fiziko kimyasal ve biyolojik özelliklerini etkiler. Bu özellikler arasındaki hacim küçülmesi toprak yapısını tanımlamak için yaygın olarak kullanılır. Toprak yapısı çalışmaları için yeni gözenek-boşluğu uygulamalarının geliştirilmesinde hacim küçülmesinin ölçümü ve modellenmesine ilgi giderek artmaktadır (Tuller and Or 2003).

Topraklar neden genişler?

Topraklar içerdikleri killer nedeni ile genişlerler. Fazla miktarda kil içeriğine sahip topraklar daha fazla genişlerken, kil içeriği düşük olan topraklar daha az genişler. Genişleyen topraklar simektit killeri gibi suyu absorblama özelliğine sahip mineralleri içerirler. Bu mineraller suyu absorbladıklarında hacimleri artar, daha fazla suyun absorblanması daha fazla hacim artışıdır (Anonyoumus 2014n).

Doğrusal uzama katsayısı, macun şekline getirilen topraktan oluşturulan çubukların belli nem içerikleri arasında uzunluklarındaki değişimin ölçülmesiyle elde edilir (Schafer and Singer 1976) (Eş. 2.9).

$$\text{Toprak uzama katsayısı (COLE)} = ((L_m - L_d) / L_d) \quad (2.9)$$

Şeklinde hesaplanıp, eşitlikte;

$$L_m = \text{Nemli çubuğun uzunluğu (cm)}$$

$$L_d = \text{Kuru çubuğun uzunluğu (cm)}$$

Toprak hacmi, toprak su içeriği (Assouline *et al.* 1997), kil içeriği (Boivin *et al.* 2004) ve Atterberg limit değerlerinin (Onweremadu 2006) bir fonksiyonu olarak değişir. Çünkü killi topraklar daha fazla su tutarlar, uygulanan kuvvet karşısında direnme yetenekleri azalır (Şekil 2. 28).

Brady and Weil (1999); parçacık büyüklüğü, nem içeriği ve koloidal fraksiyonların plastikliğinin, trafik, toprak işleme ve yük kuvvetlerinden gelen kuvvetlere karşılık toprakların stabilitesini belirlediğini açıklamışlardır. Başlıca 5 bağımsız değişken (hacim ağırlığı, su tuma kapasitesi, plastiklik indeksi, kil ve kum içeriği) kullanılarak COLE modeli kurulmuştur. Bu 5 bağımsız özellik ile COLE arasında iyi bir ilişki ($R^2 = 0.75$) gözlenmiştir. Bu değer, bu değişkenlerin çalışma alanı topraklarının büzülme hacmi özellikleri için iyi bir tahmin edici özellik olduğunu açıklar. Litolojik kökenli değişkenliğe, drenaj sınıfları, iklimsel rejimler, arazi kullanımı ve mevcut yönetim uygulamalarındaki farklara rağmen bu sonuçlara ulaşılmıştır. Kimyasal özellikler ve toprak ile ilgili diğer özellikleri içeren daha fazla bağımsız değişkenler model sonuçlarının güvenilirliğini artırmak için gelecekteki modellemelerde kullanılabilir (Onweremadu *et al.* 2007).



Şekil 2.28 Şişme-büzülme özelliği gösteren ağır killi bir toprak (Anonyomus 2014o)

Toprak tiplerinin genişleme katsayılarını belirlemek için genelleştirilmiş bilgiler kullanılamaz. Çünkü benzer tipte de olsa, bütün topraklar oldukça farklı bileşen elementleri sergiler. Örneğin simektit ve bentonit içeren iki toprak, her mineralin toprakta bulunma yüzdesine ve bir alandaki toplam hacimlerine dayanan farklı uzama katsayıları gösterir (Anonyomus 2014ö).

Thomas *et al.*(2000) tarafından bildirildiğine göre, COLE değerleri dikkate alındığında toprakların şişme ve büzülme özellikleri;

Düşük	COLE	<	0.03 cm
Orta	COLE	=	0.03-0.06 cm
Yüksek	COLE	=	0.06-0.09 cm
Çok yüksek	COLE	>	0.09 cm

şeklinde sınıflandırılmaktadır.

Bu değerlere sahip topraklar farklı özellikler gösterirler.

Genişleme özelliği orta olan topraklar;

Orta derecede genişleyen topraklar özellikle iyi drene olmuş Mafik ve Felsik kayaları içeren topraklardır. Toprak tipleri, orta düzeyde şişme ve büzülmenin topraktan su ilave edildiğinde veya taşındığında gerçekleştiğini göstermektedir.

Genişleme özelliği orta yüksek olan topraklar;

Killi, şeyl ve kumtaşı içeren Trias kayalar ve kıyı ovaları çökeltileri orta yüksek derecede genişleyen topraklardır.

Genişleme özelliği yüksek olan topraklar;

Yüksek genişleme oranı karbonatlı kayaları içeren derin kayalı Frederick topraklarda kaydedilmiştir. Derin kayalı toprakların yapısı ana kayaya çarpmadan önce derin kazma gerektirir.

Genişleme özelliği çok yüksek olan topraklar;

Sıcaklık ile değişen şeyl, sığ kayalıklı topraklar ve zayıf ve orta drene olan topraklar, karbonat kayaları ve mafik kayalar çok yüksek genişleme özelliğine sahiptirler. Sığ kayalı toprakların yapısı ana kayaya çarpmadan önce fazla kazma gerektirmez (Anonyoumus 2014p).

Toprakların uzama katsayısı birçok toprak değişkeni ile ilişkili bulunmuştur. Çizelge 2.3'te toprak değişkenleri ile uzama katsayı arasındaki ilişkinin derecesi gösterilmiştir (Parker *et al.* 1982).

Çizelge 2. 3 Şişen killere karşılık determinasyon katsayıları (Parker *et al.* 1982).

Bağımsız değişkenler	R ²
Kil < 2 µm	0.87***
Kil 2 – 0,2 µ m	0.41**
Kil < 0,2 µ m	0.43**
Smektit < 0,2 µ m	0.61***
Şişen kil < 0,2 µ m	0.91***

Hacim değişimi toprak su içeriği ile ilgilidir (Hillel, 1998) ve bu toprak sıkıştırılabilirliğinin yaygın bir belirleyicisi olarak kabul edilmiştir (Soane 1990, McNabb and Boersma 1996, Sanchez-Giron *et al.* 1998). Bir toprakta hacim değişimini etkileyen özellikler organik madde içeriği (McBride and Watson, 1990, Soane 1990), hacim ağırlığı (Hakansson and Voorhees 1998, Imhoff *et al.* 2004), toprak minerolojisi (Smith *et al.* 1997) ve toprak bünyesidir (Boivin *et al.* 2004). Onweremadu *et al.* (2007), toprak gruplarının kil içeriği ve hacim küçülmesi arasındaki ilişkiyi inceledikleri çalışmada farklı kil içerikleri nedeni ile bu toprakların büzülme özelliklerinin farklı olduğunu varsaymışlardır.

Bir toprak matriksinin düşey yönde hareketi ve kırılması ile birlikte şişme ve büzülmesi özellikle toprak yapısını, hidrolik özelliklerini, su akışını ve bu özelliklerin zamanla değişimini etkiler (Chertkov *et al.* 2004). Bütün bu özellikler içinde toprak bünyesi hacim değişimi ile ilgili olan gerçek toprak niteliklerinden en uygunu olarak kabul edilir (Horn 1998, McBride 1989). İnce yapıli topraklar ile karşılaştırıldığında kaba bünyeli topraklar, hacim değişimine daha az duyarlıdır (Horn and Lebert 1994, McBride and Joose 1996). Ana materyaller toprak özelliklerini etkiler (Brady and Weil 1999, Akamigbo 2001, Esu 2005) ve bu özellikler içinde kil içeriği de bulunmaktadır. Toprakların doğrusal uzama katsayıları (COLE) istatistiksel olarak kil miktarı ve spesifik yüzey alanları ile önemli düzeyde pozitif, hacim ağırlıkları ile önemli düzeyde negatif ilişkilidir. Kil içeriği ve spesifik yüzey alanı değerleri kullanılarak toprakların COLE değerleri ile saptanan şişme büzülme değişikliklerinin % 80 civarında tespit edilebileceği bildirilmiştir (Gray and Allbrook 2002).

2.2.11 Toprakların şişme ve büzülme özellikleri

Toprağın doğrusal Uzama katsayısı (COLE), bir toprağın şişme ve büzülme derecesinin ölçüsü olarak sık sık kullanılmaktadır (Grossman *et al.* 1968). Bir toprağın şişme-büzülme kapasitesinin ölçümü ile ilgili COLE-çubuk yöntemi doğrusal uzamayı verir ve COLE-çubuk yöntemi ile COLE-kesek yöntemi arasında önemli bir pozitif ilişki vardır (Schafer and Singer 1976, Ross 1978). Toprakların şişme ve büzülme sınır değerleri hacim küçülmesi kullanılarak tahmin edilir.

Bir toprakta birbirini takip eden ıslanma ve kuruma olayları, toprağın şişmesine ve büzülmesine neden olur ve bunun sonucunda ortaya çıkan dengesiz basınç ve gerilmeler toprakta agregasyonu sağlar (Şekil 2.29). Toprağın kuruması toprak kütlelerinin büzülmesine ve dolayısıyla kil parçacıklarının çimentolayıcı etki yapmasına neden olur. Killi toprakların büzülmesi yalnız kil içeriğine değil, aynı zamanda kil minerallerinin tipine de bağlıdır (Greene-Kelly1974). Şişme özelliği olan killerin agregatları bozabilmesine rağmen, kil boyutundaki parçacıklar genellikle agregasyon ile ilişkilidir (Bronick and Lal 2005).



Şekil 2.29 İslanma ve kuruma nedeni ile toprakta agregat oluşumu (Anonyomus 2014r)

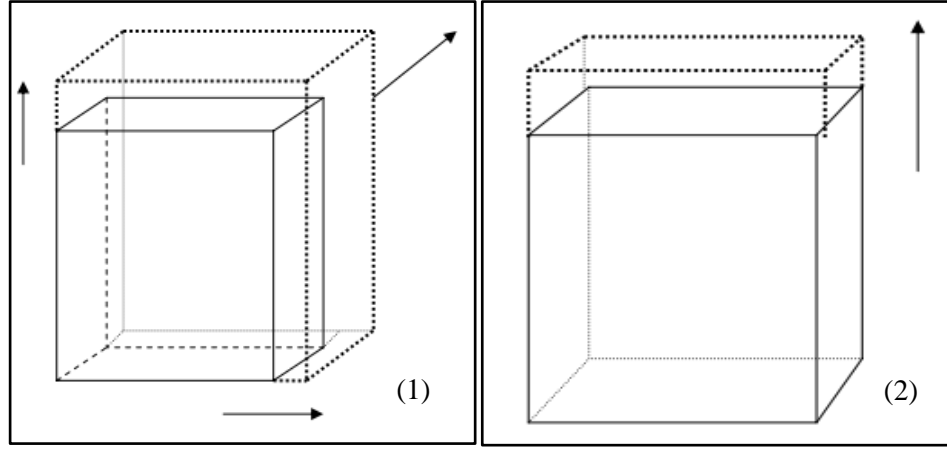
Topraklarda büzülme sınırının düşüklüğü büzülmenin fazla olduğu anlamına gelmektedir. Bunu etkileyen en önemli faktörler toprağın kil içeriği, kil tipi ve ortamın iyonik yapısıdır. Toprakların kil içeriğinin artması, büzülme sınırını düşürmekte, dolayısıyla büzülme artmaktadır (Bal vd. 2011).

Kil içeriği yüksek olan topraklarda, ıslanma ve kuruma süreçleri toprak hacminde büyük ölçüde genişleme ve büzölmeye neden olur. Bir toprağın 'yüzde büzölme' değeri, başlangıçtaki hacminin yüzdesi olarak alınır ve hacimsel büzölmeyi ifade eder (Holtz 1965).

Boivin *et al.* (2004), toprağın büzölme kapasitesinin kil içeriği ile arttığını ve kil tipi, gözenek büyüklüğü ve nem içeriği ile ilgili olduğunu bildirmiştir. Toprağın şişme özelliği arttıkça hidrolik iletkenlik azalmaktadır (Park and O'Connor 1980, Suarez *et al.* 1984). Sodyumun hâkim olduğu düşük tuz konsantrasyonları kil taneciklerinin dispersiyonuna neden olduğundan, tuzlu-sodyumlu toprakların yıkanmasında sodyumun yerini alacak kalsiyum, magnezyum ve alüminyum gibi katyonlar kullanılmadığı takdirde toprak yapısı bozularak hidrolik iletkenlik azalmaktadır (Shainberg *et al.* 1980, Shainberg *et al.* 1981).

Ağır ve çatlayan killi toprakların veya vertisollerin (Isbell 1996) şişme büzölme özellikleri, katı toprak tipleri ile karşılaştırıldığında, bu toprakların fiziksel özellikleri daha farklı tahmin edici fonksiyonları gerektirir. Toprakların çoğu, şişen ve büzölen bir toprağa ilişkin hidrolik özellikler, toprak su karakteristik eğrisi (nem içeriği ve potansiyel arasındaki ilişkiler) ve doygunluğa yakın şartlarda hidrolik iletkenlik (K) ve potansiyel ile tanımlanır. Ancak şişme-büzölme süreçlerinin neden olduğu değışikliklerin hesaplanması için toprağın büzölme eğrisinden elde edilen bilgiler de (gravimenterik nem içeriği ve hacim ağırlığı) gereklidir (Vervoort *et al.* 2006).

Bir toprak ıslandığında, ilk başta üç boyutlu hacimsel genişlemeye maruz kalır. Çünkü toprağın kuruyan çatlakları hala açıktır. İkinci durumda, kuruyan çatlaklar kapatıldığında, toprak hacimsel genişlemesi yalnızca bir boyutludur ve toprak seviyesinin yükselmesine neden olur (Şekil 2.30) (Taboada 2003).



Şekil 2.30 İslanan bir toprağın hacimsel olarak genişlemesi (Taboada 2003)

Şişme ve büzülme özelliklerinden toprak yapılarının zarar görmesi, nem koşullarındaki değişiklikler nedeni ile özellikle kurak ve yarıkurak bölgelerin genel sorunlarıdır. Montmorillonit gibi simektit tipi mineralleri içeren topraklar fazla miktarda su absorplama ve genişleme özelliğine sahiptirler. Bu topraklar için daha fazla su daha fazla hacim artışı demektir. Genişleyen topraklar kurudukları zaman büzülürler ve topraktaki çatlaklar da genişler. Bu çatlaklar, toprakta su varsa suyun daha derin katmanlara nüfuz etmesine yardımcı olur. Bu süreç, büyük oranlarda hacim değişikliklerine neden olan şişme ve büzülmenin bir döngüsüdür.

Genişleyen toprakların şişme potansiyelleri genellikle ıslanma döngüsü ile belirlenir. Ancak ıslanma-kuruma döngü sayısı genişleyen killerin davranışlarında önemli rol oynar. Doğadaki topraklar çevresel etkiler nedeni ile sürekli olarak ıslanma kuruma döngüsüne tabidir, şişen topraklarda şişme ve büzülme döngü sayısının etkisi dikkate alınmalıdır (Tawfig and Nalbantoğlu 2009). Doğal toprakların şişme-büzülme davranışlarında döngü etkisi birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır (Popesco 1980, Chen and Ma 1987, Subba Rao and Satyadas 1987, Dif and Blumel 1991, Day 1994, Al Homoud *et al.* 1995, Bilsel 2002, Tripathy *et al.* 2002).

Bazı araştırmacılar ıslanma-kuruma döngülerini defalarca tekrar ettikten sonra genişleyen killerin şişme özelliklerini belirlemişlerdir. Chen *et al.* (1985), Chen and Ma (1987), Subba Rao and Satyadas (1987) ve Dif and Bluemel (1991), topraklar tam olarak kabarmaya tabi tutulduğunda ve başlangıçtaki su içeriklerine ulaşıncaya kadar bzlmelerine izin verildiğinde, her döngüden sonra kildeki tahribat nedeni ile daha az genişleme gösterdikleri sonucuna varmışlardır.

Buna karşılık, Popesco (1980), Day (1994) ve Güney (2007)'e göre, şişme potansiyeli ıslanma ve kuruma döngü sayısı ile artmaktadır. Al Homoud *et al.* (1995), ıslanma-kuruma döngüsünün agregat parçacıkları ile sonuçlandığını ifade etmiştir. Yazar, bulgularını artan döngü sayısından sonra toprakların plastisite indeks değerleri ve kil içeriğindeki azalma ile desteklemiştir.

Tawfig and Nalbantoğlu (2009), genişleyen bir toprağın şişme davranışlarında ıslanma-kuruma döngüsünün neden olduğu ayrışmanın etkisi hakkında yaptıkları çalışmada, tam olarak şişme ve kısmi bzlme döngüsüne tabi tutulan toprakların düşük şişme potansiyellerinin bu toprakların ıslanmadan önceki yüksek su içeriği nedeni ile daha az su absorblama eğiliminde olmaları ile açıklamışlardır.

2.2.12 Toprak hacim ağırlığı

Toprak hacim ağırlığı, toprak süreçlerinin geniş bir aralıkta tahmini için bir çok toprak hidrolojik modellemesinde kullanılan anahtar bir parametredir. Toprak yönetimi uygulamalarının topraklarda su taşınımı ve tutunmasından etkilenen toprak özellikleri üzerine etkisi toprak hacim ağırlığı bilgisi gerektirir. Ancak hacim ağırlığı sıkıcı, yoğun emek isteyen, zaman alıcı ve masraflı bir arazi işlemi olduğundan her zaman rutin toprak araştırmalarında belirlenmez. Ayrıca toprakların uzaysal değişkenliği nedeni ile büyük alan ve havzaları temsil edebilecek sayıda yeterli sayıda örnek alınması gerekir (Kaur *et al.* 2002).

Toprak parçacık büyüklüğü dağılımı hacim ağırlığı için olası değerlerin aralığını kontrol etmektedir. Hacim ağırlığı, toprak parçacıklarının kümeleşmesi ile değişir (Skoop 2000). Hacim ağırlığı, kumlu topraklarda 1.4- 1.9 mg m⁻³ aralığında, killerin hacim ağırlığı ise 0.9-1.4 mg m⁻³ aralığında değişmektedir. Bazı araştırmacılar, hacim ağırlığını kök direnci ve toprak sıkışması gibi faktörler ile ilişkilendirmeye çalışmışlardır (Çizelge 2.4). Belirli bir tekstür için hacim ağırlığındaki geniş aralıklar toprak organik maddesi ve sıkışması gibi diğer faktörlerin hacim ağırlığı üzerine etkisi olduğunu göstermektedir (Skoop 2000).

Çizelge 2. 4 Kök gelişimi için toprak tekstürüne dayanan hacim ağırlığı ilişkisi (USDA NRCS 2008)

	Bitki gelişimi için ideal hacim ağırlığı (gcm⁻³)	Kök gelişimini kısıtlayan hacim ağırlığı (gcm⁻³)
Kum	<1.60	>1.80
Sit	<1.40	>1.65
Kil	<1.10	>1.47

Toprak hacim ağırlığı toprak sıkışmasının bir göstergesidir. Hacim ağırlığı, toprak parçacıklarının ve aynı zamanda toprak parçacıkları arasındaki gözeneklerin hacmini de içine alır. Hacim ağırlığı; toprağın tekstürüne, toprak profil derinliğine, toprak sıkışmasına, toprak nem içeriğine ve toprak struktürüne göre değişim gösterir.

Hacim ağırlığı, ayrıca toprak minerallerinin yoğunluğuna, organik madde miktarına ve aynı zamanda bunların mineral ve organik parçacıkların topraktaki uzaysal dizilimine (agregatlar) bağlıdır. Genel bir kural olarak, kayaçların çoğunun hacim ağırlığı genellikle 2.65 gcm^{-3} 'tür, ideal olarak %50 gözenek hacmine sahip orta bünyeli topraklar 1.33 gcm^{-3} hacim ağırlığı değerine sahiptirler. Genellikle, gevşek, gözenekli ve zengin organik madde içeriğine sahip topraklar düşük hacim ağırlığına sahiptir. Kumlu topraklarda siltli ve killi topraklara göre toplam gözenek hacmi daha az, hacim ağırlığı nispeten daha yüksektir. Hacim ağırlığı, üst topraklar ile karşılaştırıldığında, alt toprak tabakalarında daha az organik madde, agregasyon ve kök direnci olması nedeni ile genellikle toprak derinliği ile artar. Alt topraklar ayrıca üstteki toprağın ağırlığına da tabidir.

Toprakta doğal olarak oluşan donma-çözülme ve ıslanma-kuruma döngüleri toprak hacim ağırlığını çok az değiştirirler. Toprak hacim ağırlığı, bitki örtüsü, organik madde, toprak yapısı ve gözenekliliğini etkileyen toprak yönetimlerinden etkilenir. Hacim ağırlığı, ayrıca toprağın hacmi ve ağırlığı arasındaki dönüşümler için, toprak kalite değerlendirmelerinde hacimsel bir bazda toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik ölçümlerini açıklamak için kullanılır (USDA NRCS 2008).

Hacim ağırlığı; toprak yapısı, su ve çözülmüş madde taşınımı ve toprak havalanması gibi fonksiyonlar için toprağın yeteneğini yansıtır. Yüksek hacim ağırlığı düşük toprak gözenekliliği ve toprak sıkışmasının bir göstergesidir, bitki kök gelişimi ve toprak boyunca zayıf hava ve su taşınımına neden olabilir. Genelde toprakta su hareketini kısıtlayan bazı sıkışmış topraklar, kurak koşullarda yararlıdır, fakat nemli koşullarda toprak sıkışması verimliliği azaltır (USDA NRCS 2008).

Hacim ağırlığı genellikle %10-40 aralığında varyasyon katsayısına sahiptir ve örnekleme zamanındaki toprak koşullarına bağlıdır. Toprak su içeriğindeki değişim nedeni ile toprağın şişmesi hacim ağırlığını etkilediğinden hacim ağırlığı kontrol edilmeli ve şişmenin önemli olduğu yerde su içeriği telafi edilmelidir (Sumner 2000). Hacim ağırlığı aynı olan nemli killi ve kumlu iki toprak karşılaştırıldığında, nemli kumlu toprakta kök gelişiminin yanında doygun su iletimi daha kolay olur (Brady and Weil 1999).

2.2.13 Toprak penetrasyon direnci

Toprak sisteminin doğal durumdaki strüktürel yapısında yağış veya mekaniksel dış kuvvetlerin etkisi altında meydana gelen bozulmalar, genellikle toprak parçacıklarının daha sıkı bir şekilde yeniden dizilimleri ile sonuçlanmaktadır. Bu durumda toprağın hacim ağırlığındaki artış olarak tanımlanan toprak sıkışması ortaya çıkmakta ve bu da toprak-bitki-su ilişkilerini olumsuz yönde etkilemektedir. Sıkışma sonucunda toprağın yoğunluğu artarken, boşlukların oranı azalır. Artan toprak yoğunluğunun bir sonucu olarak daha sert bir yapı oluşur ve hidrolik iletkenlik değeri de buna bağlı olarak düşer. Toprak sıkışmasının sıklığı ve yoğunluğu; toprak tipine, bitkisel üretim sistemlerine, toprak işleme yöntemlerine ve iklime bağlıdır (Boizard *et al.* 2001).

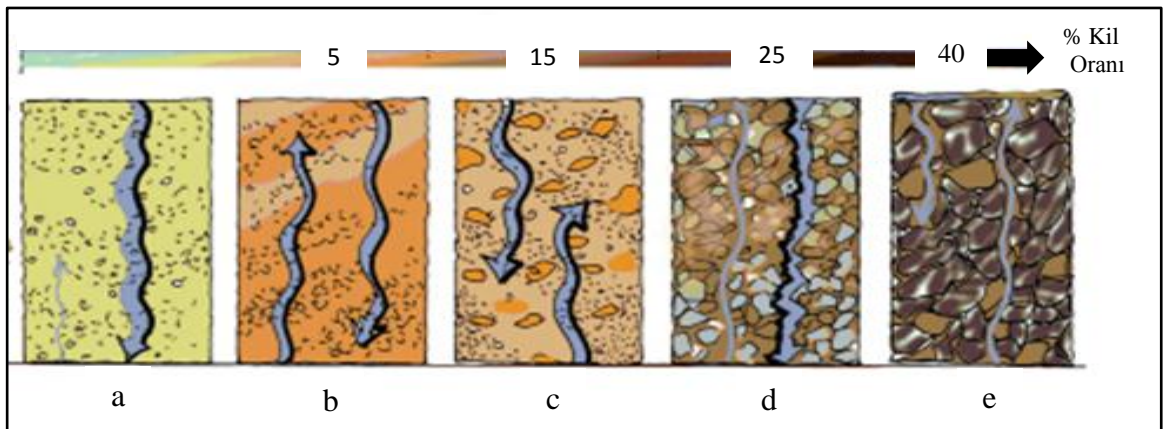
Toprağın penetrasyon direnci ölçümleri özellikle toprak sertliğinin yüksek olduğu şartlarda zor ve zaman alıcıdır. Penetrasyon direnci derinlikle birlikte artar. Alt katmanlardaki toprak, üstteki toprak kütesinin yükü altında bulunduğu için toprakta sıkışmaya yol açar. Profil içerisindeki yıkanma birikme olayları alt katmanlardaki gözenekleri azaltarak toprak hacim ağırlığının artmasına sebep olurlar (Şeker 1999). Diğer taraftan, tarla trafiği de toprakların sıkışmasına sebep olan önemli faktörlerdendir. Bu faktörlerin etkisine bağlı olarak toprakların sıkışma şiddeti ve penetrasyon dirençleri de değişiklikler gösterir. Penetrometre ile yapılan ölçümler toprak rutubeti tarafından da önemli ölçüde etkilenmektedir. Toprakların rutubet içerikleri arttıkça penetrasyon dirençleri düşer. Ancak aynı rutubet seviyelerinde aynı toprağın farklı katmanlarının veya farklı toprakların değişik penetrasyon direnci değerleri göstermesi farklı toprak özelliklerine bağlıdır (Şeker 1999).

Penetrasyon direncini etkileyen toprak özellikleri; tekstür, gözeneklilik, strüktür, su içeriği, çimentolayıcı maddeler ve sıkışmadır (Grunwald 2001). Turgut ve Öztaş (2012) tarafından nakledildiği gibi toprak sıkışması, kütle yoğunluğu, gözenek dağılımı, gözenek devamlılığı, havalanma, mekaniksel özdirenç, porozite ve hidrolik iletkenlik gibi birçok önemli toprak özelliğini etkilemektedir (Panayiotopoulos *et al.* 1994, Flowers and Lal 1998, Radford *et al.* 2000, Richard *et al.* 2001, Pagliai *et al.* 2003, Hamza and Anderson 2005). Toprakların temel özelliklerinde meydana gelen bu değişiklikler, toprakta suyun infiltrasyonu ve bitkiler tarafından kullanılabilen suyun depolanma kapasitesinde olumsuz etkiler doğurmaktadır (Zhang *et al.* 2006).

2.2.14 Toprak bünyesi

Bir toprağa su ilave edildiğinde, suyun bir kısmı kuru ve ıslak toprak arasındaki potansiyel fark sonucu taşınır ve bir kısmı toprak matrisinde tutulur. Başlangıçta, kuru bir toprağa su ilave edildiğinde suyun çoğu toprak matrisinin kapilar potansiyeli vasıtasıyla absorplanır. Kuru bir süngere su döküldüğü düşünülürse; sünger maksimum su tutma kapasitesine ulaşmaya kadar suyu absorplar (sünger tabanındaki gözenek tabakası su ile dolar). Daha sonra fazla su süngerden akar. Benzer bir kavram toprakta suyun infiltrasyonuna uygulanır. İlk süreçte kapilar kuvvetler etkilidir, ancak infiltrasyon sürecinde zaman ilerledikçe yerçekimi kuvveti giderek etkili olur (Minasny and George 1999). Zamanın bir fonksiyonu olarak toprağa su girişinin hızı toprağın yapısına, toprak yapısının stabilitesine, başlangıçtaki su miktarına ve toprak tekstürüne göre değişmektedir.

Toprak tekstürünün toprak-su özellikleri için hakim bir etkisi olduğu kabul edilmektedir (Saxton and Rawls 2006). Tekstür gibi kolay elde edilen özellikler toprak hidrolik özellikleri için geleneksel olarak kullanılmaktadır (Rawls and Brakensiek 1983, Cosby *et al.* 1984, Wösten and van Genuchten 1988). Ancak hidrolik iletkenlik ile ilgili eşitlikler büyük çatlak, solucan ve kök kanalları içeren topraklar için yalnızca tekstür ile doygun hidrolik iletkenliği ve diğer hidrolik değerleri doğru şekilde tahmin edemez (Campbell 1985). Farklı toprak tekstürlerinde suyun toprak profili içinde aşağı ve yukarı hareketi Şekil 2.31’de gösterilmiştir.



Şekil 2.31 Farklı tekstürdeki toprak profilleri içinde suyun düşey yönde hareketi (Anonyomus 2014s)

a- Kumlu topraklar;

Kumlu topraklar genellikle kuru ve hızla drene olan topraklardır. Kumlu toprakların kılcal yol ile suyu daha derin tabakalara iletme yetenekleri çok azdır veya hiç yoktur. Bu nedenle, ilkbaharda kumlu toprakların işlenmesi nemi tutmak için minimum düzeyde tutulmalıdır. Bu toprakların besin ve su tutma kapasitesi organik madde ilave edilerek artırılabilir.

b- Siltli topraklar, %0-10 kil içeren topraklar;

Siltli topraklar, genellikle çok sert olan bir kabuk oluşturmaya oldukça eğilimli olmaları ile kumlu topraklardan farklıdır. Siltli topraklar aşırı derecede işlendikleri takdirde sıkışabilirler ve bu nedenle ıslak periyotlarda su infiltrasyonu hızında azalma olur. Kuru koşullarda sertleşebilirler ve işlenmeleri zorlaşır. Ancak genellikle kolay işlenirler ve önemli miktarda su depo edebilirler.

c- Killi topraklar, %10-25 kil içeren topraklar;

Bu topraklarda kabuklanma çok sert olabilir, genellikle elle kırılmayacak kadar serttir.

d- Killi topraklar, %25-40 kil içeren topraklar

Bu topraklar derindeki tabakalardan kılcal hareketler ile su taşıma kabiliyeti vardır fakat taşıma hızı yavaştır, bu nedenle kapılar hareketin hızı bitki su ihtiyacını karşılamakta çoğu kez yetersiz kalır. Bu topraklar koyu renklidir ve toprak agregasyonu daha farklıdır. Bu toprakların kolayca ekilmeleri için doğru su içeriğinde işlenmeleri gereklidir. Toprak koşulları çok kuru ise keseklenme, çok ıslak ise alete yapışma riski vardır.

e- Killi topraklar, >%40 kil içeren topraklar

Ağır killer çok yüksek su tutma kapasitesine sahiptir fakat tutulan suyun önemli bir kısmı toprağa sıkı şekilde bağlandığından bitkiler tarafından kullanılamaz. Bu topraklar genellikle diğer mineral topraklardan daha fazla humus içerirler. Killi topraklar kurdukları zaman kabuk oluşturmazlar, donma-çözülme, ıslanma-kuruma gibi süreçler ile toprakların yapısı olumlu yönde etkilenir. Kış aylarında, killi toprakların üst toprağın kısımlarında çok iyi bir agregat yapısı oluşur. Killer donmadan kurduklarında çok sert olurlar ve çalışılması güçleşir (Anonyoumus 2014s).

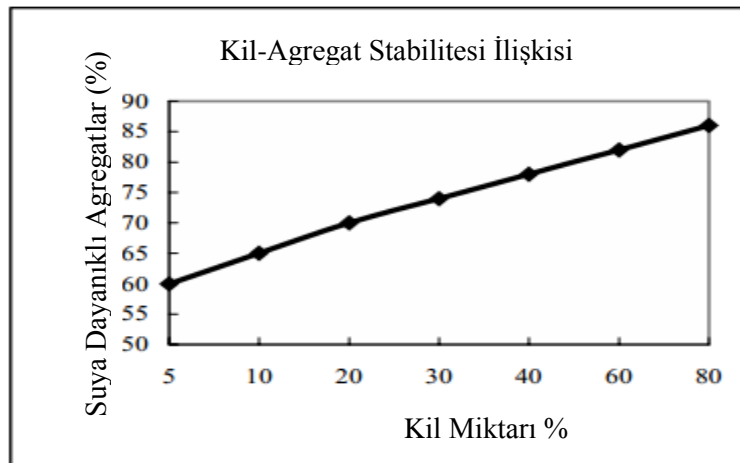
Bouma and Wösten (1979)'e göre killi toprakların doymun hidrolik iletkenlik değerinin tahmin edilmesi mevsimlere göre değişen Şişme ve bzlme özellikleri nedeni ile oldukça zordur. Bouma *et al.* (1979), doymun hidrolik iletkenliği tahmin etmek için mikromorfometrik verilerin kullanılmasının en azından büyük sürekli kanalları olmayan killi topraklar için uygun olduğunu bildirmiştir. Doymun koşullarda killi toprakların yapışkanlık özelliği artar ve su iletimi düşer. Bu topraklarda yüksek kil içeriği nedeni ile besin içeriği çok yüksektir. Ağır killi topraklarda tohum etrafında toprağın sıkışmaması gerekir ancak nemli ve plastik topraklarda toprak sıkışması olmaz. Ağır killer kurduklarında tohum etrafında sıkışmalar fakat bu topraklar nemli olduklarında sıkışma olmaz. Bu toprakların ıslak koşullarda işlenmeleri toprak sıkışmasına yol açar (Anonyomus 2014s). Toprak bünyesinin bilinmesi toprak işleme, gübreleme, plastiklik, geçirgenlik ve su tutma kapasitesi ile ilişkili olduğundan tarımda önemlidir (Esu 1999).

2.2.15 Agregat stabilitesi

Yılmaz vd.(2005) tarafından belirtildiği üzere, Dinel *et al.*(1991)'a göre toprakta agregasyon ve strüktür stabilitesi, toprakların verimlilik potansiyellerini etkileyen iki önemli özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Topraktaki agregatlaşma, tohum-toprak arasındaki ilişki, hidrolik iletkenlik, kök gelişimi ve solunumu, toprakta gaz değişimi ve sonuçta bitkinin gelişimi açısından önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca suya dayanıklı agregat miktarının fazla olması toprak bozulmasındaki ana etkenlerden biri olan toprak erozyonunu engellemektedir.

Su; agregatların yapısını bozan çeşitli güçler arasında en önemlisidir. Toprakta suya karşı belirli bir direnç gösterebilen agregatlara stabil agregatlar denir (Tate 1995). Genellikle kil artışı ile birlikte agregat stabilitesinde de bir artış gözlenmektedir. Belirli bir düzeyden sonraki kil içeriğindeki artışlar agregat stabilitesi üzerine düşük düzeyde etki göstermektedir (Anonymous 2003).

Topraklarda agregatlaşma toprağın kil miktarına göre değişir (Şekil 2.32). Agregat içindeki gözenekler, agregatlar arasındaki gözeneklere göre oldukça küçüktürler. Büyük ve küçük gözenekler arasındaki bu denge iyi bir havalanma, geçirgenlik ve su tutma kapasitesi sağlar. Sharma and Uehara (1967)'nin toprak nemi ve strüktürü çalışmasında agregatlar arası gözeneklerin 0.33 atm tansiyonda drene olduğu ancak agregat içi gözeneklerin 15 atm tansiyonda su ile dolu kaldığı bildirilmiştir.



Şekil 2.32 Toprakların kil içeriği ile agregat stabilitesi ilişkisi (Anonymous 2003).

Bal vd. (2011)'nin bildirdiğine göre Çelebi (1970), tekstürün toprak agregasyonu üzerine etkisini incelemiştir. Buna göre çalışmada, kil içeriği ile agregasyon arasında pozitif ($r = 0.795$) önemli bir ilişki, silt içeriği ile agregasyon arasında önemsiz bir ilişki, kil+silt içeriği ile agregasyon arasında pozitif ($r = 0.645$) önemli bir ilişki, kum içeriği ile agregasyon arasında ise negatif ($r = 0.645$) önemli bir ilişki olduğunu belirtmiştir.

Denef *et al.*(2002) yaptıkları çalışmada farklı kil tipine sahip üç adet toprakta (illit ve klorit, vermikulit ve kaolinit, kaolinin) ıslanma ve kuruma olayları ile agregat stabilitesi ilişkilerini incelemiş, 42 günlük bir inkübasyon sonrasında ıslanma ve kuruma olayının makro agregatlarda pozitif etkili olduğunu bildirmişlerdir. Öztaş ve Fayetorbay (2003) ise başlangıçtaki suya dayanıklı agregatların donma çözünme uygulamaları ile toprak tipine bağlı olarak değiştiği ve % 2.6 - %5.7 oranında azaldığını bildirmişlerdir.

Donald *et al.* (1987), farklı büyüklükteki 4 agregatta toprak özelliklerini incelemişler ve agregat büyüklüğü arttıkça toprak porozitesinin arttığını buna karşılık maksimum ve minimum nem içeriğinin azaldığını bildirmişlerdir. Wu *et al.* (1990) ise agregat, tane ve gözenek büyüklüğü ilişkilerini incelemişler, sonuç olarak agregat büyüklük dağılımının gözenek büyüklük dağılımını ve nem tansiyon eğrisini tahmin etmek için kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Benzer bir çalışmada (Canbolat 1998) agregat büyüklüğü artışı ile toplam porozite ve makro porozitenin arttığı tespit edilmiştir.

2.2.16 Toprak organik maddesi

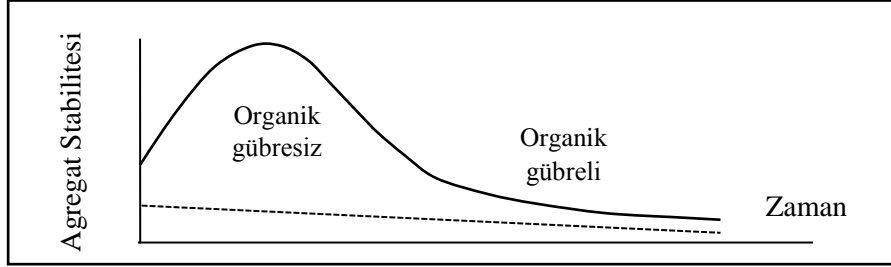
Toprakta iyi bir strüktürün oluşabilmesi için agregatların olması ve bu agregatların da özellikle suya karşı dayanıklı olması gerekir. Agregat oluşumunu ve stabilitesini artıran önemli faktörlerin başında toprak organik maddesi gelir. Özellikle granüler strüktüre sahip topraklarda organik madde içeriğinin fazla olması toprakta agregat oluşumunda önemli rol oynar (Anonim 2014f).

Toprağa uygulanan bitki ve hayvan artıkları ile organik gübreler, agregat teşkil edici ve bu agregatların stabilitesini artırıcı özelliğe sahiptirler. Bu maddeler, mikroorganizma tarafından parçalandıktan sonra ve yeni organik bileşiklerin meydana gelmesinden sonra da aynı özelliği gösterebilirler. Özellikle şeker ve selüloz gibi maddeler mikrobiyal parçalanmaya uğradıktan sonra bu etkiyi gösterebilmektedir. Ancak, mikrobiyal faaliyet sonunda organik maddeler tamamıyla ayrışacağından bunların toprağa yeteri kadar organik madde verip agregatlar sağlandıktan sonra bunun sürekli olacağını düşünmemek, aksine daima organik madde ilave etmek gerekir (Anonim 2014f).

Organik madde, toprağa bitki kalıntısı, hayvan gübresi, atık çamur ve yeşil gübre olarak eklenebilir. Genellikle yüzey toprağına yapılan bu ilaveler taneli ve kırıntı toprak strüktürünün gelişmesinde büyük önem taşır. Toprak işleme, toprak hayvanları ve mikroorganizmaları tarafından toprağına katılan organik madde alt toprak yapısının gelişmesini teşvik eder (Anonyoumus 2014ş).

Topraktaki organik madde bütün tekstür gruplarında toprakların fiziksel özelliklerini etkilemektedir (Haynes *et al.* 1991). Toprakta organik maddenin artması genellikle toprağın su tutma kapasitesi ve iletkenliğini artırır, bunun sonucu olarak organik maddenin toprak agregasyonu ve gözenek büyüklük dağılımına etkisi vardır (Hudson 1994). Toprağına organik materyal uygulamasının toprağın mevcut organik madde miktarını arttırdığı buna bağlı olarak toprağın agregat stabilitesi ve geçirgenliğinin arttığı tespit edilmiştir (Tiarks ve ark. 1974, Yalçuk ve Munsuz 1982, MacRae ve Mehuys 1985, Pikul ve Allmaras 1986). Toprak organik maddesi toprakta kil mineralleri ile birleştiğinde agregatlaşma sağlar, toprak strüktürünü kararlı hale getirir ve suyun toprak profilinde iletimini arttırırlar (Şekil 2.33).

Toprağa organik madde ilave edildiğinde makro ve mikro element içeriği artar, ayrıca kaba bünyeli topraklarda KDK ve yarayışlı su tutma kapasitesi artışını sağlayarak kuraklığa karşı bitkileri koruyabilir.



Şekil 2.33 Organik madde, agregat stabilitesi ve zaman ilişkisi (Anonim 2014f).

Organik madde içeriği yüksek olan topraklarda kök bölgesinde yeterli havalanma imkânı sağlandığı için bitki gelişimi daha iyidir. Organik madde tarafından tutulan su daha çok bitkilerin alabileceği bir güçte bağlanmıştır. Ağır killi topraklarda organik madde toprağı gevşetmek suretiyle fazla suyun alt katlara sızmasını sağlar. Kumlu topraklarda ise organik maddenin gösterdiği fonksiyon yararlı suyun artırılması şeklinde olup, suyun alt katlara sızmasına engel olur. Organik maddeler, kil yüzeylerine tutunarak bitki için gerekli besin elementlerinin killer tarafından tutunmasına engel olurlar (Anonim 2014f).

Coyne ve Thompson (2006)'a göre toprak organik maddesinin toprağın su tutma kapasitesi üzerine doğrudan ve dolaylı olarak etkileri vardır. Bunlar;

- Toprak organik maddesi kil minerallerine göre toprakta 5 kat fazla su tutabilirler.
- Toprak organik maddesi toprağın gözenekliliğini ve strüktürünü iyileştirir.

Hidrofilik doğası ve toprak yapısını iyileştirme etkisi nedeni ile organik madde toprak hidrolik özelliklerini etkiler (Öztekin *et al.* 2007). Toprak organik maddesi kendi ağırlığının 20 katı su tutabilir (Smith *et al.* 1992). Toprak malç ile korunduğunda, yüzey akışı engelleneceği için toprağa daha fazla su infiltrasyonu sağlanır (Bot and Benites 2005). Toprakta bulunan organik maddenin su tutulmasına katkısı topraktaki mevcut miktarına bağlıdır. Ancak mineral toprakların daha derin katmanlarında normal olarak bulunan organik madde miktarı toprakta önemli miktarda su tutmak için yeterli değildir. Özellikle yüksek tansiyonlardatutulan su organik madde içeriğinden etkilenir (Lipsuis 2002).

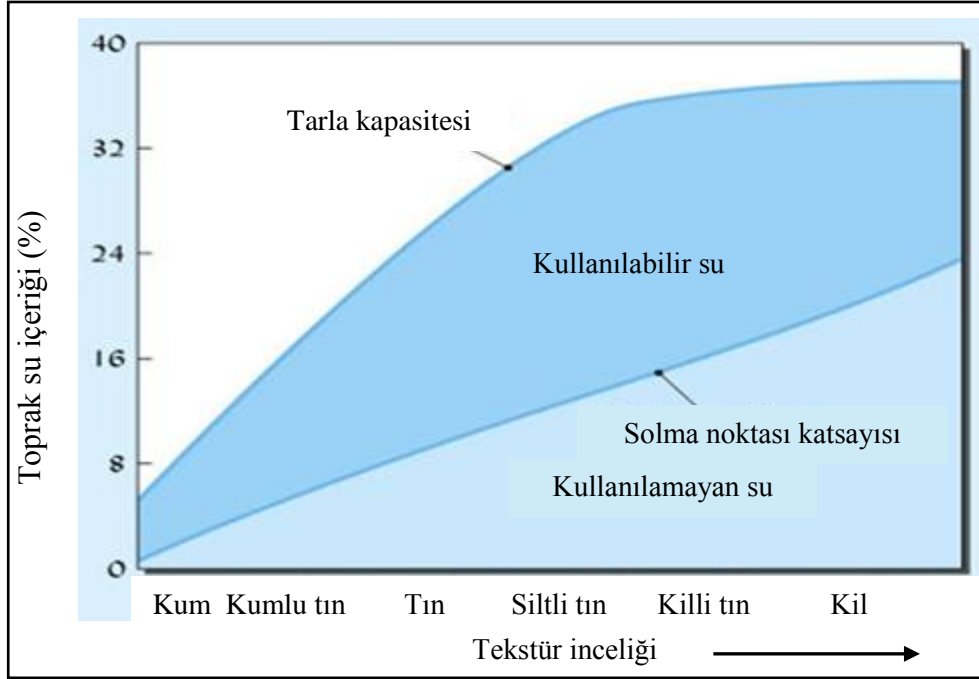
2.2.17 Tarla kapasitesi

Bir toprakta ne kadar su tutulduğunu anlamak için başta tarla kapasitesi olmak üzere, solma noktası ve kullanılabilir su (bitkiye yararlı su) miktarı gibi bazı terimlerin bilinmesi gerekir (Anonyoumus 2014d). Yağışlı bir mevsim veya bir sulama sonrasında yerçekimi etkisi ile topraktan hızla sızan suyun toprağı tamamen terk etmesinden sonra toprakta kalan su miktarı tarla kapasitesi veya maksimum tarla kapasitesi olarak tanımlanmıştır. Tarla kapasitesindeki bir toprağın gözeneklerindeki suyun hareketi çok yavaş olduğundan ihmal edilebilir. Suyun hareket hızı ihmal edilebilecek durumdaki toprağın su içeriğı tarla kapasitesi su içeriğı ya da kısaca tarla kapasitesi olarak kabul edilir (Karahana vd. 2014).

Laboratuvar veya arazi ölçümleri olmadığında, tarla kapasitesi genellikle toprakların parçacık büyüklüğü dağılımından (Huang *et al.* 2006), hacim ağırlığından (Minasny and McBratney 2002) ve toprak morfolojik özelliklerinden (Pachepsky *et al.* 2006) pedotransfer fonksiyonları kullanılarak tahmin edilir. Ancak çoğu toprak veri tabanında, özellikle gelişen ülkelerde (Bell and van Keulen 1996) su içeriğı -10 veya -33 kPa'da bozulmuş toprak örneklerinde ölçülür. Çünkü toprak çalışmalarından toplanan örnekler aslında haritalama ve sınıflandırma amaçlıdır ve genelde hacim ağırlığı için örnekler toplanmaz (Minasny 2009).

Aina and Periaswamy (1985), tarla kapasitesinin hem silt hem de kil içeriğinin bir fonksiyonu olarak tahmin edilebileceğini, ancak solma noktasının yalnız kil içeriğinin fonksiyonu olarak tahmin edildiğini belirtmiştir. Çünkü tarla kapasitesi yerçekimine karşı toprak gözeneklerinde tutulan toprak nem içeriğidir, tarla kapasitesi ile toprak gözenek büyüklüğü dağılımı arasında çok yakın bir ilişki vardır. Toprak kil fraksiyonu ve organik madde içeriğı, yerçekimine karşı toprak gözeneklerinde tutulan suyu artırarak tarla kapasitesini pozitif olarak etkilerken, kum fraksiyonu toprak suyunun serbest akışına izin veren gözeneklerin artması ile tarla kapasitesine negatif etki eder.

Tarla kapasitesinin toprakta kil ve organik madde içeriğinin artması ile arttığı bilinmektedir. Tahmin edildiği gibi kil ve organik madde azaldığında su infiltrasyonu yavaşlar (Hillel 1982). Killi toprakların toplam gözenekliliği kaba tekstürlü toprakların gözenekliliğinden daha fazladır. Ancak infiltrasyon kaba bünyeli topraklarda hızlıdır (Aşkın 2004) (Şekil 2.34).



Şekil 2.34 Toprak tekstürüne göre yararlı su içeriği değişimi (Anonyoumus 2014t)

Toprak tarla kapasitesinde olduğu zaman, yağış ile toprak profiline giren su depolanamaz. Bu nedenle suyun çoğunluğu ya derine akar ya da yüzey akışa geçerek erozyona neden olur. Toprak profili su ile tamamen dolu olduğunda, suyun kullanılması için bitki dikilmesi bir seçenektir. Bu seçenek profilde depolanan suyu azaltır ve yağışın depolanabileceği daha fazla yer açılır (Anonyoumus 2014d).

Toprağın tarla kapasitesi su içeriğine yakın koşullarında, topraktaki mikroporlar su ile doludur ve makroporlar oksijen taşınmasına izin verirler. Toprak tarla kapasitesi nem içeriğinden fazla neme sahip ise, makroporlar su ile doludur ve toprakta oksijensiz koşullar hakim olmaya başlar. Bu şartlarda, bitki kökleri topraktan oksijen alamaz ve mikrobiyal faaliyetler yavaşlar (Anonyoumus 2014d).

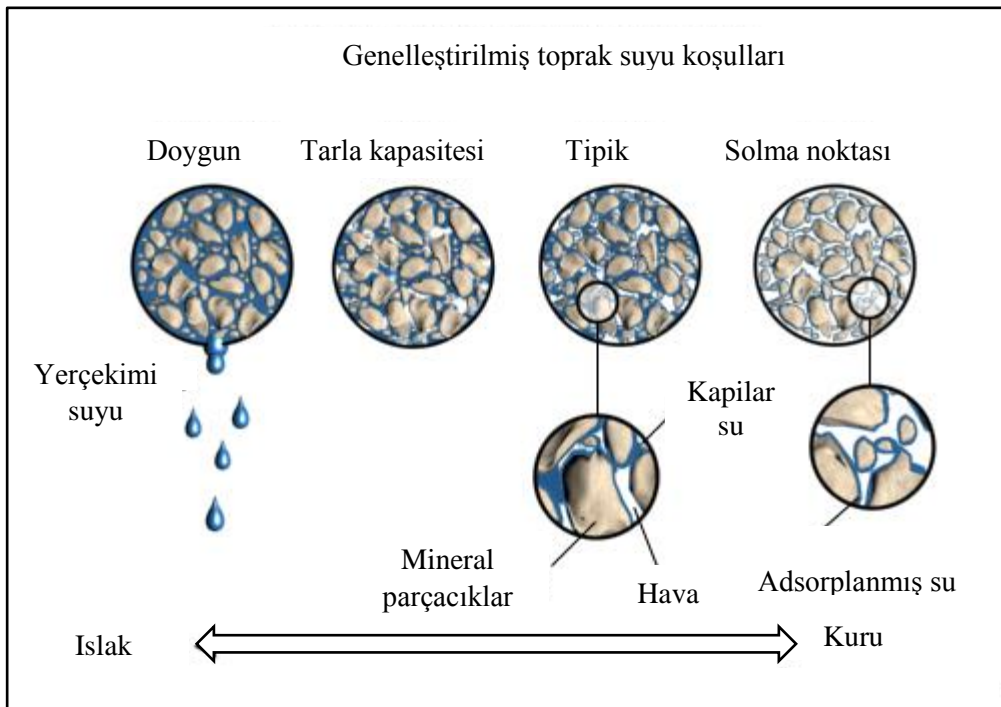
Genel olarak tarla kapasitesine toprakta infiltrasyondan sonraki birkaç drenaj günü zarfında ulaşılır (Linsley and Franzini 1972). Kumlu toprakların özgül yüzey alanları fazla olmadığı için çok fazla su tutamazlar. Bu nedenle, genelde sulamadan sonra, kumlu bir toprağın tarla kapasitesi değeri %10 gibi düşük olabilir. Birbiri üzerine plakalar şeklinde yığılmış kil parçacıkları ise geniş yüzey alanına sahip olduklarından, killi toprakların tarla kapasitesi %40'ın üzerinde olabilir. Kumlu topraklar infiltrasyondan 1-2 gün sonra belirgin bir tarla kapasitesine ulaşırlar, killi toprakların tarla kapasitesine ulaşması çok daha uzun süre alır ve çoğu zaman bu topraklar tarla kapasitesinin belirlenmesine izin vermezler.

Toprak suyunun iletimi toprak profili içinde süreklilik gösteren kanalcıklar boyunca olmaktadır. Toprak kuru olduğunda suyun ilerlediği bölge alttaki ıslanmamış bölgeden daha koyu bir renk almakta ve ıslanma cephesi kesin olarak ayırt edilebilmektedir. Islak topraktaki doygun katmanın altında, ıslanma cephesine doğru gidildikçe toprağın su içeriğinin azaldığı ve ıslanma cephesinde en düşük düzeye yani orijinal toprak nem düzeyine indiği görülmektedir. Toprak başlangıçta aşırı kuru olduğunda, ıslanma cephesi civarındaki negatif basınç çok yüksek olabilmektedir. Yüksek negatif basınç, özellikle kumlu topraklarda, genellikle düşük hidrolik iletkenliğe neden olur (Jury *et al.* 1991).

2.2.18 Solma noktası

Bitkilerin topraktan kökleri aracılığı ile alamadıkları koşullardaki toprak nem oranına solma noktası denilir. Solma noktası değeri ağır bünyeli topraklarda yüksek, hafif bünyeli topraklarda düşük değerlerdedir.

Bitki tarafından alınamayan su, toprak parçacıklarına ve agregatlara güçlü şekilde bağlanan ve bitki tarafından alınamayan toprak su içeriği olarak tanımlanır. Bu su, toprak parçacıklarına kaplanmış filmlerde tutunur. Bu terimler, toprağın en ıslak koşuldaki en kuru olduğu koşuldaki durumu gösterir (Şekil 2.35) (Anonyoumus 2014ş).



Şekil 2.35 Toprak profili nem koşulları (Anonyoumus 2014ç)

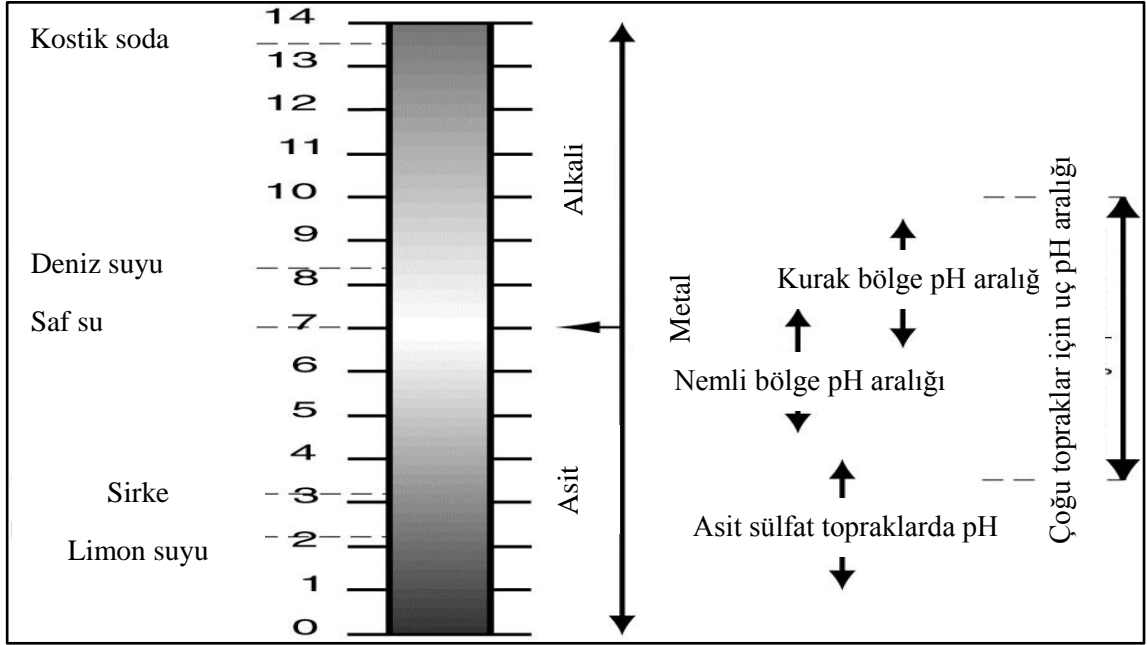
Solma noktası genellikle -1500 kPa tansiyondaki su içeriği olarak belirtilir. Başlangıçta bu değer ayçiçeği bitkisinin solma noktası için tespit edilmiştir. Bu değer statik bir nokta olarak tanımlanmasına rağmen fark edilmesi kolay değildir. Diğer taraftan bitkinin kök bölgesindeki nem içeriği eşit dağılmamıştır. Kök bölgesinin bir bölümünde matriks potansiyel -1500 kPa değerini aşarken diğer bölümünde su içeriği bitkinin yeterli suyu absorblayabileceği kadar yüksek olabilir.

Diğer taraftan toprak oldukça ıslak olmasına rağmen örneğin gün ortası için bitkinin solması geçici olabilir. Ayrıca bitkinin su stresine tepkisi bitki türüne bağlıdır. Kalıcı solma noktasının nedeni 1500 kPa tansiyon olarak varsayılır. Bu varsayım ile solma noktasındaki su içeriği, bitki tarafından alınamayan ve bu nedenle yararlı su içeriği olarak göz önüne alınmayan su olarak kabul edilebilir (Anonyoumus 2014ş).

Tarla kapasitesi öncelikle toprak özelliklerinin bir fonksiyonu iken, kalıcı solma noktası bitki, toprak ve atmosfer faktörlerinin bir kombinasyon ürünüdür (Tolk 2003). Bu nedenle solma noktasındaki nem içeriğine sahip toprak için toprak profilinde bir akışın dolayısı ile hidrolik iletkenliğin oluşabileceği koşullar mevcut değildir.

2.2.19 Toprak reaksiyonu ve EC

Toprakların pH değeri, üzerinde iklim, bitki örtüsü, topoğrafya ve zaman gibi ayrışma süreçlerinin olduğu toprağı oluşturan kayalara (ana materyal) dayanır. Bu süreçler zamanla düşük veya yüksek pH değerlerine neden olurlar. Toprağın pH özelliğı toprak suyundaki çözünebilir kimyasalların ve besinlerin miktarını ve bu nedenle bitkinin alabileceğı besin miktarını etkiler. Asit ve alkali koşullara göre bitki tarafından alınabilen besin miktarları da değişmektedir. Ancak çoğı mineral besinler pH değeri nötr değere yakın olduğunda (hafif asidik) kolaylıkla alınabilir (Şekil 2.36) (Anonyoumus 2014ü).



Şekil 2.36 Toprakta bulunan pH değerleri aralıkları (Anonyoumus 2014ü)

Yıkanmanın çok az olduğu kurak veya yarı kurak toprakların pH'sı genellikle alkalidir. Yağmur suları ile toprağı gelen Na iyonu, H iyonlarının daha sıkı tutunması nedeni ile suyun parçalanmasına sebep olur. Toprak çözültisinde kalan OH⁻ iyonu pH değerini artırır. Toprağın pH değerinin artması Na miktarına bağlıdır. Birçok toprağın pH değeri, bileşimlerine bağlı olarak, zamanla ve yere bağlı olarak değişimler gösterir. Toprak pH değerinin zamanla iniş ve çıkışları, oksidasyon ve redüksiyon olaylarının olduğu çeltik topraklar gibi topraklarda görülür (Schachtschabel *et al.* 1989).

Sodyumluluk toprak parçacıkları arasındaki bağı zayıflatarak toprağın birçok özelliğine negatif etkide bulunur. Sodyumluluk toprak boyunca su akışını azaltır. Bu durumda yıkanma sınırlanır, zamanla toprakta tuz birikimine ve tuzlu alt toprakların gelişmesine neden olur. Sodyumluluk toprak yüzeyinde kabuklanma ve sızdırmazlığa neden olarak suyun infiltrasyonunu engeller (Schachtschabel *et al.*1989).

Toprak tuzluluğunun özellikle killi topraklarda hidrolik iletkenlik üzerine pozitif bir etkisi vardır. Sodik topraklar düşük doygun hidrolik iletkenlik ile sonuçlanan toprak parçacıklarının dağılımı ve yapı bozulması gösterirler (Ayers and Westcott 1985). Sodyumun kötüleşen etkisi en çok montmorillonit ve simektit gibi genişleyebilen kil mineralleri ile tuzlu olmayan kil toprakların üst kısmında görülür (Richards 1954).

Kil parçacıklarındaki negatif yüzey yükü, artan pH'ın parçacıkları itmesi ile artar. Bu nedenle dağılan killerde toprağın pH değerinin kontrol edilmesi önemlidir (Chorom *et al.* 1994), kil gibi parçacıklar genellikle yüksek pH değerlerinde topaklaşırlar (Haynes and Naidu 1998). Asit topraklar genellikle yüksek hidrolik iletkenlik değerleri ile ilişkilidir. Yüksek yağışlı tropik bölgelerde olduğu gibi aşırı yıkanma ile oluşan Latosol topraklar üst kısmında kil ve silt parçacıklarını ve onların baz iyonlarının çoğunu kaybetmektedirler, bu yüzden asit bir kumlu toprak düşük baz doygunluğu gösterir. İslah edilen kıyı ovaları üzerinde gelişen eski asit sülfat toprakların iyi bir toprak yapısı ve yüksek hidrolik iletkenlik değerleri olduğu bildirilmiştir (Scheltema and Boons 1973).

Yüksek sodyum konsantrasyonundan dolayı yüksek EC değerine sahip topraklar, genellikle zayıf toprak yapılı ve zayıf drenajlı topraklardır. Genelde EC değeri kil içeriği artışı ile artar. Yüksek katyon değişim kapasitesine sahip killerin baskın olduğu topraklar (simektit vb.) düşük katyon değişim kapasitesine sahip killerin (kaolinit vb.) baskın olduğu kil topraklara göre daha yüksek EC değerine sahiptir. Çözülebilir ve değişebilir tuzların fazla olduğu kurak topraklar genellikle yüksek EC değerleri gösterirler.

Tuzlu ve su tablasının yüksek olduğu topraklarda, su kapilarite ve yüzey topraklarında tuz konsantrasyonu ve EC'nin artışı ile yükselir. Genellikle, geçirgenliği fazla olan toprakların (toprak nem içeriği yüksek) elektrik akımını iletme yeteneğinin daha büyük olduğu kabul edilmektedir (USDA NRCS 2011).

2.2.20 Kireç

Kireçlilik terimi ile topraktaki serbest karbonatlar (genellikle CaCO_3) anlatılır. Kirecin, toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinde önemli etkisi vardır. Toprağın kireç içeriği normal düzeyde ise etki yararlı, fazla ise zararlıdır.

Kireç;toprakta granülasyonu sağlayan organik materyali ayrıştıran mikroorganizmaların gelişmesini kolaylaştırmak suretiyle toprakların fiziksel yapıları üzerine etki eder. Kireç, organik ve inorganik tabiattaki toksik bileşiklerin nötralizasyonunu ve yıkanmasını sağlar, bitki hastalıklarını azaltır, bitki besin maddelerinin yararlılıklarını artırır, bitkilerin beslenmesi bakımından faydalı olan mikroorganizmanın faaliyetini artırır, Ca ve Mg'nın doğrudan regülatör etkisi vardır. Toprak üzerinde kirecin zararları da görülebilir. Kireç; faydalanılabilir demir, manganez, bakır ve çinko miktarını ve fosforu kompleks ve çözülmeyen kalsiyum fosfat halinde fikse ederek yararlılığını azaltır, fosforun bitkiler tarafından absorpsiyonu ve metabolizmada kullanılmasını zorlaştırır, borun bitkiler tarafından kullanılmasına engel olur (Anonim 2014b).

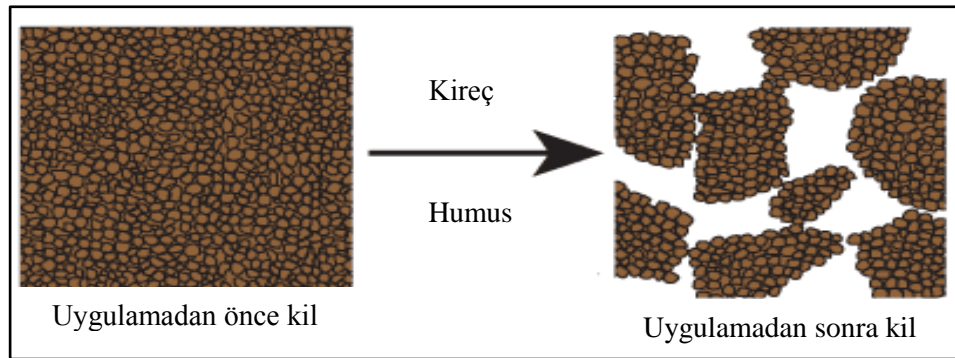
Kireç konkresyonları genellikle içerilen diğer toprak birleşenleri ile birlikte kalsitten oluşur. Kireç konkresyonlarının çoğu düzensiz ve yuvarlaktır, ayrıca 1 mm'den başlayıp 60 cm'e kadar varabilen değişik çaplara sahiptir, bazılarında az-çok eşmerkezli tabakacıklar bulunur. Kireç konkresyonları küre, elipsoid, çıkıntılı yuvarlak, tüpsü, dallı ve palaka gibi çok şekiller alabilir. Kireç konkresyonlarının taban suyunun aşırı doymuş olduğunda oluştuğu farzedildiğinden, çoğunlukla yarı nemli veya kurak iklimlerde kireçli ana maddelerden oluşan topraklar için karakteristik oldukları kabul edilir (Şekil 2. 37) (Anonim 2014b).



Şekil 2.37 Toprakta kirecin kaymak tabakası oluşturması

Toprağa kireç uygulaması agregat stabilitesini ve toprak çözeltisinin kimyasal kompozisyonunu etkiler. Toprak çözeltisinin reaksiyonu, iyonik güç ve iyonik kompozisyonu kil parçacıklarının dispersiyon/flokülasyonunu ve böylece toprak agregasyonunu oldukça etkiler. Asit karakterli topraklarda toprak pH özelliğinin nötralizasyonu amacıyla uygulanan kirecin, bu topraklarda mikrobiyal aktiviteyi ve verimi artırarak toprağı organik madde bakımından güçlendirdiğı ve buna bağılı olarak ta agregasyonda önemli bir artış sağladığı bildirilmektedir (Haynes ve Naidu 1998). Genel anlamda kireçleme toprağın fiziksel özelliklerini geliştirmek, mikrofloranın yaşam koşullarını iyileştirmek ve toprak reaksiyonunu nötr duruma getirerek bitki besin elementlerinin bitkiye yararlı hale gelmesini sağlamak amacıyla toprağa Ca ve Mg içeren bileşiklerin verilmesi işlemidir (Anonim 2014).

Kireçlemenin kil dispersiyonunu artırdığı ve agregat stabilitesini, infiltrasyon seviyesini önemli şekilde azalttığı bildirilmiştir (Casto and Logan 1991, Roth and Pavan 1991). Bazı araştırmacılar kireçlemenin yüzeyde çatlak oluşmasını (Hoyt 1981) azalttığını, su tutma kapasitesini (Hoyt 1981, Kohn 1975), agregat stabilitesini (Czeratzki 1972) ve infiltrasyonu (Castro and Logan 1991, Roth *et al.* 1986) artırdığını gözlemlemişlerdir. Bu zıt sonuçlar öncelikle (1) kireçlemenin toprak kolloidlerinin dispersiyonunda kısa süreli etkisi (2) CaCO_3 'ün floküle ve çimentolama hareketi ve hidroksi Al-polimerlerin çökmesi (3) kireçlemenin bitki gelişimini uyarılmasında uzun süreli etkisi, toprak biyolojik hareketliliğı ile açıklanabilir (Haynes ve Naidu 1998). Şekil 2.38'de killi toprakta kireç uygulamasından önce ve sonrasında toprağın görünümü verilmiştir.



Şekil 2.38 Kireç uygulamasının toprağa etkisi (Anonyoumus 2014v)

2.2.21 Katyon değişim kapasitesi

Katyon değişim kapasitesi (KDK), bir toprak parçası veya kolloidin yüzeyinde bir katyonun diğer bir katyon ile değişmesini ifade eder. Toprakların KDK değerleri değişiktir çünkü katyon değişimi toprağın katı kısmında gerçekleşir. Toprak katı kısmı çürüyen bitki materyalleri, humus, kil, kum, silt ve diğer mineral bileşenleri içerir. Killi bir toprağın KDK değeri 10-80 me/100 g, organik humus parçacıkları içeren toprağın KDK değeri 100-200 me/100 g ve kumlu bir toprağın KDK değeri 3-6 me/100 g'dır (Anonim 2014g). Bir toprağın KDK değerinin temel belirleyicileri kil ve organik madde içeriğidir. Çünkü kil ve organik maddede pozitif yüklü katyonik iyonları çekmek için yeterince güçlü bir negatif elektrik yükü vardır (Fabio and Reinaldo 2012) (Çizelge 2.5).

Çizelge 2. 5 Farklı tekstürlere göre toprakların KDK değerleri (Anonyomus 2014y)

Tekstür	KDK (me/100 gr)	Tekstür	KDK (me/100 gr)
Kil	30-40	Siltli tın	15-20
Siltli kil	22-32	Tın	13-18
Kumlu kil	15-30	Silt	10-15
Siltli killi tın	18-30	Kumlu tın	8-12
Killi tın	16-28	Kum	5-8
Kumlu killi tın	14-29		3-5

Bir toprağın KDK değerini etkileyen çeşitli faktörler (Anonim 2014g);

1-Kil mineralleri ile ilgili faktörler; Toprağın değişim kompleksleri asal olarak kil mineralleri ve organik maddedir. Az miktarda da silis asitleri ve serbest oksitler toprakta iyon değişimine katılırlar. Bunların topraktaki miktarları ne kadar fazla ise KDK'de o oranda yükselir. Bu öğelerin miktarı yanında bileşimleri ve bazı özellikleri de KDK üzerine etkilidir. Organik madde ve kil kapsamı aynı olan iki topraktan montmorillonit mineralinde KDK değeri kaolonit mineraline göre daha yüksektir.

2-Özgül yüzey; Toprak zerrecikleri toprak havasından gazları, toprak çözeltilisinden ise iyonları yüzeylerine adsorbe edebilmektedirler. Toprak zerreciklerinin katı-gaz, katı-katı ve katı-sıvı biçimindeki bu değişim yüzeyleri gr/m² olarak özgül yüzeydir. İyonların bağlanabileceği yüzey olması nedeniyle özgül yüzey alanı arttıkça sorbentin KDK değeride artmaktadır.

3-Elektrik yükü ve türü; Kil mineralleri izomorfik yer değiştirme veya OH⁻ gruplarındaki hidrojenlerin dissosiyasyonu ile negatif yük kazanmaktadır. Bu yükler kristal kafese bağlı oldukları için daimi “Kalıcı yük” denir. Bu tür yükten başka kil minerallerinde bir de değişken yük vardır. Değişken yük pH’a ve ortamdaki tuz konsantrasyonuna göre değişir. Değişken yük üzerine pH daha etkili olduğu için bu yük pH’a bağlı yükte denir. Kil minerallerinde fonksiyonel gruplar pH değeri 5 ve 6’nın üzerinde ise kation değişimi yaparlar.

4-Kil mineralinin türü; Kil minerallerinin KDK değerleri yapı ve özelliklerine göre değişir. Bunun nedeni silikat tabakalarındaki genişleme özelliklerinin farklı olmasıdır. Bazı önemli minerallerin KDK değerleri çizelge 2.6’da verilmiştir.

Çizelge 2. 6 Kil Minerallerinin KDK değerleri (Anonim 2014g)

Kil minerali	KDK (me/100gr)
Kaolinit	3-15
Halloysit	5-10
Montmorillonit	80-100
Vermikulit	100-200
İllit	20-50
Klorit	10-40
Allofan	<100

5-Organik madde; Organik madde poröz “ Gözenekli” bir yapıya sahip olduğu için özgül yüzeyi yaklaşık 800-1000 me/100gr’dır. Organik maddenin yük yoğunluğu da kil minerallerine oranla daha yüksektir. Toprak pH değerinin artışı organik maddenin KDK değerini artırır. Organik kolloidlerde pH ile KDK artarken, montmorillonitlerde pH değeri 6 civarında iken kalıcı yük görev yapmakta ve KDK değeri pH artışına paralel olarak artış göstermemektedir. Ancak pH>6 durumunda kalıcı yükün sabit miktarı yanında pH’a bağlı yük artmakta ve bu artış önem taşımamaktadır. İyi ayrılmış bir organik maddenin pH değeri 8 iken KDK değeri 80-300 me/100gr olabilir. KDK değeri organik maddenin daha geniş yüzey alanına sahip olması, fonksiyonel grupların fazla olması ve daha kolay dissosiyasyon olarak reaksiyona girmeleri nedeni ile diğer kil minerallerine göre daha yüksektir.

6-Katyonun türü; Katyonların sorbentler tarafından adsorbe ve desorbe edilmeleri farklıdır. İyon örtüsü tamamen NH₄ iyonlarından oluşan montmorillonit eş değer miktarlarda KCl ve NaCl çözeltileri ile çalkalandığında, Na ve K'un aynı değerlerde olmalarına karşılık farklı miktarlarda tuttukları görülür. Katyonların tutulmaları, değerliğine, hidrasyon derecesine ve polarizasyonuna bağlıdır. Diğer faktörler dikkate alınmaz ise katyonun yükü ne kadar fazla olursa tutulma gücü o oranda yüksek olur.

7-Katyonun konsantrasyonu; Bir katyonun toprak çözeltisindeki konsantrasyonu veya diğer katyonlara oranı arttıkça adsorbe edilen miktarı da değişmektedir.

Toprak KDK'sını daha iyi anlamak için toprağın mineral ve organik fraksiyonlarını oluşturan çeşitli bileşenlerini anlamak gerekir (Anonyoumus 2014z). Toprağın kil fraksiyonu değişebilir katyonların özelliklerine ve miktarlarına bağlı olarak toprak taneciklerinin dispersiyonuna ve şişmesine neden olabilir. Bu nedenle toprak içerisinde çözülmüş olan tuzların konsantrasyonu ve bileşimi hidrolik iletkenlik üzerinde kesin bir etkiye sahip olabilmektedir (Dane and Klute 1977, Frenkel *et al.* 1978).

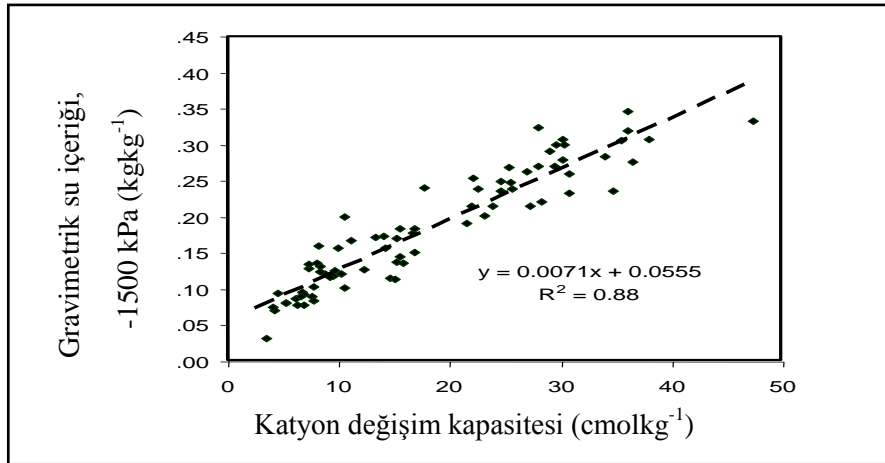
Moradi (2013), farklı tekstüre sahip topraklarda KDK ve kıvam limitleri ölçümü yapmıştır. Sonuç olarak en düşük KDK değeri killi tın topraklarda, en yüksek KDK değerini ise killi topraklarda kaydedilmiştir. Ayrıca en yüksek plastik, likit ve plastik indeks değerleride killi topraklarda bulunmuştur. Buna göre KDK ve kıvam limitleri kil içeriği ile doğru orantılıdır.

Fabio and Reinaldo (2012)'ya göre genel olarak, tropik topraklar, özellikle yüksek kum ve düşük pH değerine sahip topraklarda KDK düşüktür. Tropik topraklarda bol bulunan Al, Fe ve Mn oksitleri gibi minerallerde düşük KDK'ya neden olurlar. Topraklarda KDK ve pH arasında güçlü bir ilişki vardır, pH arttığında KDK konsantrasyonu artmaktadır. Bu durumda, yüksek pH ve kil oranına sahip topraklarda KDK'nın yüksek olması beklenir. Kashi *et al.* (2014), taşkın ovası ve tarım alanına ait ikiyüz toprak örneğinde KDK ve infiltrasyon hızını tahmin etmek için tekstür, EC, SAR, kireç oranı ve hacim ağırlığı özelliklerini kullanmışlar, infiltrasyon hızı için en iyi tahmin edici özellik olarak elektriksel iletkenlik bulunurken, KDK için kil yüzdesi bulunmuş ve ölçülen ve tahmin edilen KDK değerleri arasında ($R^2 = 0.857$) güçlü bir ilişki görülmüştür.

Yakupoğlu vd. (2013), KDK ile birlikte toprak temel özelliklerini kullanarak doygun hidrolik iletkenliği tahmin etmişlerdir. Kil içeriğindeki değişime paralel olarak KDK değerinin topraktan toprağa değişim göstermesi, çalışma alanının alokton materyal, aluviyal depozit özelliğine ve farklı kil minerallerinin varlığına atfedilmiştir (Yılmaz vd. 2003).

Öztekin vd. (2007), toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerini kullanarak doygunluk, drene olabilen gözeneklilik, tarla kapasitesi ve solma noktası basınç değerlerindeki su içeriklerinde doygun hidrolik iletkenliği tahmin etmişlerdir. Hidrolik iletkenlik ile KDK, OM, kil ve silt içerikleri ve θ_{20} , θ_{60} , θ_{330} , θ_{1000} değerleri arasında önemli ilişkiler bulmuşlardır.

Arrouays and Jamagne (1993), tınlı toprakların su tutma özelliğini incelemiş ve tarla kapasitesi veya solma noktasındaki su içeriği ile KDK arasında pozitif bir korelasyon kaydetmişlerdir. Tessier *et al.* (1999), KDK'nın bir toprakta 2 μm 'den küçük fraksiyonları karakterize eden bir parametre olarak kabul edilebileceğini göstermiştir. Şekil 2.39'da belirli bir su potansiyelinde tutulan su ile KDK arasındaki ilişki gösterilmiştir. Bu ilişkilerin yakınlığı su potansiyeli azaldığı zaman artmıştır. Pachepsky and Rawls (1999), kil fraksiyonunun KDK değerlerinin -33 ve -1500 kPa'daki su tutulmasınının temel belirleyicisi olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 2.39 KDK'nın bir fonksiyonu olarak -1500 kPa'da gravimetrik su içeriği (Tessier *et al.* 1999)

2.2.22 Toprak özgül yüzey alanı

Birim ağırlık veya birim hacimdeki toprağın yüzey alanı toplamına özgül yüzey alanı adı verilir ve genellikle m^2g^{-1} veya m^2cm^{-3} olarak ifade edilir. Toprağın özgül yüzey alanı, su tutma kapasitesi, katyon değişimi, kimyasal ayrışma ve adsorpsiyon gibi özelliklerle yakından ilişkili olan önemli bir fiziksel özelliktir. Toprakların özgül yüzey alanı kil minerallerine ve tanecik büyüklük dağılımına bağlı olarak büyük farklılıklar gösterirler (Filgueira *et al.* 2006).

Toprağın kimyasal, fiziksel ve fiziko-kimyasal yönden en aktif ve en önemli yapı maddeleri mineral ve organik kolloidlerdir. Mineral kolloidler olarak bilinen killer çeşitli tiplere ayrılırlar. Killer toprak faraksiyonlarının en aktif kısmını oluştururlar ve kimyasal yapıları itibariyle sekonder kökenli alüminosilikatlardan oluşurlar. Kil mineralleri özgül yüzey alanı, katyon değişimi ve besin elementlerinin adsorpsiyonu yönünden toprak kimyası ve bitki beslemeyi, hava ve su geçirgenliği, şişme-büzülme, strüktür oluşumu yönünden toprak fiziğini, toprak işleme ve tayı yönünden toprak amenajmanını doğrudan ilgilendirmektedir. Kil minerallerinin çok ince zerreler halinde bulunmaları, kristal ve kimyasal yapı yönünden temelde birbirlerine benzemelerine rağmen, birbirlerinden katyon ve su tutma, özgül yüzey alanı ve plastiklik gibi özellikler yönünden çok büyük farklılıklar göstermektedir (Yılmaz 2007).

Petersen *et al.* (1996) yaptıkları çalışmada özgül yüzey alanının toprak tekstürü, katyon değişim kapasitesi, toprağın su tutma kapasitesi ve doymuş hidrolik değerleri ile ilişkilerini araştırmışlardır. Araştırmacılar özgül yüzey alanının toprağın kil içeriği ile önemli pozitif, organik madde içeriği ile negatif korelasyon verdiğini belirtmişlerdir. Toprakların solma noktasındaki nem içeriklerinin özgül yüzey alanı ile çok önemli düzeyde ilişkili olduğunu ve nem karakteristik eğrisinin özgül yüzey alanı değerleri kullanılarak tahmin edilebileceğini bildirmişlerdir.

Kil mineralleri içerisinde en yüksek özgül yüzeye üç tabakalı ve tabakaları genişleyen killer sahiptir. İllit ve Kaolonit'in ise özgül yüzeyi oldukça düşüktür (Çizelge 2.7).

Çizelge 2. 7 Farklı tipteki killerin çap, yüzey alanı ve KDK değerleri (Anonim 2014g)

Kil tipi	Tane çapı	Yüzey alanı (m²/gr)	KDK (cmolc /kg)
Kaolinit	> 0,5	16	4
Kaolinit	< 0.5	29	4,6
Montmorillonit	0,08-0,2	661-915	68-103
Montmorillonit	< 0,08	882-1150	89-120
İllit	< 1,1	105	26,5

Özgül yüzey alanı, birçok toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirler. Zand-Parsa and Sepaskhah (2004) özgül yüzey alanını kullanarak toprağın doymamış hidrolik iletkenliğini tahmin etmişlerdir.

Toprak yüzey alanı toprağın su tutma yeteneğini etkiler. Su, toprak parçacıkları üzerinde ince bir tabaka oluşturarak toprak yapısı içinde tutulur, bu nedenle bir kum, kil ve silt karışımı yüksek yüzey alanına sahip ise su tutma kapasitesi yüksektir (Anonyoumus 2014z).

Özgül yüzey alanı su içeriği ile ilgili en önemli toprak özelliklerinden biridir (Newman 1983). Birçok araştırmacı yüzey alanını tahmin etmek için kil içeriğini kullanmışlardır. Örneğin, Cihacek and Bremner (1979) özgül yüzey alanı ve KDK arasında $R^2 = 0.64$ değerinde bir ilişki bulmuştur. Ayrıca, de Jong (1999), Saskatchewan topraklarında yüzey alanını farklı yöntemlerle (Bet-N, Egme) tahmin etmiş ve kil içeriği ile yüzey alanı arasında yüksek korelasyon bulmuştur (0.92 ve 0.72). Buna karşılık Locat *et al.* (1984) ve Churchman *et al.* (1991) bu şekilde yakın bir ilişkinin genelde doğru olmadığını göstermiştir. Curtin and Smillie (1976) özgül yüzey alanı ve kil içeriği arasında düşük bir korelasyon bulmuştur ($R^2 = 0.15$). Toprakların ölçülen yüzey alanları ve kil içerikleri arasındaki farklı korelasyonlar toplam ağırlığıdaki mineral oranları ile ilgili olarak kil minerallerinin farklı tipleri ile açıklanabilir. Toprakta geniş bir yelpazede şişen ve şişmeyen kil mineralleri olduğunda özgül yüzey alanı kil içeriği kullanılarak doğru bir şekilde tahmin edilemez (Aksoy ve Kaya 2010).

2.3 Toprak Hidrolik Özelliklerinin Modellenmesi

Çevresel izleme ve modelleme için nicel toprak bilgilerine küresel olarak ihtiyaç vardır. Geleneksel toprak araştırmalarının amacı, yalnızca toprak sınıflarının dağılım ve envanter bilgilerini toplama ve toprak haritalarını sağlamaktır. Ancak sürdürülebilir tarımın kurulması ve arazi kalitesinin iyileştirilmesi için artan talepler toprak özelliklerinin kantitatif mekansal dağılımını sağlamak için toprak etüdünü gerektirmektedir. Örneğin, sürdürülebilir tarım planlaması için kullanılabilir toprak su kapasitesi toprak sınıflama haritasından daha kullanışlıdır (Minasny 2007).

Toprak etütlerinden gelen veriler genellikle tekstür, organik madde, pH gibi özelliklerdir. Modelleme süreçlerinde en zor ve pahalı aşama, veri toplamaktır. Bu yüzden temel toprak özellikleri ile ölçümü daha zor olan fonksiyonel özellikler arasındaki ilişkileri elde etmek önemlidir. Ancak hem arazi hem de laboratuvar analizlerinden toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerini elde etmek pahalıdır (Minasny 2007).

Toprak fiziksel özellikleri doğal sistemlerin yönetimi ve anlaşılması için gereklidir. Toprakların hidrolik özellikleri, kontrollü yapılan deneyler ile ölçülebilir ancak toprak uzaysal değişkenlik gösteren ve karmaşık bir sistemdir. Bu nedenle ölçümler zaman alıcı, iş gücü gerektiren, yeterli sayıda yapılması zor olan ve genellikle büyük ölçekli projelerdir. Toprak hidrolik özelliklerinin daha hızlı, kolay ve ucuz yollar ile gerçeğe yakın tahmin edilebilmesi için yeni yöntemler geliştirilmiştir.

Toprak hidrolik özelliklerinin bilinmesi gerçekçi tarımsal planlamalar için son derece önemlidir. Herhangi bir yönetim uygulama senaryosunun toprak özelliklerinde ya da üründe meydana getireceği değişimi tahmin etmek için modeller geliştirmek ziraat bilimlerinde sık başvurulan bir yoldur. Toprak bilimi ile ilgili olan bir modele girdi olacak veriler çoğunlukla etüt çalışmalarından elde edilmektedir. Fakat bu çalışmalar sadece tarla morfolojisi, tekstür, strüktür ve pH gibi temel toprak özelliklerini içerdiği için (Minasny 2007) temel toprak özelliklerini daha zor ölçülen fonksiyonel özelliklere bağlayan eşitliklerin geliştirilmesi, toprak bilimi tahminleme mühendisliğinde esas teşkil etmektedir (McBratney *et al.* 2006).

Değişken doymun koşullar için akış modellerinin kullanımı topraklarda su akışı ve su tutunmasını düzenleyen hidrolik iletkenliğin doğru tahminini gerektirir (Wösten *et al.* 2001). Toprakların hidrolik özellikleri bir bölgeden diğerine uzaysal olarak ve ölçüğe dayalı olarak değişir (Hopmans *et al.* 2002). Ayrıca, zamansal değişkenlik bitki gelişimi, toprak yönetimi ve tarımsal uygulamalar gibi çeşitli biyolojik ve insan aktiviteleri veya toprak şişme-büzülme olayları, toprak kabuk oluşumu veya su geçirmezliği gibi fiziksel süreçlerin bir sonucu olarak oluşabilir (Wösten *et al.* 2001). Bu nedenle toprakların uzaysal ve mekansal değişkenliğini bir perspektifte tutarak hidrolik özellikleri karakterize etmek gereklidir (Twarakavi *et al.* 2008).

Günümüze kadar hidrolik özelliklerin modellenmesi amacıyla yapılan çalışmalar arasında hidrolik iletkenliğin modellenmesi geniş yer alır. Toprak hidrolik özelliklerinden hidrolik iletkenlik (doymun ve doymun olmayan hidrolik iletkenlik) önemli bir parametredir. Toprak hidrolik iletkenliğinin doğrudan belirlenmesinin yanısıra elde mevcut veya kolay ölçülebilen toprak özelliklerinin kullanılması ile yapılan dolaylı yöntemler de uygulanmıştır.

2.4 Hidrolik İletkenlik Tahmininde Kullanılan Modeller

Hidrolojik döngü; atmosferik su, yüzey suyu ve yeraltı suyu sistemleri gibi çeşitli alt sistemlerden oluşur. Bu sistemlerin içinde yağış, buharlaşma, yüzey akışı, akarsu ve okyanus akışı ve yeraltı suyu akışı gibi değişik süreçler yer alır (Chow *et al.* 1988). Bu süreçler hakkında nicel bir açıklama yapmak için süreçlerin ve alt sistemlerin özelliklerini açıklayan parametreleri tanımlayan denklemler gereklidir (Moenen 1990).

Toprak karmaşık bir sistemdir. Toprak içerisindeki su hareketinin akış hızı, yönü, miktarı ve süresi açısından belirlenebilmesi de bu karmaşık yapı nedeniyle zordur. Bu konu üzerine yapılan çalışmalarda bazı toprak parametreleri kullanılarak birçok matematiksel formül geliştirilmiştir.

Doygun koşullardaki bir toprakta akışın tahmin edilebilmesi için bazı parametreler gereklidir, temel parametre doymuş hidrolik iletkenliktir. Doymuş hidrolik iletkenlik değerleri toprak bünyesi, hacim ağırlığı, organik madde gibi parametrik özellikler ve toprak yapısı gibi morfolojik özelliklerden etkilenir. Toprak bünyesi gibi parametrik özelliklerin bazıları zamanla çok fazla değişime uğramaz, ancak toprak yapısı ve diğer morfolojik özellikler zamansal ve uzaysal olarak değişebilir.

Toprak hidrolik özelliklerinin modellenmesi için toprak su içeriği ile bunu etkileyen diğer faktörler arasındaki ilişkilerin iyi bilinmesi gerekir. Bu nedenle toprakta doymuş hidrolik iletkenlik değerlerini ölçmek için birçok metot ve model geliştirilmiştir. Toprak su içeriği ve hidrolik iletkenlik ilişkileri doğrudan veya bu parametreleri kullanarak oluşturulan denklemlerle dolaylı olarak belirlenebilir. Su içeriği ilişkilerinin laboratuvarında doğrudan belirlenmesi önceden belirlenmiş bir basınç için başlangıçta doymuş olan bir toprak örneğinin desorpsiyonunu ve dengedeki su içeriğinin belirlenmesini içerir. Arazide ise su içeriği nötronmetre veya gama ışını saçılması veya bir tansiyometre kullanılarak doğrudan değerlendirilebilir (Arya and Paris 1981).

Hidrolik özelliklerin ölçüm ve tahmini için dolaylı yöntemler de geliştirilmiştir. Dolaylı yöntemlerde tahmin edici toprak özellikleri doğrusal istatistiksel modellerde kullanılarak tekstür, organik karbon ve hacim ağırlığı gibi toprak özelliklerini hidrolik iletkenlik ile ilişkilendirilmiştir. Bu şekilde tahmin edici toprak özellikleri, tane boyutu dağılımı veya toprak su salıverme karakteristik eğrisi ile ilişkili teorik temele dayalı modeller için altyapı oluşturabilirler (Nandgiri and Prasad 1996, Vereecken *et al.* 1990, van Genuchten and Leij 1992, Zhuang *et al.* 2001, Minasny and McBratney 2002, Minasny *et al.* 2004).

Dolaylı yöntem 'Ters' yöntem olarak bilinen bir çözümü de kapsamaktadır. Toprak hidrolik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan ters yöntem, Zachmann *et al.* (1981) tarafından ileri sürülmüş ve büyük ilgi görmüştür. Ters yöntem, kısa süreli toprak su akışının gözlenmesini ve gözlenen veriler ile simülasyon sonuçlarının tersten karşılaştırılması ile hidrolik özelliklerin tahminini ifade etmektedir. Ters yöntemde, doymamış topraklardaki su akışı, Θ - Ψ ve K- Ψ modellerinin başlangıç parametre tahminleri ile sayısal olarak çözülür. Ölçülen su miktarı veya kılcal basınç profilleri hesaplanan sonuçlara benzer oluncaya kadar gelişmiş parametre tahminleriyle akış eşitliğinin çözümü tekrarlanır (Kosugi and Nakayama 1997).

Dolaylı yöntemlerin çoğu veri çevirisi anlamında geliştirilmiştir. Dikkat edilmesi gereken faktörler ise tahminin doğruluğu, verilerdeki belirsizlikler, bilgi toplamak için gerekli olan maliyet, işgücü ve tahminin yeterliliğidir (Minasny and McBratney 2002). Dolaylı yöntemler sayısal arazi değerlendirmelerinden kaynaklanan bir terim olan pedotransfer fonksiyonları olarak da adlandırılmaktadır (Bouma 1986). Bu yöntemler toprak hidrolik özellikleri ile hacim ağırlığı, organik madde içeriği ve parçacık büyüklüğü dağılımı gibi genelde kolay ölçülebilen özellikler arasındaki ilişkiye dayanır. Bu metotlar yarı veya tam ampirik olarak da sınıflandırılabilirler (Stephens 1996).

Toprak su içeriği için kullanılan Arya ve Paris (1979) yarı-ampirik modeli, gözenek büyüklüğü ve dağılımı arasındaki benzerliğe dayanır. Bu model ile tespit edilen toprak su içeriği ile ilgili noktalar örneklerin bölündüğü parçacık büyüklüklerinin aralık sayısına bağlıdır.

Haverkamp and Parlange (1986) modeli ise aynı şekil benzerliği prensibine dayanır. Ancak histerisis etkisini içerir ve noktalar kümesi yerine bir eğri verir (Stephens 1996).

Ampirik modeller ise tamamen toprak hidrolik özellikleri ve temel toprak özellikleri arasındaki istatistiksel ilişkilerdir. Cosby *et al.* (1984), Saxton *et al.* (1986) ve Vereecken (1989) modelleri $\Theta(h)$ ve $K(h)$ değerlerini açıklayan matematiksel ifadelerin parametrelerini tahmin eder. Rawls ve Brakensiek (1982), Rawls *et al.* (1982) ve Gupta ve Larson (1979) modelleri ise sınırlı bir toprak su basıncındaki toprak su içeriğini verir.

Yapılan bazı ampirik ve yarı-ampirik hidrolik iletkenlik modelleri içerisinde kullanılan parametrelerin basit toprak özellikleri ile doğrudan ilişkili olma olasılığı incelenmiştir (Schuh and Bauder 1986, Wösten and Van Genuchten 1988, Vereecken *et al.* 1990, Vereecken 1995). Bununla birlikte, teorik temelli iletkenlik modelleri içerisinde kullanılan parametrelerin basit toprak özellikleri ile doğrudan ilişkili olma olasılığını inceleyen çok az araştırma bulunmaktadır (Muallem 1976, Schuh and Cline 1990, Vereecken 1995).

Doygun hidrolik iletkenlik için oldukça sınırlı sayıda alternatifler mevcuttur. Çeşitli pedotransfer fonksiyonları (PTF) mevcut olmasına rağmen (Saxton *et al.* 1986, Schuh and Bauder 1986, Vereecken *et al.* 1990 vs.) bunlar arasından Burdine (1953) ve Muallem (1976) gözenek boyutu dağılımı modellerini yaygın olarak kullanan modellerdir. Genel olarak, Burdine ve Muallem modelleri, toprakların su tutma karakteristiklerinden toprakların gözenek büyüklüğü dağılımını tahmin etmektedir (Pachepsky *et al.* 2003).

Doygun hidrolik iletkenlik ve su tutma tahminleri için yapılan çalışmalar toprak tekstürü, hacim ağırlığı ve diğer toprak değişkenlerini girdi olarak kullanan birçok pedotransfer fonksiyonlarına (PTF) rehber olmuştur. PTF'ler kısaca basit toprak özelliklerine ait verileri kullanarak ölçümü zaman alıcı ve pahalı olan toprak hidrolik özelliklerini tahmin edebilen fonksiyonlar şeklinde tanımlanabilirler (Rawls and Brakensiek 1985, Ahuja *et al.* 1989, Vereecken *et al.* 1989, Schaap *et al.* 1998).

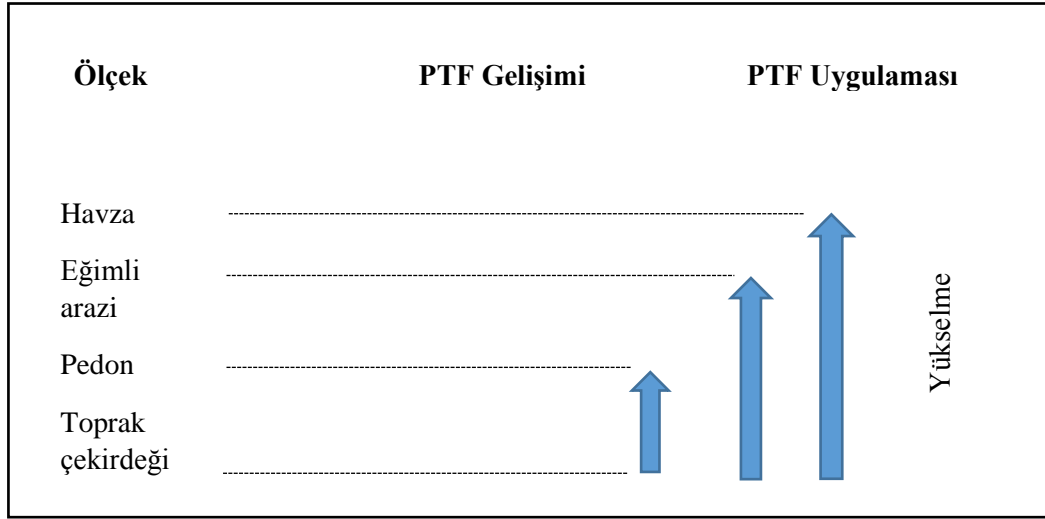
2.5 Pedotransfer Fonksiyonları

Hidrolik özellikleri daha kolay, çok kullanılan ve ölçümü ucuz olan özelliklerden tahmin eden dolaylı yöntemlerin esası çoklu regresyona dayanır. Bu işlem genellikle pedotransfer fonksiyonları olarak bilinir (Bouma 1989a ve 1989b). Pedo transfer fonksiyonları (PTF_s) olarak bilinen fonksiyonlar kolay ölçülebilen toprak özelliklerinin yardımı ile istenen toprak özelliklerinin kestirilmesi için kullanılan fonksiyonlar olarak tanımlanırlar (Wösten *et al.* 2001).

Toprak araştırmalarından elde edilen en kolay veriler; toprak morfolojisi, toprak tekstürü, toprak yapısı ve pH gibi toprak özellikleridir. Ancak kolay elde edilemeyen, analizleri zaman alan ve pahalı olabilen diğer toprak özelliklerine de gerek duyulmaktadır. Pedotransfer fonksiyonu (PTF) terimi, Johan Bouma tarafından gerekli fakat zor olan bu veriler için icat edilmiştir. PTF'ler, toprak araştırmalarından ve veri tabanından elde edilen temel bilgileri, daha zahmetli ve pahalı olarak belirlenen diğer toprak özelliklerinin elde edilmesinde kullanılırlar. Böylece PTF'ler kullanılacak modeller için gerekli olan ama ulaşılması zor olan toprak özellikleri nedeni ile oluşan eksik bilgilerin boşluğunu doldururlar.

PTF'ler simülasyon modelleri gibi çalışır. Bir PTF, fonksiyonel ilişkilerin ampirik regresyonları ile toprak araştırmalarında bulunan temel bilgilerin daha geniş uygulamaları için gerekli temel bilgilerin çevirisini sunar (Aimrun and Amin 2009). PTF'ler, var olan toprak veri bankalarından tekstür, hacim ağırlığı, organik madde içeriği gibi temel toprak etüt verilerini kullanarak su tutma eğrisinden (WRC), hidrolik iletkenliğe (K(θ)) kadar birçok toprak hidrolik özelliklerini ilişkilendirmek için geliştirilmiştir (Wösten and van Genuchten 1988, Vereecken *et al.* 1990, Schaap *et al.* 1998, Schap and Leij 2000, Wösten *et al.* 1999). PTF'lerin uygulamaları arazi kullanım değerlendirmesini (Bouma 1989a, 1989b, van Diepen *et al.* 1991), bölgesel pestisit veya gübre taşınmasını (Inskeep *et al.* 1996, Wilson *et al.* 1996, Wilson *et al.* 1993, Bouma *et al.* 1966) ve kıtlık erken uyarı sistemlerini kapsamaktadır (Chen and Payne 2001).

Pedotransfer fonksiyonlarının kullanımı büyük ölçekli projeler için veya pilot çalışmalar için modelleme yapıldığında gereklidir. Bununla birlikte, veri gelişimi dışında PTF'lerin doğruluğu bilinmediği için PTF sonuçları her zaman belirsizdir (Guber and Pachepsky 2010). Hidrolik özelliklerin ölçeğe dayalı oldukları bilinmektedir, çekirdek ve daha kaba ölçeklerde ise aynı model kullanılırsa değerler değişir. Mevcut PTF'ler toprak çekirdek ölçeğinde geliştirilmektedir ve hala pedon, eğimli tepe veya havzaların kaba ölçeğinde kullanımları kastedilmektedir. Bu nedenle, kaba ölçeklerde kullanılabilir tahmin edici PTF'ler yapmak için yükseltme işlemi gerekmektedir (Pachepsky *et al.* 2006)(Şekil 2. 40).



Şekil 2. 40 PTF gelişimi ve uygulamalarında ölçekler arası ilişki (Pachepsky *et al.* 2006)

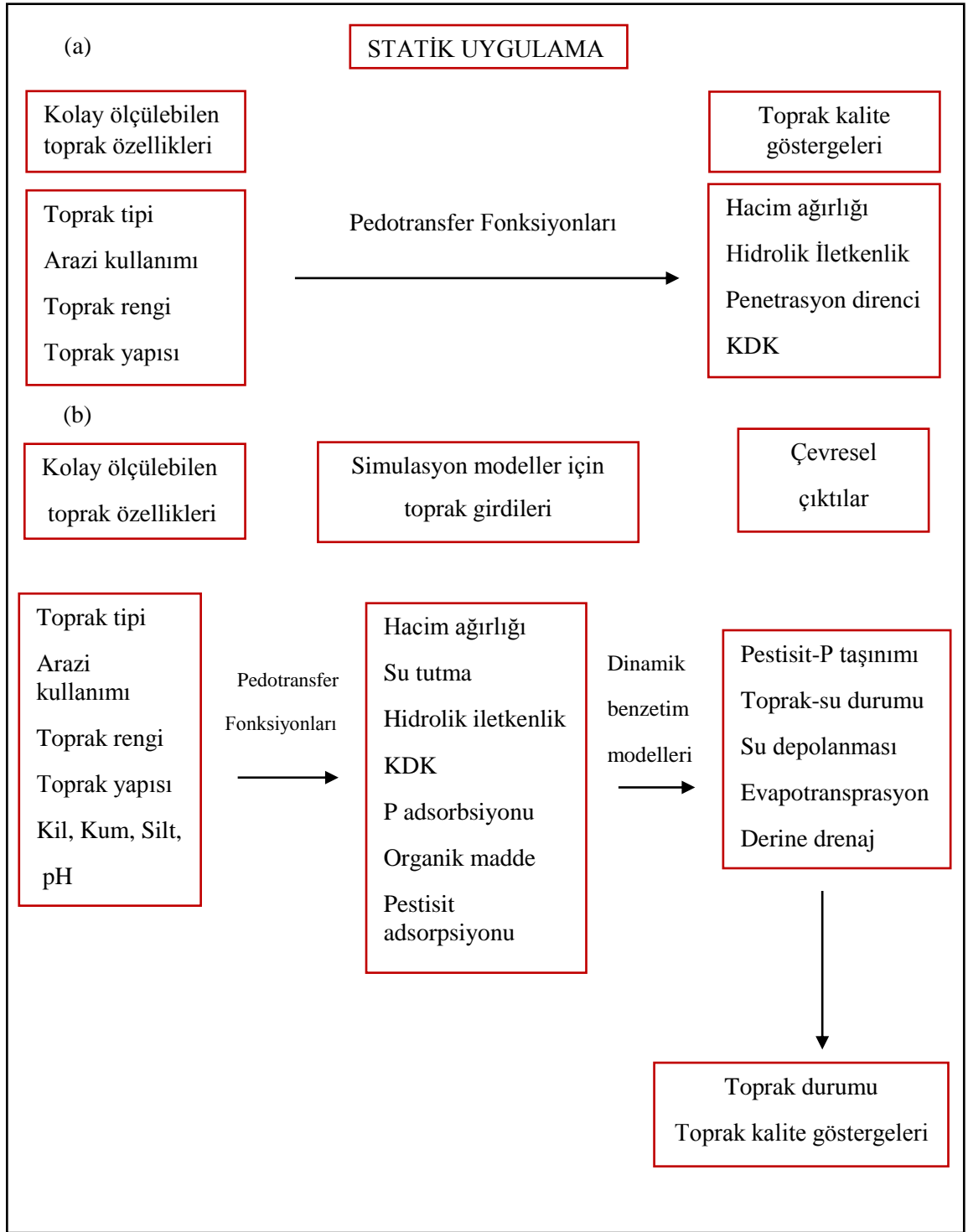
Toprak suyu akış modelleri, mekanizma, süreç ve su tutma ve akış parametreleri hakkında bir dizi basitleştirilmiş varsayımlara dayanır. Bu varsayımlar ise toprak suyu akış modellerinde hatalara neden olabilir. Toprak suyu modellemesi hidrolojik, meteorolojik, tarımsal ve diğer birçok çalışma ve uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Toprak suyu modelleme sonuçlarının mükemmel olmaktan uzak olduğu ve düzeltilmesi gerektiği bilinmektedir (Pan *et al.* 2012).

Minasny (2007)'e göre ilk önce temel ve özel toprak özelliklerinin karakterize edilmesi ile yeni bir PTF kurulur. Bu veriler kullanılarak, potansiyel veri tabanına katkıda bulunmak için temelden özele toprak özellikleri ile ilgili istatistiksel ilişkiler türetilir. Önce PTF formülü oluşturulur, spesifik toprak özelliklerini tahmin etmek için mevcut bir toprak araştırma haritası kullanılabilir.

PTF'lerin kullanımında iki uygulama vardır (Şekil 2.41). Bunlar;

- 1- PTF'lerin toprak özelliklerini tahmin etmek için kullanıldığı statik uygulamalar ve
- 2-Toprak özelliklerini tahmin etmek için bir modellemede veya karar-destek modelinde girdi olarak kullanılacak dinamik uygulamalardır.

Bu tür modeller toprak fonksiyonlarında farklı tarımsal yönetimlerin etkilerinde çalışan senaryolar için kullanılabilen modellerdir.



Şekil 2.41 (a) İstatistik vs. (b) toprak kalitesini tahmin etmek için PTF kullanılarak yapılan dinamik uygulamalar (Minasny 2007)

2.5.1 Pedotransfer fonksiyonlarının tarihi

Pedotransfer fonksiyonları olarak adlandırılan ilişkiler (Bouma and van Lanen 1987, Bouma 1989), özellikle büyük ölçekli uygulamalar için oldukça uygundur. Lin *et al.* (1999), morfolojik özelliklerin arazi topraklarında su akışı ve çözünmüş kimyasalların taşınmasının karakterize edilmesindeki önemini gösteren çalışmalar (Bouma and Dekker 1978, Beven and Germann 1982, Bouma 1989) olduğunu belirtmiştir.

Resmi olarak 1989 yılına kadar adlandırılmış olmasa da, Pedotransfer fonksiyonları kavramı belirlenmesi güç olan toprak özelliklerini tahmininde uzun zaman uygulanmıştır. İlk başlarda, çeşitli toprak özelliklerini tahmin etmek için kurallar formüle edilmiştir. Özellikle zor ve pahalı ölçümler nedeni ile PTF'lerde en kapsamlı araştırmalar su tutma tahmini için olmuştur (Minasny 2007).

Toprak hidrolik iletkenliğinin modellenmesinde morfolojik özelliklerin kullanılarak su akışının niteliksel olarak açıklanması fikri Soil Conservation Survey için yapılmıştır (Norton 1939). Daha sonra mikromorfometrik teknikler toprakta kanal ve boşlukları karakterize etmek için kullanılmıştır (Bouma 1977). İlk defa Lyman Briggs ve McLane (1907) yaptıkları bir PTF çalışmasında, parçacık büyüklüğünün bir fonksiyonu olarak solma katsayısını belirlemek için aşağıdaki bağıntıyı elde etmişlerdir.

$$\text{Solma katsayısı} = 0.01 \text{ kum} + 0.12 \text{ silt} + 0.57 \text{ kil}$$

Veihmeyer ve Hendricksen (1927) tarafından yapılan tarla kapasitesi (TK) ve sürekli solma noktası (SN) kavramları ile 1950-1980 dönemlerindeki araştırmalarda parçacık boyutu dağılımı, hacim ağırlığı ve organik madde içeriği ile tarla kapasitesindeki su içeriği (TK, $\theta_{-33 \text{ kPa}}$), sürekli solma noktasındaki su içeriği (SN, $\theta_{-1500 \text{ kPa}}$) ve yarayışlı su içeriğini (MS = TK-SN) ilişkilendirmeye çalışılmıştır. Nielsen ve Shaw (1958), 730 Iowa toprağını kullanarak sürekli solma noktası ile kil içeriği arasında parabolik bir ilişki belirlemiştir. Kil fraksiyonu ve hacim ağırlığının bir fonksiyonu olarak tarla kapasitesinin tahmin edilmesi PTF'lere tipik bir örnektir (Burrows and Kirkham 1958).

$$\text{TK} = 6.69 + 0.637\text{kil} + 1.67\text{hacim ağırlığı} \quad (R^2 = 0.932)$$

Sonraki yıllarda, tarla kapasitesi, solma nokta noktası, 1950'lerden sonra ise bunlara ilave olarak mevcut su içeriği, hacim ağırlığı, organik madde içeriği ile ilgili çalışmalarda PTF'ler kullanılmıştır. Burdine (1953) modeli daha fazla fiziksel kurallar içeren bir modeldir. Bu tip PTF'ler su tutma verilerinden doymamış hidrolik iletkenliği hesaplayan metotlar sunarlar.

Daha sonra 1960'lı yıllarda PTF sınıfı olarak bilinen mevcut su kapasitesi ve tekstür sınıfı arasındaki ilişkiler araştırılmış ve parçacık büyüklüğü dağılımı ile ilgili fonksiyonlar geliştirilmiştir. Büyük veri tabanları kullanılarak 1970'lerde daha kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. Tekstür sınıfının bir fonksiyonu olarak toprak-su özellikleri kullanılarak sürekli fonksiyonlar geliştirilmiştir. PTF'ler, bir matrik potansiyeldeki su içeriği veya su kapasitesi gibi tek bir özelliğin değerini tahmin etmek için kullanılmışlardır (Pidgeon 1972, Lal 1979).

Salter ve Williams tarafından (1965 a,b, 1966, 1967, 1969) özellikle TK, SN ve yarayışlı su içeriğinin (YSİ) tahmini için bir çalışma yapılmıştır. Yazarlar PTF sınıfı olarak bilinen, tekstür sınıfları ve mevcut su kapasitesi arasındaki ilişkileri araştırmışlar ve sürekli PTF olarak bilinen YSİ için parçacık büyüklüğü dağılımı ile ilgili fonksiyonları geliştirmişlerdir. Çalışma sonucu olarak fonksiyonlarının ortalama %16 doğrulukta YSİ'ni tahmin edebildiğini iddia edilmiştir.

Toprak araştırmalarından elde edilen verilerin bir araya getirilmesi, ulusal toprak veri tabanı kurulması ve ampirik ilişkilerin geliştirilmesini sağlar. De Leenheer and Van Ruymbeke (1960) çalışmalarını "toprak bileşenlerini bilerek bazı fiziksel toprak özelliklerini tahmin etmek mümkün mü?" olarak adlandırmışlardır.

Büyük veri tabanları kullanılarak 1970'lerde daha kapsamlı araştırmalar geliştirilmiştir. Hall *et al.* (1977) tarafından İngiltere topraklarında yapılan çalışma buna iyi bir örnektir. Tekstür sınıflamasının bir fonksiyonu olarak, TK, SN, YSİ ve hava kapasitesini ve aynı zamanda bu toprak-su özelliklerinden kaynaklanan sürekli fonksiyonları tahmin etmişlerdir.

Clapp and Hornberger (1978), farklı tekstür sınıfları için su tutma eğrisi, sorptivite ve doymuş hidrolik iletkenlik parametreleri için ortalama değerleri elde etmişlerdir. ABD’de 1979’da Gupta and Larson -4 kPa ile 1500 kPa arasındaki potansiyeldeki su içeriği için parçacık büyüklüğü dağılımı ve organik madde içeriği ile ilgili 12 fonksiyon geliştirmişlerdir.

Hidrolik modellerin (van Genuchten 1980) ve toprak-su ve çözücü taşınımı bilgisayar modellerinin (De Wit and van Keulen 1975) gelişmesi ile bu modeller için girdi olarak hidrolik özelliklere olan ihtiyaç daha belirgin hale gelmiştir. Clapp and Hornberger (1978) farklı tekstür sınıfları için su tutma eğrisi, sorptivite ve doymuş hidrolik iletkenlik parametreleri için ortalama değerler türetmişlerdir.

İlk kez Almanya’da Lamp and Kneib (1981) tarafından pedofonksiyonları terimi kullanılmış, daha sonra Bauma and Lanen (1986) tarafından transfer fonksiyonları terimi kullanılmıştır. Bauma and Lanen (1987) tarafından ise tekstür, hacim ağırlığı, organik madde gibi temel toprak özelliklerinden, toprak hidrolik özelliğinin çıkarılması için bazı fonksiyonlar kullanılmıştır. Bauma 1989’da toprak fiziği dışında kullanılan terimler ile olabilecek karışıklığı önlemek için bu fonksiyonları pedotransfer fonksiyonları olarak adlandırmıştır.

Daha sonra, hidrolik PTF'lerin gelişimi çoğunlukla ABD ve Avrupa'da patlayan bir teknoloji haline gelmiştir. Bu tür araştırmaların sonuçları ABD (Rawls *et al.* 1982), İngiltere (Mayr and Jarvis 1999), Hollanda (Wösten *et al.* 1995) ve Almanya (Scheinost *et al.* 1997b) dâhil olmak üzere yaygın olarak rapor edilmiştir. Hidrolojik analizler için genel olarak kullanılan eşitlikler Rawls *et al.* (1991) ve Hillel (1998) çalışmalarında özetlenmiştir.

Literatürde çeşitli bilim insanları (örneğin, Minasny *et al.* 1999) toprağın su tutma özellikleri için PTF'lerin geliştirilmesinde farklı yaklaşımlar arasında bir karşılaştırma yapmışlardır. Örneğin, Minasny *et al.* (1999) PTF'leri üç gruba ayırmıştır.

- 1- Tahmin işareti - toprak su tutma eğrisinden belirli noktalar tahmin edebilir (örneğin, tarla kapasitesi, sürekli solma noktası gibi)
- 2- Parametrik tahmin - hacimsel toprak su içeriği (θ) ve basınç yükü (h) arasındaki ilişki kapalı form denklemi ile açıklanır,
- 3- Fiziko-ampirik modeller - toprağın su tutma eğrisi fiziksel özelliklerden türetilmiştir.

Ayrıca, Minasny *et al.* (1999) toprağın su tutma eğrisi için PTF'leri kullanan üç farklı metot belirtmiştir. Bu yöntemler; çoklu doğrusal regresyon, genişletilmiş doğrusal olmayan regresyon ve yapay sinir ağlarıdır.

Oosterban and Nijland (1994)'a göre optimum bir ölçüm tekniği henüz mevcut olmayıp ve ölçümlerin çoğu araştırmacıların becerisine bağlı kalmıştır. Ingelmo *et al.* (2011) ise bu tarihten günümüze kadar hidrolik iletkenliğe daha kolay izin veren toprakların niteliksel olarak sınıflandırılması için çeşitli modeller geliştirildiğini bildirmiştir. Ayrıca toprak hidrolik parametrelerinin hem düşey hem yatay yönde güçlü bir değişkenlik ile karakterize edilebilmesi en fazla 10 farklı alanda yapılabilir. Bu nedenle bir alanın hidrolik özelliklerini uygun bir şekilde tanımlamak için çok sayıda veri gereklidir. Bu gerçeklerden dolayı, son 10 yıldır toprak hidrolik parametrelerini tahmin etmek için yöntemler geliştiren birçok çalışma yapılmıştır (Baroni *et al.* 2009). Genel olarak bu yöntemler iki kategoriye ayrılabilir;

1- ölçüm teknikleri

2-tahmin yöntemleri (Haverkamp *et al.* 2006)

Ölçüm teknikleri laboratuvar veya arazi tabanlı olarak kategorize edilebilen kesin deneysel prosedürlere dayanır. Laboratuvar metotları akış süreçlerinin doğru ölçümlerine dayanır, fakat genellikle küçük toprak örneklerinde uygulanır ve sonuçlarının arazi koşullarını temsil ettiği sorgulanabilir. Ayrıca çakıl, boşluk, kırıklar, çatlaklar ve kök kanallarını küçük ölçekli laboratuvar örneklerinde yakalamak zordur. Arazi teknikleri yönetmek ve kontrol etmek için daha zordur ancak toprak hidrolik özelliklerini daha iyi temsil etme gibi tahmin avantajları vardır.

Bu alandaki ilerlemelere rağmen ölçüm tekniklerinin özellikle büyük alanlar için veri gerekli olduğunda zaman alıcı ve pahalı olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Wösten *et al.* 2001). Bu nedenle, mevcut bilgi miktarının sınırlı olduğu alanlarda toprak hidrolik özelliklerini tahmin etmek için güvenilir yöntemlerin tanımlanması önemli bir husustur. Bu, tekstürel toprak özelliği ve hacim ağırlığı gibi kolay elde edilebilir toprak verilerine dayanan ampirik ilişkiler ile toprak hidrolik parametrelerinin tahminine yönelik birçok girişimi açıklar. Lin *et al.* (1999)'a göre toprak bilimcileri özellikle doygun hidrolik iletkenlik ile ilgili bir dizi nitel yargılar yapmak için morfolojik özellikleri başarı ile kullanmıştır (O'Neal 1949, King and Franzmeier 1981, McKeague *et al.* 1982, Coen and Wang 1989, Soil Survey Division Staff 1993).

Krogh (2000) tarafından katyon değişim kapasitesindeki değişkenlik için kil ve organik madde içeriği kullanılmıştır. Wagner *et al.* (2002)'de geliştirilen PTF'ler ile toprak nem içeriği %93'lük bir determinasyon katsayısı ile tahmin edilmiştir. Jarwis ve arkadaşları da, aynı yıl tarıma elverişli topraklarda tarıma elverişli olmayan topraklara göre determinasyon katsayısını %15'ten % 35'e yükselterek daha doğru sonuçlar elde etmişlerdir. Tomessla *et al.* (2000), Brezilya topraklarının nem eğrisini tahmin etmek için PTF'leri kullanmışlar ve diğer genel fonksiyonlarla karşılaştırıldığında, geliştirilen fonksiyonların minimum hata verdiğini göstermişlerdir. Rawls ve Pachepsky (2000) yaptıkları çalışmada PTF kullanımı ile ilgili olarak aşağıdaki önemli bazı konuları açıklamışlardır:

- 1-Pedotransfer fonksiyonlarında öncelikle toprak özelliklerinin kullanıldığı,
- 2- Toprak özelliklerinin önemi ve fonksiyonların güvenilirliğini nasıl artırdığı,
- 3- Pedotransfer fonksiyonlarında kullanılan toprak bilgilerinin farklı düzeyleri,
- 4- Fonksiyonları geliştirmek için kullanılan yaklaşımların güvenilirliği,
- 5-Taksonomi ünitesi, toprak nem rejimi, toprak bünye sınıfı ve toprak yapısına göre gruplanan fonksiyonların etkinliği,
- 6-Pedotransfer fonksiyonlarının farklı kullanımları ve uygulanmaları.

Çoğu PTF'ler toprak hidrolik özelliklerini tahmin etmek için geliştirilmiş olmasına rağmen, bunlar hidrolik özellikler ile sınırlı değildir. Toprak fiziksel, mekanik, kimyasal ve biyolojik özelliklerini tahmin etmek için de PTF'ler geliştirilmiştir (Çizelge 2.8).

Çizelge 2. 8 Pedotransfer fonksiyonu örnekleri (Minasny 2007)

Tahmin edilen özellikler	Tahmin edici özellikler	Yazarlar
Fiziksel özellikler		
Belirli bir periyottan sonra infiltrasyon hızı	Başlangıç su içeriği, Nem eksikliği, Toplam gözeneklilik, Hidrolik iletkenlik	Canarache <i>et al.</i> (1968)
Toprak termal iletkenliği	Tekstür, Organik madde, Su içeriği	De Vries (1966) Hubrechts and Feyen (1996)
Hacim ağırlığı	Parçacık boyutu dağılımı	Rawls (1983)
Gaz dağılımı	Hava dolu gözenekler (-10 kPa)	Moldrup <i>et al.</i> (2000)
Mekanik özellikler		
Toprak Mekanik direnci	Organik karbon içeriği Kil içeriği Hacim ağırlığı	Mirreh and Ketcheson (1972), Silva and Kay (1997)
Toprak büzülme eğrisi	Kil içeriği	Crescimanno and Provenzano (1999)
Hacimsel büzülme, Likit limit, Plastiklik limiti, Plastiklik indeksi	Organik madde içeriği, Kil içeriği, KDK	Mbagwu and Abeh (1998)
Aşırı konsolidasyon derecesi	Hacim ağırlığı, Boşluk oranı	McBride and Joose (1996)
Yapısal değişim oranı	Organik madde içeriği, Kil içeriği, pH	Rasiah and Kay (1994)
Toprak erodibilite faktörü	Parçacık büyüklüğü geometrik ortalaması, Kil ve organik madde içeriği	Torri <i>et al.</i> (1997)
Kimyasal özellikler		
KDK	Kil içeriği, Organik madde içeriği	Bell and van Keulen (1995), Curtin and Rostad (1997)
Kritik P seviyesi P tampon katsayısı	Kil içeriği	Cox (1994), Chen <i>et al.</i> (1997)
Toprak organik maddesi	Toprak rengi	Fernandez <i>et al.</i> (1988)
P sorpsiyonu	pH (NaF)	Gilkes and Hughes (1994)
pH tamponlama kapasitesi	Organik madde içeriği, Kil içeriği	Helyar <i>et al.</i> (1990), Noble <i>et al.</i> (1997), Curtin and Rostad (1997)
Al doyunluğu	Baz doyunluğu, Organik karbon içeriği, pH	Jones (1984)
P doyunluğu	Ekstrakte P ve Al	Kleinman <i>et al.</i> (1999)
K/Ca değişimi	Kil içeriği, Ekstrakte edilebilir K	Scheinost <i>et al.</i> (1997a)
Azot Mineralizasyon Parametreleri	KDK, Toplam Azot, Organik karbon içeriği, Silt ve kil içeriği	Rasiah (1995)
As ve Cd sorpsiyonu	Kil içeriği, pH, Organik karbon içeriği, Ditionit ekstrakte edilebilir Fe	Schug <i>et al.</i> (1999)
P adsorpsiyonu	Kil içeriği, pH, Toprak rengi	Sheinost and Schwertmann (1995)
Cd sorpsiyonu katsayısı	Kil içeriği, Organik karbon içeriği, pH	Springob <i>et al.</i> (1998)
Hematit içeriği	Toprak rengi	Torrent <i>et al.</i> (1983)

Pedotransfer fonksiyonları toprak bilimi ve çevre araştırmaları alanında 'Sıcak Konu (White-Hot)' başlıklı bir konu haline gelmiştir. Mevcut çoğu PTF araştırmaları yalnızca farklı coğrafik alanlar ve toprak tiplerinde yer alan toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerini tahmin etmek için yeni fonksiyonların geliştirilmesi üzerinde dururken aynı zamanda bu PTF'leri harmanlamak ve kullanmak içinde çaba sarf etmektedir (McBratney *et al.* 2002).

Dashtaki ve Homae (2004), toprak nem içeriğini tahmin etmek için bir PTF geliştirerek, toprak parçacık büyüklüğü ve toprak özgül ağırlılığının uygun parametreler olduğunu göstermişlerdir. Haung ve Zhang (2005) toprak nem eğrisini tahmin etmek için PTF'leri geliştirmede kolay ölçülebilen toprak özelliği olarak toprak parçacık büyüklüğünü kullanmışlardır.

Pachepsky *et al.* (2006) toprak yapısı ve hidrolik parametreleri ile bir PTF örneği geliştirmek için -33 kPa su içeriğine sahip, yapı sınıfı, derece, şekil ve büyüklük olarak ve tekstür sınıfı arazi ve laboratuvarında belirlenen 2149 toprak örneğini gruplamak için regresyon ağaçları sınıflamasını kullanmışlardır. Çalışmada, kil sınıfı en iyi grup oluşturan parametre olmuş, yapısal parametreler önemli gruplama değişkenleri olarak yer almıştır. Değişik ölçeklerdeki toprak yapısı tanımları ve miktarlarının ilgili PTF'ler için katkı sağlayabileceği sonucuna varılmıştır.

Stumpp *et al.* (2009), Alpin topraklarında yaptıkları çalışmada iki tip PTF'nin doğruluk ve uygulanabilirliğini değerlendirmişlerdir. Çalışmada birinci model olarak yapay sinir ağlarına dayanan ROSETTA kullanılmıştır. Model, daha geniş girdi verisi kullanarak beş hiyerarşik PTF sağlar. İkinci model, parçacık büyüklüğü dağılımı ve hacim ağırlılığından hidrolik iletkenliği tahmin eden ve fiziksel metotlara dayanan SOILPROP modelidir. Doygun iletkenlik değerleri literatürdeki değerler ile karşılaştırılmış ve fonksiyonel değerlendirmeler modelin doğruluğunu göstermiştir.

Dashtaki *et al.* (2010), İran'da Karaj ve Naghade ovalarında farklı parçacık büyüklüğüne sahip 234 toprak örneği ile toprak parçacık büyüklüğü dağılımı yerine parçacık yarıçaplarının geometrik ortalama ve standart sapma değerlerini kullanarak bir PTF türetme olasılığını araştırmışlardır. Belirleyici değişkenler iki gruba ayrılmıştır.

Bunlar;

1-parçacık büyüklüğü dağılımı ve hacim ağırlığı

2-hacim ağırlığı, parçacık-yarıçapı geometrik ortalaması ve standart sapma değerleridir.

Dashtaki *et al.* (2010) çalışmalarında su tutma eğrisi üzerinde altı nokta ve van Genuchten modeli parametreleri tahmini için stepwise regresyon metodu kullanılarak iki nokta PTF ve iki parametrelili PTF formu geliştirmişlerdir. Türetilen PTF ile Rosetta paketi (Schaap *et al.* 2001) karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, ikinci setteki değişkenlerin van Genuchten α ve Θ_s parametrelerindeki değişimin sırasıyla %65 ve %90'ını sağladığını göstermiştir. Ayrıca, su tutma eğrisinden parçacık yarıçapı geometrik ortalama ve standart sapma değerlerinin su içeriğini hacim ağırlığından daha iyi tahmin ettiği sonucuna varılmıştır.

Vizitiu *et al.* (2012), toprağın fiziksel kalitesini değerlendirmek için toprak kalitesi indeks değerini (S) kullanmışlardır. Değerlendirilen S indeks değeri, toprakların birçok fiziksel özelliklerini kontrol eden toprak yapısının bir ölçümüdür. Araştırmacılar Arya-Paris modelini kullandıktan sonra toprağın su tutma özelliklerini tanımlayan van Genuchten eşitliğinden parametreleri elde etmek için S indeksini hesaplamışlardır. Aynı araştırmacılar ayrıca toplam 1923 Romanya toprak horizonu ile yaptıkları çalışmanın sonucunda bağımsız veri değişkenleri olarak alınan kil içeriği ve kuru hacim ağırlığı gibi temel toprak özelliklerinden tek bir eşitlik çıkarmışlardır. Bu eşitlik ile S indeks değerinin ($R^2 = 0.41$; $p < 0.0001$) tahmin edilebileceği gösterilmiştir. Yazarlar, PTF'ler kolayca ölçülüp elde edilebilen verileri olmayan tarımsal arazilerin fiziksel kalitelerinin farklı yönlerinin araştırılması için kullanışlı bir çözüm olduğunu vurgulamışlardır.

PTF'lerin kullanıldığı birçok çalışma (Hodnett and Tomasella 2002, Minasny *et al.* 1999, Minasny and McBratney 2000, Rajkai *et al.* 1996, Wagner *et al.* 2001, Wösten *et al.* 1995,1999 ve Wösten 1997) yapılmıştır. Bu çalışmaların önerisine göre, doymun hidroluk iletkenluk değeriinin ölçülmesi ve giriş verisi olarak kullanılması ile doymun olmayan hidroluk iletkenluk tahmininin yapılması iyi bir çalışmadır (Vizitiu 2012).

Bayat *et al.* (2013) belirleyici özellikler olarak fraktal parametreleri ve parçacık büyüklüğü dağılımı eğrisi parametrelerini kullanarak, yapay sinir ağları metodu ile toprak özgül yüzey alanını tahmin etmişler, özgül yüzey alanı ve toplam yüzey alanı tahmini için PTF'ler geliştirmişlerdir. Çalışma sonucunda fraktal parametreler ve parçacık büyüklüğü dağılımı eğrisi parametrelerinin özgül yüzey alanı tahmininde başarılı bir şekilde kullanılabileceği bildirilmiştir.

Yakupoğlu vd. (2013) bazı temel toprak fiziksel özellikleri ve nem sabitelerini kullanarak pedotransfer eşitliklerinin yardımıyla toprakta doymun koşullardaki dikey hidroluk iletkenluk değeri (K_s) tahmin etmişlerdir. Kahramanmaraş-Narlı Ovası'ndan alınan 25 adet yüzey toprak örneği (0-15 cm) ile yapılan çalışmada çoklu lineer regresyon yöntemi kullanılarak K_s 'i tahmin etmek için PTF'ler oluşturulmuş ve en yüksek R^2 değeri 0.846 olarak elde edilmiştir. Buna göre bölgede K_s değerlerinin tahmin edilmesinde geliştirilen pedotransfer modellerinin kullanılabileceği belirtilmiştir. Pedotransfer fonksiyonlarının son zamanlardaki sonuçları (Pachepsky and Rawls 2005) hidroluk analizler için alışlageldik şekilde mevcut olmanın ötesinde girdi gereksinimi nedeni ile hazır şekilde uygulanamayan modern eşitliklere bir örnektirler (Saxton and Rawls 2006).

2.5.2 PTF'lerin sınıflandırılması

PTF'ler sınıf ve sürekli PTF'ler (Wösten *et al.* 1995) olarak sınıflandırılabilir.

2.5.2.1 Sınıf PTF'ler

Sınıf PTF'ler, toprak tekstür sınıfından toprak özelliklerini tahmin eder. Her tekstür sınıfı için ortalama bir su tutma eğrisi veya su potansiyelinden ortalama su içeriğinin elde edilmesini sağlar (Nemes 2002, Bruand *et al.* 2003, Al Majou *et al.* 2008b). Sınıf PTF'ler yalnızca toprak tekstürünün bilinmesini gerektirdikleri için kolay kullanılan ve ucuz PTF tipi olarak tanımlanmışlardır. Ancak tek bir tekstürel sınıf içerisinde dahi dikkate değer oranda farklılıklar olmasına rağmen, bu yaklaşım her bir tekstürel sınıf için yalnızca tek bir ortalama hidrolik karakteristik sağladığından dolayı kullanımı sınırlıdır (Hodnett and Tomasella 2002).

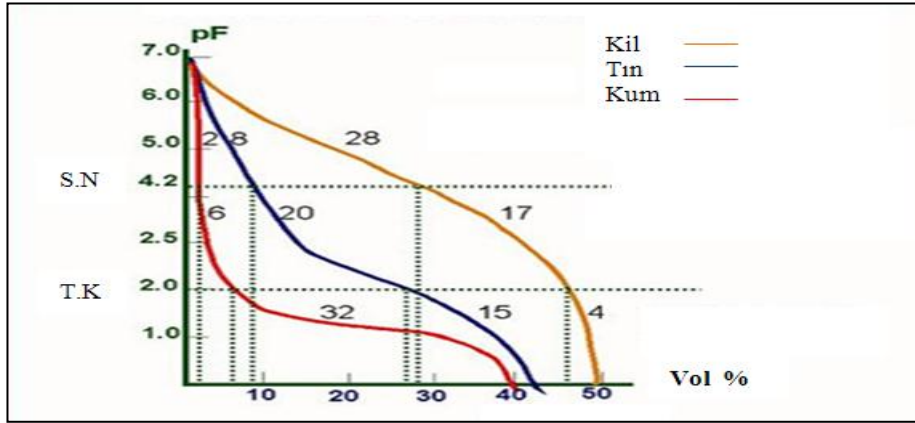
2.5.2.2 Sürekli PTF'ler

Dashtaki *et al.* (2010)'a göre sürekli PTF'ler, bir veya daha fazla ölçülen değişkenlerin sürekli fonksiyonları olarak toprak özelliklerini tahmin eder. Böylece özel bir su potansiyelinde su tutma eğrisi (Rawls *et al.* 2004, Al Majou *et al.* 2008a) veya su tutma eğrisinin model parametreleri tahmin edilir (Vereecken *et al.* 1989, Bruand *et al.* 1994, Leenhardt 1995, Minasny *et al.* 1999, Wösten *et al.* 2001, Cresswell *et al.* 2006, Tranter *et al.* 2007).

Sürekli PTF'ler toprak hidrolik özelliklerini diğer hazır kullanılabilir verilerden tahmin için kullanılmaktadır. Wösten *et al.* (1995), dolaylı yöntemlerin kullanıldığı veri bankaları yalnızca doğrudan yöntemlerle elde edilen verileri kapsadığı için PTF gibi dolaylı yöntemlerin, doğrudan metotlar (arazi örnekleme/laboratuvar ölçümleri gibi) olmadan var olamayacağını açıklamıştır. Bu ise, geniş alanlarda toprak hidrolik özelliklerinin elde edilmesinde ampirik yöntemlerden daha çok fiziksel temelli yöntemlerin geliştirilmesi için güçlü bir tartışma noktasıdır.

Ancak bu çalışmalar hala gelişimin erken aşamasında kalmıştır. Mineraloji normalde PTF'lerde dikkate alınmadığından önerilen üçüncü olası yöntem 'toprak sınıfı' PTF'sidir. Toprak yapısının, mineralojisinin ve tekstürünün toprakların bütününden daha dar aralıklı olması beklendiğinden, büyük bir toprak sınıfı veya grubu içinde bir toprak sınıfı için PTF'ler türetilir (Hodnett and Tomasella 2002).

PTF'ler ayrıca tek nokta regresyonu ve parametrik veya fiziko-ampirik fonksiyonlar olarak tanımlanabilirler. Tek nokta PTF'ler, su tutma eğrisi üzerinde belli bir noktadaki su içeriğini tahmin eder. Parametrik PTF'ler, van Genuchten modelinin bağımlı değişken (y) ve kolayca elde edilebilen değişken olarak bağımsız toprak özelliği (x) parametrelerini tahmin eder (Dashtaki 2010) (Şekil 2.42).



Şekil 2.42 Toprak su tutma eğrisi

McKenzie ve Jacquier (1997) tekstür sınıfı, yapısal sınıf, bölgesel gözeneklilik gibi toprağın morfolojik sınıflarından doygun hidrolik iletkenliğin tahmininde bir regresyon ağacı kullanmışlardır. Bu çalışmada tahmin eden değişkenler zor sınıf, tahmin edilen değişken ise sürekli PTF'dir.

Pachepsky and Rawls (1999), girdi olarak toprak taksonomi birimi, toprak nem rejimi, toprak sıcaklık rejimi ve tekstür sınıfına dayanan toprak gruplaması ile temel toprak özelliklerini kullanmışlardır. Bu veriler ile -33 ve -1500 kPa'da su içeriğini tahmin etmişlerdir. Bu çalışmada tahmin eden değişkenler zor ve sürekli sınıf, tahmin edilen değişken ise sürekli PTF'dir.

2.5.3 PTF'lerin kullanımı

Doygun hidrolik iletkenliğin belirlenmesi çok emek ve zaman alıcıdır, çünkü bir çok değişkenliği temsil etmek için çok sayıda ölçüm gereklidir. Bu nedenle daha kolay ölçülebilen gözeneklilik ve tekstür gibi diğer özelliklere dayanan dolaylı yöntemler tercih edilir (Ahuja *et al.* 1989). Bu amaçla doymuş hidrolik iletkenliği tahmin etmek için deneysel veya fiziksel analizlere dayalı ilişkiler geliştirilmektedir.

Ingelmo *et al.* (2011)'a göre tahmin modelleri genellikle fazla miktarda veri ve laboratuvar çalışmaları gerektirdiği için uygulanabilirliği genelde düşüktür. Bunu önlemek için, toprakların morfolojik özelliklerinin uzman değerlendirmesine dayanan nitel modelleri K_s modellemesi için bir alternatif olabilir. Pahalı ölçümler ve kalabalık veri tabanları nedeniyle, PTF'lerin gelişimindeki en kapsamlı araştırmalar su tutma eğrisi ve hidrolik iletkenliğin tahmini için olmuştur. Topraktaki su hareketi ve toprakta çözünen maddelerin taşınması ile ilgili çalışmalarda bu özellikler önemli değişkenlerdir. Ancak hidrolik özellikleri ölçmede laboratuvar deneyleri zaman alıcı ve pahalıdır. Bu nedenle PTF'lerin su tutma ve hidrolik iletkenlik fonksiyonlarının tahmininde kullanımları artmıştır (Stumpp *et al.* 2009).

Pedotransfer uygulamalarında veya dolaylı metotların kullanımında 3 farklı tip PTF kullanılır.

1-Bir toprak modeli yapısına dayanarak hidrolik özellik tahmini

Parçacık büyüklüğü dağılımı, hacim ağırlığı ve parçacık yoğunluğu bilgilerinden su tutma tahmini için modeller kullanılmıştır. Bu tür modelde, önce parçacık büyüklüğü dağılımı bir gözenek büyüklüğü dağılımı eşitliğine çevrilir. Modelde su tutma eğrisi ve birikimli parçacık büyüklüğü dağılımı arasındaki eğimin benzerliği kullanılır. Arya ve Paris modelinde kumlu topraklar için ölçülen verilerle su tutma özelliği tahmin edilmiştir. Ancak kumlu ve killi topraklar için ölçümler ve tahminler arası benzerlik iyi değildir (Wösten *et al.* 2001).

Eğer bir noktada hidrolik iletkenlik özellikleri ölçülmüşse su tutma özelliğinden benzer yolla bütün hidrolik iletkenlik özellikleri tahmin edilebilir. Bu uygulamada ölçülen su tutma eğrisi analitik bir fonksiyonla tanımlanır. Buna dayanarak, silindirik toprak gözenekleri sayesinde suyun akışı varsayılarak bir hidrolik iletkenlik fonksiyonunun tahmini için kullanılan bir gözenek boyutu dağılımı elde edilir. Gözenek büyüklüğü dağılımı modellerine dayanan hidrolik iletkenlik özelliklerinin tahmini, bir gözenek yarıçapı, gözenek bağlantısı ve değişimleri gibi faktörleri içerir (Wösten *et al.* 2001).

2-Su tutma özelliğinin nokta tahmini

Arazi çalışmalarında su tutma ölçümleri zaman alıcı, ayrıntılı ve uygulanır olmadığından alternatif olarak PTF kullanımı ile daha kolay ölçülebilen toprak özelliklerinden toprak hidrolik özellikleri ölçülmüştür (Stump *et al.* 2009). Diğer araştırmacılar, su tutma eğrisinin tahmini için PTF'leri değerlendirmişlerdir (Tietje and Hennings 1993, Tietje and Tapkenhinrichs 1992).

PTF'lerin ilk oluşumları regresyon eşitliğidir, su tutma özelliğinin başlıca ilgili özel noktalarını tahmin eder (Gupta and Larson 1979, Rawls *et al.* 1982, Ahuja *et al.* 1985):

$$\theta_h = a.kum + b.silt + c.kil + d.organik\ madde + e.hacim\ yoğunluğu + \dots + x.değişkenX$$

a,b,c,d,e: regresyon katsayıları

θ_h : h basıncındaki su içeriği

X: Kolay ölçülebilen toprak özelliklerini temsil eder.

Yöntemin avantajları; Su tutma eğrisi boyunca oldukça doğru tahminler yapılabilir. İlgili toprak özellikleri ışığında bir "h" basıncındaki toprak su içeriği tahminini verir.

Yöntemin dezavantajları; Toprak su tutma özelliğini ölçmek için çok miktarda regresyon eşitliği gerekir ve sonuçlar tablo olarak verilir. Benzer modellerde hidrolik özelliklerin verimini engelleyebilir (Wösten *et al.* 2001).

3-Hidrolik özelliklerin tanımında kullanılan tahmin parametreleri

Bu tip, ikinci tipin tersine, tekstür, yapı, organik madde içeriği gibi toprak özelliklerinden, hidrolik ve kimyasal özellikler gibi toprak özelliklerine dönüşebilen fonksiyonel ilişkilerdir. Bu tip, tamamen θ , h ve K değerlerini tanımlayan modellerdeki parametreleri tahmin eder. Bu uygulama, benzer modellerde sonuçların doğrudan uygulanabilmesi açısından nokta tahmininden daha basittir (Wösten *et al.* 2001).

2.5.4 Pedotransfer Fonksiyonları kullanımında temel sorunlar

Wösten *et al.* (2002)'a göre PTF'lerin geliştirilmesinin kolayca açıklanması için cevaplanması gereken birkaç temel soru vardır;

- PTF'lerin doğruluğu ve güvenilirliği nasıl sayısallaştırılabilir?
- PTF'lerin diğer kaynaklarla olan ilişkilerinde doğruluk ve güvenilirlik nedir?
- Bir PTF'nin değerlendirilmesinde en çok uygulanan teknikler nelerdir?
- Bir PTF'de gerekli olan veya daha uygun olan değişken girdiler nedir?

PTF'lerin geliştirilmesinin açıklanması için bu soruların cevaplandırılması önemlidir.

PTF'lerin performansı iyi kalibrasyon ve değerlendirme için kullanılan verilerin hassasiyetine bağlıdır (Scaap and Leij 1998b). Bütün PTF'ler yüksek derecede ampirikliğe sahip olup çoğu zaman basit doğrusal regresyon eşitlikleri kullanırlar ve mevcut toprak hidrolik verilerine dayalı olarak kalibre edilmiş model parametrelerini içerirler. Bir PTF, tekstür sınıfına göre hidrolik özellikler veren bir çizelge kadar basit olabilir (Carsel and Parrish 1998, Wösten *et al.* 1995) veya doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon eşitlikleri içerebilir (Rawls and Brakensiek 1985, Minasny *et al.* 1999, Gupta and Larson 1979, Rawls *et al.* 1982, Vereecken *et al.* 1989 ve 1990).

Pedotransfer fonksiyonları üzerine araştırmalar hidroloji ve pedoloji arasında köprü oluşturur. Pachepsky *et al.*(2006)'a göre toprak ve su arasında daha fazla bilgi olabilir ve yapılmalıdır. Pedotransfer fonksiyonlarının kullanımı ilerledikçe gözlenen bazı problemler ifade edilmiştir. İlk olarak, PTF'lerin doğruluğu potansiyel olarak kullanışlı tahmin edicilerin ilave edilmesine ve yapay zeka ve makine öğrenimi ile verilerin sofistike araçlarının kullanmasına rağmen sınırlı kalmıştır.

İkinci olarak, PTF'lerin uygulanabilirliği sınırlı kalmıştır; Bir bölge veya bir veriden geliştirilen PTF'lerin diğer koşullara uygulanabilirliği sınırlıdır (Williams *et al.* 1992, Tietje and Tapkenhinrichs 1993, Kern 1995, Wösten *et al.* 2001). Ayrıca, toprak yapısının etkisini dikkate alan pedotransfer fonksiyonları türetilmesinde daha fazla çabanın yönlendirilmesi önerilmiştir (Merdun and Quisenberry 2004, Pachepsky *et al.* 2006).

2.5.5 Pedotransfer fonksiyonlarında kullanılan toprak özellikleri

Topraktaki çeşitli kimyasalların ve suyun tutulması, taşınımı gibi olaylar toprak özelliklerince etkilenir. Çizelge 2.9’da verilen ve Pedotransfer fonksiyonlarda girdi olarak kullanılan bazı toprak özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Parçacık büyüklük dağılımı
- Tekstür
- Gözeneklilik
- Mineralojik özellikler
- Organik madde/organik karbon içeriği
- Kimyasal özellikler
- Arazi durumu
- Mekanik özellikler
- Toprak yapısı ve morfolojisi

Çizelge 2. 9 Pedotransfer Fonksiyonlarda kullanılan toprak özellikleri (Wösten *et al.* 2001).

Parçacık boyutu	Hidrolik özellikler	Morfolojik özellikler	Kimyasal ve Mineralojik özellikler	Mekanik özellikler
Kum, Silt, Kil	Su içeriği		Organik karbon	Direnç
İnce kum	-33 kPa	Gözeneklilik	Organik madde	Direnç
Çok kaba kum	-1500 kPa	Horizon	KDK	
Ortalama parçacık boyutu	Referans nem tutma eğrisi	Yapı; Derece Büyüklik Şekil	Kil tipi	
Suya dayanıklı agregatlar		Renk	CaCO ₃	
		Kıvam	Demir	
		Agregat oluşturabilme		

Toprak parçacık büyüklük dağılımı

Parçacık büyüklüğü dağılımı hemen hemen her PTF’de kullanılır. Oldukça farklı uluslararası parçacık büyüklüğü sınıflaması vardır. Bunun sonucu olarak PTF’lerde kullanılan tekstürel sınıflamalarda önemli farklılıklar bulunmaktadır. Ancak en genel uygulamalar kil, silt ve kum içeriklerinin kullanılmasındır (MacLean and Yager 1972, Pachepsky *et al.* 1982a, Rajkai and Varallyay 1992, Williams *et al.* 1992, Shein *et al.* 1995, Wösten *et al.* 1990).

Parçacık boyutu dağılımını tanımlamak için, geniş tekstür aralığında medyan çapının bulunması yararlıdır (Bloemen 1980, Campwell 1985). Minasny *et al.* (1990) ve Scheinost *et al.* (1997). Bazı araştırmacılar toprak suyu tutulmasını tahmin etmek için geometrik standart sapma ile birlikte medyan çapını kullanmışlardır. Mishra *et al.* (1989), doymun hidrolik iletkenliğin tahmininde aynı yolu kullanmışlardır. Parçacık boyutu dağılımını kullanmak için, geniş bir çap aralığındaki yaklaşık parçacık boyutu dağılımına veya tüm dağılıma uygun fonksiyonlar olması istenir. Bu durum, tekstürel parçacık boyutu dağılımı sınırlı bir sayıda tanımlandığında (Zeiliguar *et al.* 2000) veya veriler farklı oranlardaki çap aralıkları ile farklı kaynaklardan geldiğinde (Nemes *et al.* 1999) gereklidir.

Toprak Tekstürü (Bünye)

Tekstürün kumlu topraklarda doymun hidrolik iletkenlik için tek başına iyi bir tahminci olduğu rapor edilmiştir (Jaynes and Tyler 1984, El-Kadi 1985b). Puckett *et al.* (1985) ise killi toprakların kumlu topraklara göre doymun hidrolik iletkenlik ile ilgili önemli bir tekstür parametresi olduğunu bildirmiştir.

Porozite veya hacim ağırlığı

Porozite ve hacim ağırlığı, Rawls *et al.* (1982, 1983), Aina and Periaswamy (1985), Rajkai and Varallyay (1992), Bruand *et al.* (1996) ve Wösten *et al.* (1999) tarafından geliştirilen PTF’lerde önemli bir değişkendir.

Su tutma özelliği

Ahuja *et al.* (1985), De Jong (1983), Rawls *et al.* (1982) ve Paydar and Cresswell (1996) yaptıkları çalışmalarda, toprağın su tutma tahmini için su tutma eğrisi üzerindeki iki noktayı kullanarak PTF'ler geliştirilmiştir.

Mineralojik zellikler

Tessier (1984) ve Tessier *et al.* (1992), saf killerin su tutma özellikleri ile ilgili yaptıkları çalışmada, belirli bir su potansiyeli ile kil minerali tiplerinin çok yakın ilişkili olduklarını göstermişlerdir. Ayrıca yazarlar, kaolinit, illit ve montmorillonitin su tutumu arasındaki farkların *h* ile azaldığını belirtmişlerdir. Ali ve Biswas (1968), Montmorillonit ve illitin su tutumunun -1500 kPa'da büyük olmadığını (yaklaşık %9) ancak -10 kPa tansiyonda %24 olduğunu göstermiştir. Bruand and Zimmer (1992), killi toprakların su tutma özelliği konusunda çalışmış ve kil mineraloji ve stres tarihini karşılaştırmışlardır. Baumer and Brasher (1982) ise toprak suyu tutulması tahmininde mineralojik kompozisyonun önemli bir grupta kriteri olduğunu önermişlerdir.

Organik madde ve Karbon içeriği

PTF girdisi olarak Rawls *et al.* (1982, 1983) ve Wösten *et al.* (1999) tarafından başarılı bir şekilde kullanılmıştır.

Kimyasal zellikler

Demiroksit gibi kimyasal özellikler, toprakta su tutulmasını etkileyen baskın özelliklerdir. Rajkai and Varallyay (1992), -1500 kPa basınçta tutulan suyun tahmininde, CaCO₃ içeriğinin ikinci derecede önemli bir PTF girdisi olduğunu bulmuşlardır.

Arazi durumu

Rhodenburg *et al.* (1986) ve Bork (1988) tarafından, temel toprak özellikleri ile birlikte PTF'lerde topoğrafik değişkenlerin de kullanılması önerilmiştir. Pachepsky *et al.* (2001a), 30x30 m'lik parsellerde su tutma eğrisi ile eğim arasında iyi bir ilişki olduğunu göstermişlerdir.

Mekanik özellikler

Doğrusal genişletilebilirlik katsayısı (COLE indeksi) olarak tanımlanan mekanik özellikler ve şişme-büzülme parametreleri, hem K_s (McKenzie *et al.* 1991) hem de su tutulması (Baumer 1992, Pachepsky *et al.* 1998) tahmini için kullanılmıştır.

Toprak yapısı ve Morfolojisi

Toprak morfolojik özellikleri PTF'lerin elde edilmesinde genellikle yararlı özelliklerdir (Williams *et al.* 1992). Topraktaki boşlukların genişlik ve uzunluğunun detaylı bir sayımı ile Anderson and Bouma (1973) toprak çatlaklarından akış için Kozeny-Carman eşitliğini kullanarak siltli kum toprakların argilic horizonunda hidrolik iletkenliğini hesaplamışlardır.

Toprak Yönetimi

Su tutma eğrisinin tarımsal işlemlerden (toprak işleme, hasat, vs) etkilenmesi , hidrolik iletkenlikteki değişimler için bir göstergedir. Zirai işlemler ile bir toprağın tipik tek modlu (unimodal) parçacık büyüklüğü dağılımı ile hacim ağırlığı artırılırsa, doymun hidrolik özelliği 2-5 kez azalacaktır. Diğer yandan, zirai işlemler, özellikle tek modlu bir dağılım ile bir toprakta iki modlu (bimodal) bir parçacık büyüklüğü dağılımı oluşturur ki, bu durumda hem K_s hem de doymunlukla ilgili su tutmanın artacağı beklenir (Klute 1982).

2.5.6 Pedotransfer fonksiyonlarının oluşturulmasında kullanılan yöntemler

İdeal olarak, toprak hidrolik parametrelerini laboratuvarında veya arazide ölçmek en iyisidir, böylece uzaysal ve zamansal değişkenlik başarılı bir şekilde karakterize edilebilir. Ancak bu zor bir iştir ve nadiren gerçekleştirilir, çünkü bu gibi ölçümler için önemli finansal yatırımlar ve zaman gerektirir. Buna ek olarak, toprak hidrolik özelliklerinin uzaysal değişkenliği, ölçeğe bağımlılık ve muhtemel büyük modelleme alanları bu nitelendirmeleri zorlaştırabilir (Twarakavi *et al.* 2008). Hidrolik özelliklerin ölçümlerinin mevcut olmadığı veya mümkün olmadığı bu gibi durumlarda genellikle PTF'lerin uygulanması önerilmektedir.

McBratney *et al.* (2002)'a göre yeni bir PTF geliştirmek bazı soruların cevaplarını gerektirir;

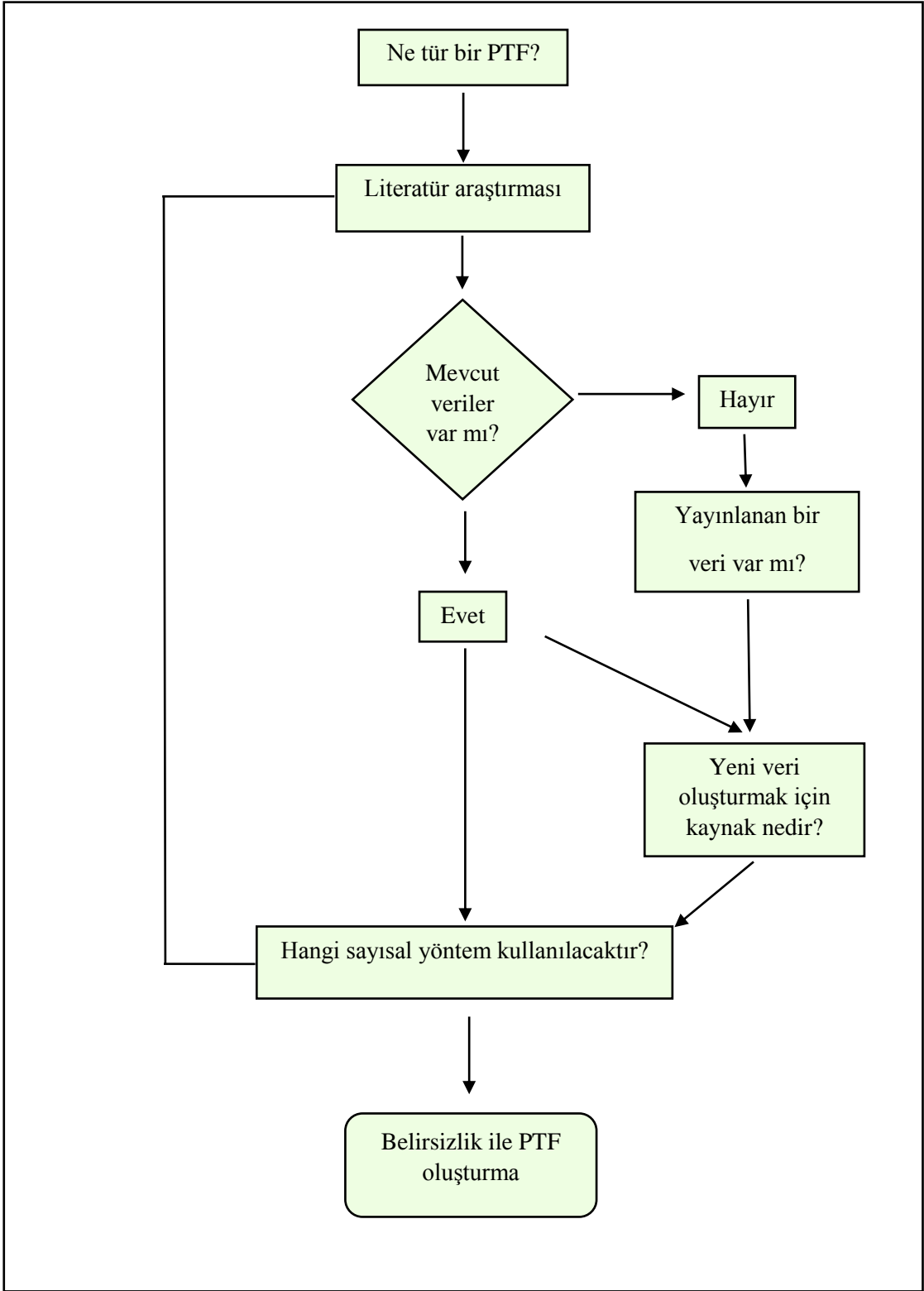
" Hangi koşullar altında yeni bir PTF geliştirmek isteyebilirsiniz?"

Bu sorunun cevabı şu şekilde verilmiştir;

- Bir modelim var ve modelin belirli parametrelere ihtiyacı var.
- Bu parametreler mevcut mu?
- PTF'lere ihtiyaç var mı?

Şekil 2.43'de verilen şema gerçekleştirilmesi gereken adımları göstermektedir.

- Mevcut PTF'leri aramak için literatür taraması yapmak,
- Mevcut olanı aramak veya yeni bir veri tabanı oluşturmak için veri tabanı derlemek,
- Coğrafi konum, tekstür veya fonksiyonel katman gibi toprak özellikleri gruplarını içeren en iyi sayısal metodu aramak,
- Yeni pedotransfer fonksiyonları oluşturmak ve belirsizlik analizi gerçekleştirmek.



Şekil 2.43 PTF geliştirmek için kullanılacak bir şema (McBratney *et al.* 2002)

McBratney *et al.* (2002)'a göre PTF'lerin farklı türlerine ulaşmak için çeşitli araçlar vardır. Genelde bunlar iki uygulama ile sınıflandırılabilir;

1-Mekanistik-deneysel uygulamalar; Tahmin edilen özellikler için temel özellikler ile ilgili kimyasal veya fiziksel bir modeli tanımlar. Örneğin, Arya ve Paris (1981), kapilarite eşitliği aracılığı ile parçacık boyutu dağılımı verilerini bir su tutma eğrisine dönüştürmüşlerdir.

2-Deneysel uygulamalar; Deneysel uygulamalar en genel metottur. Örneğin, farklı sayısal benzetme metotları kullanılarak temel toprak özellikleri ile daha zor ölçülen toprak özellikleri ilişkilendirilir. Türetilen PTF'ler için en sık kullanılan teknikler çoklu doğrusal regresyon (Wösten *et al.* 1999) ve son zamanlarda yapay sinir ağlarıdır (YSA) (Schaap *et al.* 1998). Regresyon ağaçları (Breiman *et al.* 1984), Group Method of Data Handling (GMDH, Farrow 1984, Pachepsky and Rawls 1999) gibi diğer modern sayısal ve istatistiksel metotlar da uygulanabilir.

PTF uygulamalarında modellemede girdi olarak kullanılan değişkenler tanımlandıktan sonra girdi-çıkıtı arasındaki ilişkilerin oluşturulması için bir yöntem seçilmelidir. PTF'ler için seçilen yöntemlerin başarısı, veri tabanında bulunan orijinal ölçümlerin uygunluğuna ve kalitesine bağlıdır. Hastie *et al.* (2001) tarafından PTF'ler için kullanılan modern tekniklerin çoğu tanımlanmıştır (Minasny 2007). Genel olarak PTF'ler için kullanılan yöntemler aşağıda belirtilen şekilde sıralanabilir;

- 1- Regresyon analizi
- 2- Yapay sinir ağları (YSA)
- 3- Veri işlemede gruplandırma (GMDH)
- 4- Sınıflama ve regresyon ağaçları (CART)
- 5- Bulanık sistem
- 6- Parametrik PTF'ler
- 7- Support Vector Machine (SVM)

Bunlardan en fazla tercih edilenleri olup, seçilen bu yöntemlerin başarısı, veri tabanında bulunan orijinal ölçümlerin uygunluğuna ve kalitesine bağlıdır.

2.5.6.1 Regresyon analizi

Çoklu regresyonun genel amacı, birkaç bağımsız veya tahmin edici değişken ile bir bağımlı ve tahmin edilen değişken arasındaki ilişkiyi analiz etmektir. Çoklu regresyon analizi verileri bir doğruya uygun hale getirir (Minasny 2007).

Regresyon analizi yöntemi sürekli değişken tahmini yapabilen karar ağaçlarının özel bir tipidir. İlk çalışmalarda PTF'ler, hemen hemen yalnızca doğrusal regresyonlar kullanılarak oluşturulmuştur (Gupta and Larson 1979). Doğrusal olmayan regresyonlar yavaş yavaş doğrusal regresyonların yerini almıştır (Rawls and Brakensiek 1985).

Regresyon tekniğinin avantajı; en uygun girdi parametrelerinin regresyon aşamaları kullanılarak otomatik olarak bulunabilmesidir. Regresyon tekniğinin dezavantajı ise; herhangi bir eşitliğin yalnızca bir şeklini verebilmesidir. Ayrıca 1900'lerin başında toprak hidrolik özelliklerinin sayısallaştırılması ile birlikte kalabalık veri tabanları içermesi de yöntemin dezavantajıdır (Wösten *et al.* 2001).

PTF'ler için girdi olarak kullanılan toprak özelliklerinin sayısı giderek artmış ve bütün özelliklerin bağımlılık türünün kurulması neredeyse imkânsız olmuştur. Orijinal girdilerin doğrusal kombinasyonları olan ve örnekler içindeki değişkenliğin büyük bir yüzdesini açıklayabilen az sayıda yeni parametreler bulmak için temel bileşenler analizini kullanmak iyi bir yaklaşım olarak görülmüştür (Lin *et al.* 1999).

Regresyona dayalı PTF'ler basit yapıları nedeni ile geçmişte oldukça fazla kullanılmasına rağmen, örnek tanıma yaklaşımlarına dayanan PTF'ler (Pachepsky *et al.* 1996, Tamari *et al.* 1996, Schaap *et al.* 2001) daha tercih edilir hale gelmiştir. Regresyon tabanlı PTF'ler (Rawls and Brakensiek 1985, Minasny *et al.* 1999), toprak özellikleri arasındaki ilişkiler için yeterli ön bilgi gerektirdiği için genellikle zayıf performans göstermiştir (Tawakavi *et al.* 2008).

2.5.6.2 Yapay sinir ağları

İnsanlığın doğayı araştırma ve taklit etme çabalarının en son ürünlerinden bir tanesi Yapay Sinir Ağları (YSA)(Artificial Neural Networks, ANN) teknolojisi olarak hayatımıza girmiştir. Basitçe tanımlamak gerekirse; Yapay sinir ağları, insan beynine has bir özellik olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir (Etike 2009).

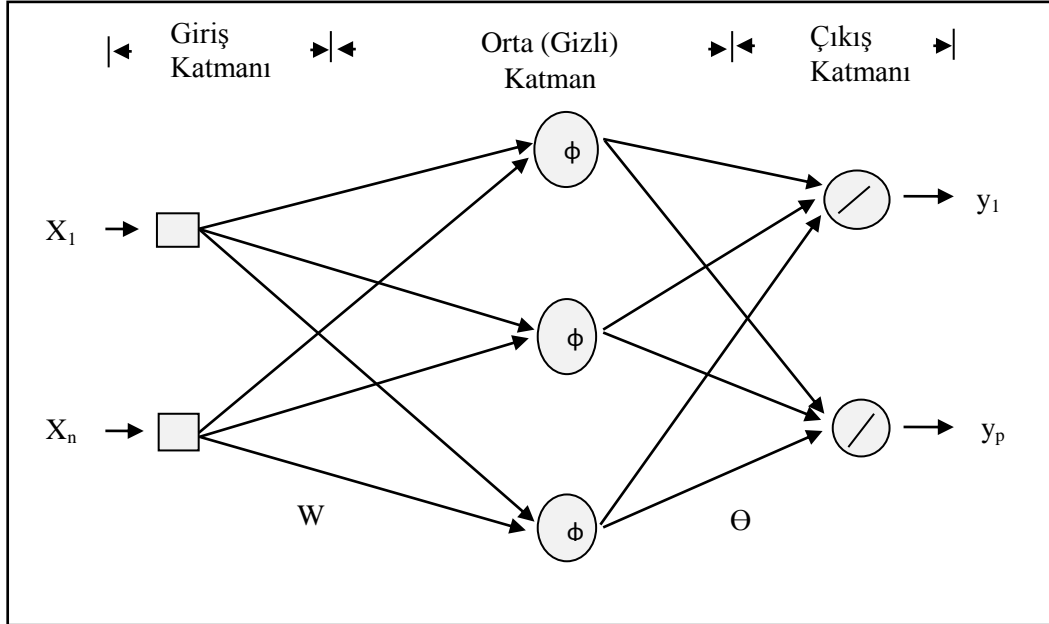
PTF'ler yapay 'Sinir Ağlarından' yapılandırılabilir (Pachepsky *et al.* 1996, Shaap and Bouten 1996, Minasny *et al.* 1999, Pachepsky *et al.* 1999). Yapay sinir ağları, insan beynindeki sinir hücrelerinden esinlenerek geliştirilen yapay sinir hücrelerinin değişik bağlantı geometrileri ile birbirine bağlanarak oluşan karmaşık sistemler olarak tanımlanmaktadır. Bilgi işlem süreçleri olarak nitelendirilebilen yapay sinir ağları, verilen girdilere karşı çıktılar üreten bir kara kutuya benzetilebilir (Kohonen 1988).

Yapay sinir ağları, hücrelerin birbirleri ile çeşitli şekillerde bağlanmalarından oluşur. Hücre çıkışları, ağırlıklar üzerinden diğer hücelere ya da kendisine giriş olarak bağlanabilir ve bağlantılarda gecikme birimi de kullanılabilir. Hücrelerin bağlantı şekillerine, öğrenme kurallarına ve aktivasyon fonksiyonlarına göre çeşitli YSA yapıları geliştirilmiştir (Özer ve Çoban 2014).

İleri beslemeli yapay sinir ağları (İBYSA)

İleri beslemeli YSA'nda, hücreler katmanlar şeklinde düzenlenir ve bir katmandaki hücrelerin çıkışları bir sonraki katmana ağırlıklar üzerinden giriş olarak verilir. Giriş katmanı, dış ortamlardan aldığı bilgileri hiçbir değişikliğe uğratmadan orta (gizli) katmandaki hücelere iletir. Bilgi, orta ve çıkış katmanında işlenerek ağ çıkışı belirlenir. Bu yapısı ile ileri beslemeli ağlar doğrusal olmayan statik bir işlevi gerçekleştirir. İleri beslemeli 3 katmanlı YSA'nın, orta katmanında yeterli sayıda hücre olmak kaydıyla, herhangi bir sürekli fonksiyonu istenilen doğrulukta yaklaştıracabileceği gösterilmiştir (Özer ve Çoban 2014).

En çok bilinen geriye yayılım öğrenme algoritması, bu tip YSA'nın eğitiminde etkin olarak kullanılmakta ve bazen bu ağlara geriye yayılım ağları da denmektedir. Şekil 2.44'de giriş, orta ve çıkış katmanı olmak üzere 3 katmanlı bir ileri beslemeli YSA yapısı verilmiştir (Özer ve Çoban 2014).

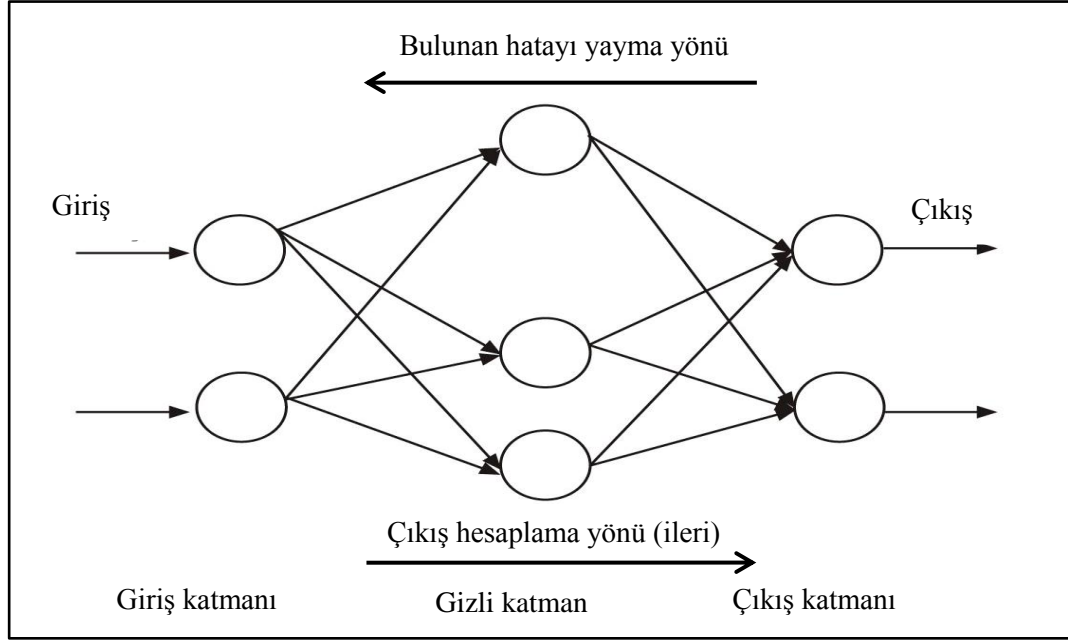


Şekil 2. 44 İleri beslemeli 3 katmanlı YSA (Özer ve Çoban 2014)

Geri beslemeli yapay sinir ağları (GBYSA)

Geri beslemeli YSA'nda, en az bir hücrenin çıkışı kendisine ya da diğer hücrelere giriş olarak verilir ve genellikle geri besleme bir geciktirme elemanı üzerinden yapılır. Geri besleme, bir katmandaki hücreler arasında olduğu gibi katmanlar arasındaki hücreler arasında da olabilir.

Bu yapıyla ile geri beslemeli YSA, doğrusal olmayan dinamik bir davranış gösterir. Dolayısıyla, geri beslemenin yapılış şekline göre farklı yapıda ve davranışta geri beslemeli YSA yapıları elde edilebilir. Şekil 2.45'de iki katmanlı ve çıkışlarından giriş katmanına geri beslemeli bir YSA yapısı görülmektedir (Özer ve Çoban 2014).



Şekil 2.45 Geri beslemeli iki katmanlı YSA (Özer ve Çoban 2014)

Karmaşık sistemlerin modellenmesi için yapay sinir ağları genel bir araç haline gelmiştir (Maren *et al.* 2000, McCord and Illingworth 1990). Birbirleri üzerinde ağ bileşenlerinin etki gücünü ve bileşenler arasında bağlantı yapılarına ait seçenek aralığını değiştirerek karmaşık sistemlerin davranışlarını taklit edebilme yeteneğinin olması yapay sinir ağlarının bir avantajıdır (Wösten *et al.* 2001).

YSA için girdi ve çıktı verileri arasındaki ilişkilere dair öncelikli bir kavrama gerektirmemesi diğer bir avantajıdır. Tekrar eden kalibrasyon işlemleri boyunca girdi ve çıktı verileri arasında uygun ilişkiler bulunmuş ve otomatik olarak yerleştirilmiştir. Sinir ağlarının ilerlemiş doğruluk ve kullanılabilir girdiler için önemli derecedeki esnekliği hidrolik özelliklerin tahmininde kullanılan girdi parametrelerinin sınırlı veya daha geniş gruplarını kullanabilen PTF'leri araştırmamıza ve yürütmemize olanak sağlar (Schaap and Leij 1998b, Schaap *et al.* 1998, Schaap *et al.* 2001). Ancak yapay sinir ağlarına dayalı PTF'ler göreceli olarak doğru tahmin sağlasa da, çok geniş sayıda katsayı içermekte ve bu kolay bir yoruma olanak sağlamamaktadır (Schaap and Leij 1998 a,b, Schaap *et al.* 1998, Schaap *et al.* 2001). Yapay sinir ağları ile yapılan bir çalışma Şekil 2.46'da gösterilmiştir.

2.5.6.3 Veri işlemede gruplandırma yöntemi

Veri işlemede gruplandırma yöntemi (GMDH, Group Method of Data Handling), (x_1, x_2, \dots) girdi değişkenleri ve (y) çıktı değişkeni arasında uygun bir ilişki bulma tekniğidir. Girdi değişkeni sayısı çok olduğunda veya çıktı çok karmaşık olduğunda, GMDH, istatistiksel regresyon ile başarıyla rekabet edebilir. GMDH, YSA yönteminin tersine, girdi ve çıktı ilişkisinde, yalnızca girdi değişkenlerini tutmak için bir algoritma oluşturur.

PTF'ler için orijinal bir tahmin edici veri seti seçildikten sonra, alt PTF geliştirilebilir;
a-PTF'de seçilen bütün tahmin ediciler korunur,
b-İstatistiksel testlere dayanarak tahmin edici verilerin bir kısmı elenir,
c-Bazı tahmin ediciler elenir ve kalan tahmin edici verilerin önemi tanımlanır.

Veri işlemede gruplandırma yöntemi regresyon analizi ve yapay sinir ağlarının avantajlarının birleşimidir (Hecht and Nielsen 1990). Veri işlemede gruplandırma yöntemi giriş ve çıkışları ilişkilendirmek için esnek bir sinir ağı eşitliği kurar ve aynı zamanda yalnızca girdi değişkenlerini korumak için bir algoritma oluşturur (Farlow 1984). Veri işlemede gruplandırma yöntemi son zamanlarda PTF'lerin gelişimi için kullanılmaktadır (Pachepsky and Rawls 1999, Gimenez *et al.* 2001).

Veri işlemede gruplandırma yöntemi karmaşık girdi-çıkış ilişkilerini tanımlamak için güçlü bir araçtır (Farrow 1984). Metot, gerekli girdi verilerinin seçimi ile otomatik olarak gerçekleşir ve çıktı verilerinin tahmini için gerekli karmaşıklığın hiyerarşik polinomial regresyonunu oluşturur (Pachepsky and Rawls 2006).

Tahmin edici değişkenlerin sayısı çok fazla olduğu zaman veya girdi ve çıktı verileri arasındaki ilişki çok karmaşık olduğunda GMDH, girdi ve çıktı setleri arasındaki uygun bir ilişkiyi bulmak için istatistiksel regresyon ile başarılı bir şekilde rekabet edebilir (Hecht and Nielsen 1990).

PTF'lerde gerekli girdi verilerini otomatik olarak bulması GMDH yönteminin avantajıdır. Yapay sinir ağlarının tersine, GMDH eşitlik ağlarını sunar (Pachepsky *et al.* 1998). Çünkü bir polinom eşitliğinde yalnızca sayısal değişkenler kullanılabilir, GMDH'in yürütülmesinde önceki toprak grupları için toprak taksonomi birimleri ve tekstürel sınıflar gibi kategorik değişkenler kullanılabilir. Pachepsky ve Rawls (1999), Oklohama, USDA-National Resources Conversation Service toprak veri tabanından 447 pedon örneği kullanarak bunu göstermişlerdir. Pachepsky *et al.*(1998) ayrıca Yeni Zelanda'dan 180 toprak örneğinde toprak tekstürü ve hacim ağırlığına dayanan PTF için kullanışlı bir girdi olarak penetrasyon direncini kullanarak toprak su tutumu tahminini geliştirmede GMDH yöntemini kullanmışlardır.

2.5.6.4 Sınıflama ve regresyon ağaçları

Veri tabanlarının farklı kısımlarında PTF bağımlılıkları çok farklı olabilir ve tüm veri tabanı için aynı PTF eşitliğini kullanmak yanıltıcı olabilir. Veri tabanını daha homojen alt gruplara bölmek ve sonra farklı kısımlar için farklı PTF'ler kullanmak yararlı olabilir. Sınıflama ve Regresyon ağaçları modeli (CART, Classification And Regression Trees), verilerdeki yapıyı ortaya çıkarmaya dayanan bir tekniktir (Clark and Pregibon 1992). Modelin sonuç kısımları önce iki gruba, sonra dört gruba ayrılır ve bu şekilde devam eder. Her bir kısım ağaç dalı şeklinde görünür ve modelin son hali bir ağaca benzer. Regresyon ağaçları ilk başta çevresel bilimlerde popüler olmuştur (Baker 1993, Lees and Ritman 1991), daha sonra arazi kalite değerlendirmeleri ve toprak özellikleri tahmininde kullanılmıştır (Van Lanen *et al.* 1992, McKenzie and Jacquier 1997, McKenzie and Ryan 1999).

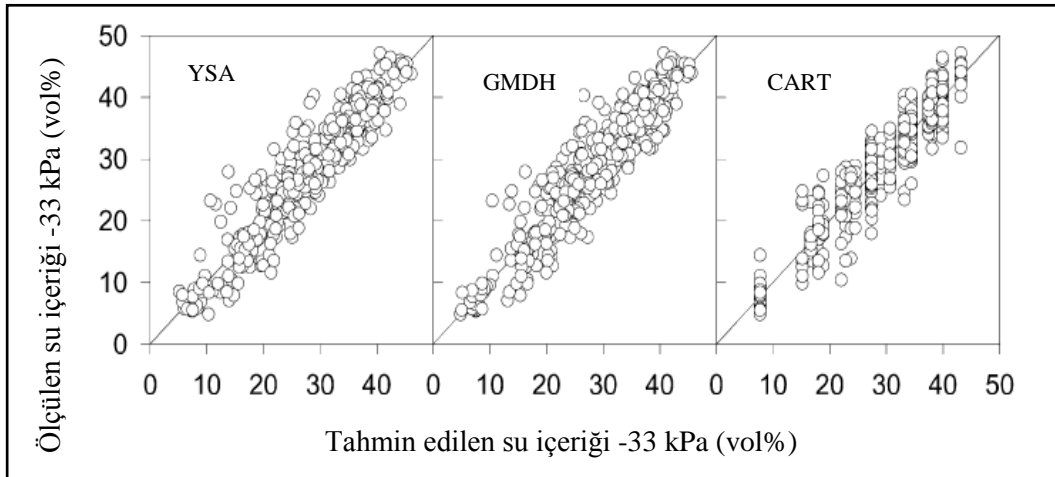
Regresyon ağaçları tahmin ediciler olarak kategorik ve sayısal değişkenleri kullanabilir (Breiman *et al.* 1993). Regresyon ağaçları SPLUS (Mathsoft 1999) ve SAS yazılımları ile geliştirilebilir (Pachepsky and Rawls 2006). Bir regresyon ağacı sürekli değişkenleri tahmin edebilen karar ağaçlarının özel bir türüdür (McBratney *et al.* 2002). Sınıflama ve regresyon ağaçları, verilerin tekrarlı olarak bölüdüğü bir algoritmadır:

- Veriler, başlangıçta iki alt kümeye bölünür.
- Her alt küme için aynı yinelemeler tekrar edilir.
- Çıktı, sonda bulunan düğüm ve dallı bir ağaçtır.
- Her düğümdeki tahmin değeri bu düğümün ortalamasıdır.
- CART, verilerin aşırı kalabalık durumu için en uygun yöntemdir.

Çoklu regresyona alternatif olarak, örnekleri bir grup içine yinelemeli bölerek bir ağaç yapısı oluşturulur, her bölüm, elde edilen iki grupta tahmin edilen değişkende bazı ölçüm farkları maksimum olacak şekilde seçilir. Sonuç yapısı, hızlı bir şekilde tahmin için en önemli değişken olarak kolay yorumlamayı sağlar (Minasny 2007).

Toprak yapısı kategorik değişkenler ile karakterize edilir. Toprak yapısı derecesi için zayıf, orta ve güçlü gibi sınıflar ve kategoriler ayarlanır ve her toprak örneği için sınıf veya kategori kaydedilir. Son zamanlarda sınıflama ve regresyon ağaçları (CART) yöntemi tahmin edici olarak kategorik değişkenlerin kullanılması için uygun bir istatistik tekniği olarak tanınmıştır (Clark and Pregibon 1992). Regresyon ağaçları doğa bilimlerinde (Fielding 1999) ve özellikle toprak biliminde (Mckenzie and Jacquier 1997, O'connell and Ryan 2002, Park and Vlek 2002) veri tabanlarını keşfetmek için başarı ile kullanılmaktadır (Pachepsky et al 2006).

Ağaç sınıflandırmasındaki hatalar tekstür ve yapı kategorilerinde arazide yapılan yanlış sınıflandırmalarının etkisini içerir. Regresyon ağaçlarını ayırıştırmak ve yanlış sınıflamanın etkisini ayırmak için taklit kodlama (dummy coding) (McCullagh and Nelder 1989) gibi diğer regresyon teknikleri bilinen yanlış sınıflandırma hatalarını sağlamada kullanılabilir. Taklit kodlama yönteminin bir versiyonu Lin *et al.* (1999) tarafından morfometrik indekslerden doygun hidrolik iletkenliğin tahmininde başarılı bir şekilde kullanılmıştır (Pachepsky *et al.* 2006). Pedotransfer fonksiyonları yöntemlerinden CART, YSA ve GMDH metotlarının kullanılması ile su içeriği tahmini yapılan bir çalışmaya ait grafik Şekil 2.47'de verilmiştir.



Şekil 2.47 Pedotransfer fonksiyonları yöntemlerinden YSA, GMDH ve CART kullanımı ile su içeriği tahminleri (Wösten *et al.* 2001)

2.5.6.5 Bulanık Mantık Sistemi

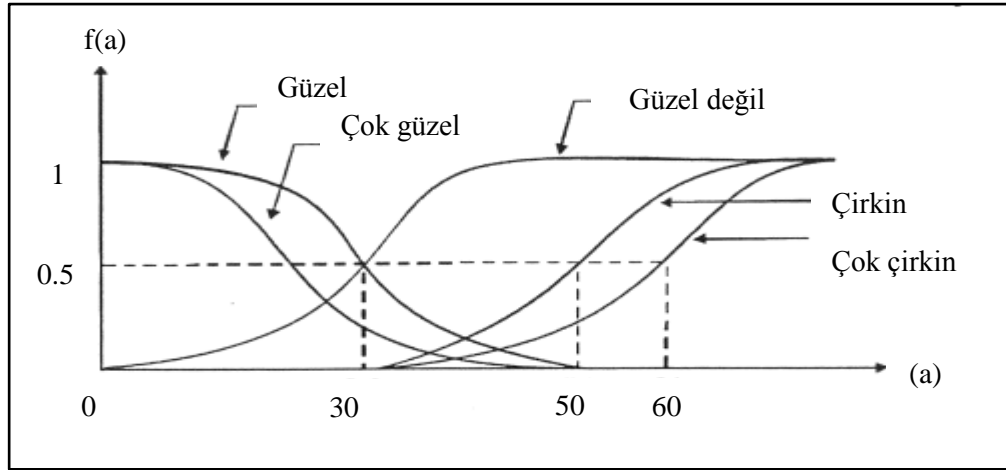
Bulanık mantık (Fuzzy Logic), bilinmeyen bir toprak özelliğini tahmin etmek için bir PTF gibi kullanılabilir. Bulanık sistem sürekli PTF'leri kullanmak için bir alternatiftir. Bulanık sistemde yapay sinir ağlarına benzer şekilde, giriş-çıkış fonksiyonları kullanılır. Yapılan tahmini geliştirmek amacıyla, bir sınıftan diğerine yumuşak bir geçiş sağlamak için bulanık sistem uygulanabilir (McBratney *et al.* 2002).

Bu modelin uygulanmasında, modeli kurmak için çok sayıda parametrenin gerekli olması bir problemdir. Her girdi değişkeni, belirli sayıda bir fonksiyon gerektirir ve her fonksiyon iki veya üç parametreden oluşturulur. Fonksiyonun her parametresi, doğrusal modelin çıktısı ile korelasyona tabi tutulur. Bir $\log_{10}K_s$ tahmini elde etmek için bütün sınıf parametreleri toplanır. Bulanık sistem, sınıf veya dereceleri birleştirme yapısı için kullanışlı olabilir. Örneğin, Lilly (2000)'nin yapı sınıflarından K_s tahmini yapan PTF'ler, yapı sınıfları için fonksiyonlar katılarak genişletilebilir (McBratney *et al.* 2002).

Bulanık mantığın özelliklerinden birisi, klasik kümeler anlayışının dayandığı bazı temel ilkelerin dışındaki ilkeleri kullanmasıdır. Klasik düşüncede bir A kümesi ve onun karşıtı olarak \bar{A} kümesi vardır; fakat bulanık mantıkta küme anlayışı, bu iki değeri (yani 1 ve 0 değerlerini) birer sınır durumu olarak kabul etmektedir (Ural 2003).

Bulanık mantığın üzerinde dikkatlerin yoğunlaşmasının başlıca sebeplerinden birisi özellikle Japonya'daki teknoloji ve mühendislikteki uygulamaları olmuştur. Japonya'da kabul görmesinin sebebi olarak buradaki düşünce yapısının uygunluğundan söz edilmektedir. Çünkü bulanık mantık, doğu dünyasının felsefi dünya görüşüne uygundur ve aynı zamanda, bir geçişi ve sürekliliği ifade etmektedir. Nitekim klasik mantık 1 ve 0 (veya doğru ve yanlış veya bir bakıma siyah ve beyaz) gibi iki sınır durumunu kullanırken, bulanık mantık için siyah-beyaz arasında bir gri bölge ve gri tonların bir geçişi vardır. Ayrıca bu geçişi, bir sürekliliği, birbiri peşi sıra gelen farklı 'durumları' nicel değerleri kullanarak anlatmak mümkündür (Ural 2003). Bulanık mantık alışıl gelmişin dışında aşağıdaki üç özelliğe sahiptir (McNeill and Freiburger 1994).

- 1) Bulanık mantığın doğruluk değerleri kelimelerdir, sayılar değil!
 - 2) Bu kelimeler, çok doğru, oldukça doğru, çok yanlış gibi terimler içerir. Bu nedenle Bulanık mantık tablolarında aralıklar kesin sınırlar ile belirtilmez.
 - 3) Çıkarım kurallarının geçerliliği için kesin doğruluktan söz edilemez.
- Bulanık mantıkta kullanılan kesinlik içermeyen bazı kavramlar Şekil 2.47’de gösterilmiştir.



Şekil 2.47 Bulanık mantıkta kullanılan kavramlar (Ural 2003).

Şekil 2. 47’de görüldüğü gibi burada “çok güzel”, “çok hızlı”, “çok tatlı”, “çok doğru” gibi kavramların içeriklerinin sorgulanmasına gerek yoktur; sadece seçilen bir aralıktaki değerlerin kullanılması yeterlidir. Yani kısaca ifade etmek gerekirse, hem algılarımız hem de kelimelerin anlamları klasik düşüncenin kabul ettiği gibi değildir; çünkü onlar bulanık özelliindedir (Çizelge 2.10).

Çizelge 2. 10 Klasik ve bulanık mantık arasındaki farklar (Anonim 2014h)

Klasik Mantık	Bulanık Mantık
A veya A değil	A ve A değil
Kesin	Kısmi
Hepsi veya hiçbiri	Belirli derecelerde
0 veya 1	0 ve 1 arasında süreklilik
İkili birimler	Bulanık birimler

2.5.6.6 Parametrik PTF'ler

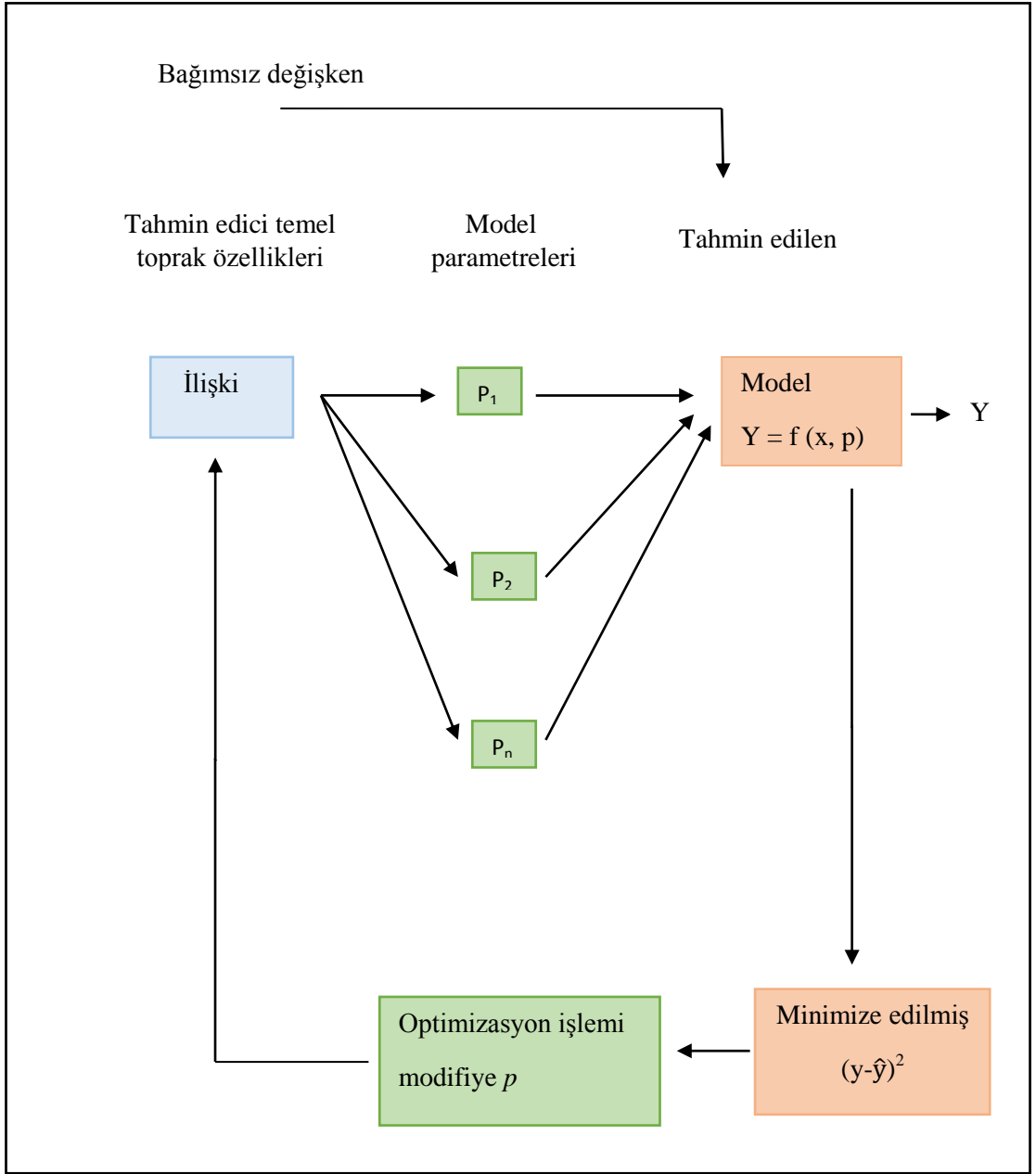
PTF'ler aynı zamanda tek nokta regresyonu, parametrik ve fiziko-ampirik PTF'ler olarak sınıflandırılabilirler. Tek nokta PTF'ler bir toprak özelliğini tahmin ederken parametrik PTF'ler bir modelin parametrelerini tahmin eder.

Bir parametrik PTF genellikle bağımlı (x) ve bağımsız (y) değişkenler arasındaki ilişkidir. Parametrik PTF, bir modelin 'p' parametresi ile kapalı formda bir denklemin veriyi yeterince temsil edebileceğini varsayar (McBratney *et al.* 2001).

$$\hat{y} = f(x, p) \quad (2.10)$$

Parametrik PTF'ler ile en çok toprak su tutma fonksiyonunun parametreleri tahmin edilir. Parametrik PTF'leri türetmek için genel adımlar, verilere uygun hale getirerek bir model parametresi tahmin etmek ve sonra parametreler ile temel toprak özellikleri arasında deneysel ilişkiler kurmaktır (McBratney *et al.* 2001).

İkinci adıma çoklu doğrusal regresyon veya yapay sinir ağları gibi çeşitli matematiksel metotlar ile ulaşılabilir. Bununla beraber çoğu yazarlar, temel toprak özellikleri için parametreleri ilişkilendirmeye çalışırken karşılaştıkları zorlukları bildirmişlerdir. Çünkü parametreler katsayıları nadiren uygun hale getirirler ve korelasyon yüksek olabilir. Genel bir klavuz olarak, parametrik PTF'ler tahmin edilen parametrelerden çok bağımsız parametreleri uygun hale getirmek için modellenmelidir (McBratney *et al.* 2001) (Şekil 2.48).



Şekil 2.48 Parametrik PTF'leri türetmek için bir şema (McBratney *et al.* 2001)

2.5.6.7 Destek vektör makinesi

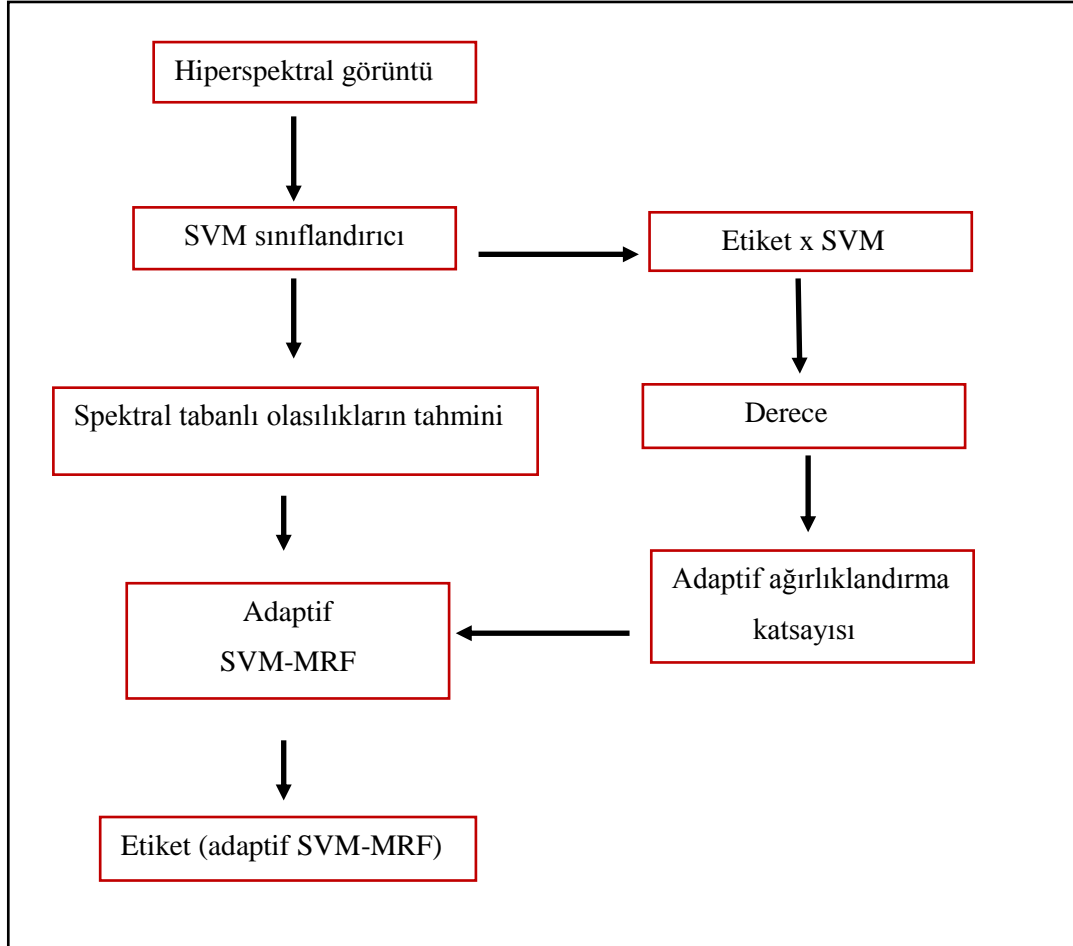
Destek vektör makinesi (Support Vector Machine, SVM), başlangıçta yapısal riski azaltmaya dayalı örnek tanıma problemleri için geliştirilen umut verici bir mekanik öğrenme yöntemidir (Li *et al.* 2009). Destek vektör makinesi yöntemi, veriyi birbirinden ayırmak için en uygun fonksiyonun tahmin edilmesi esasına dayanır. SVM, en iyi karar düzlemini bulmaya çalışır. Bu düzlemin sınıf sınırlarına olan uzaklığının maksimum olması gerekir. Bu da çift (dual) bir optimizasyon probleminin çözümü demektir. Sınıflama işlemi sınıf sınırlarının üzerinde bulunan destek vektörleri kullanılarak yapılır (Anonim 2014i). SVM regresyon metodu (Vapnik 1995), örüntü tanıma teknikleri ve problem adresleri için eşsiz bir felsefe olan İstatistiksel Öğrenme Teorisine (SLT) dayanır (Twarakavi *et al.* 2008).

Destek vektör makinesi yöntemi başlangıçta sınıflama problemlerinin çözümü için geliştirilmiş, daha sonra fonksiyon tahminlerinde regresyon tipi uygulamalar için kullanımı artmıştır. Regresyon modelleme tahmini için kullanılan SVM'de bir çıktı değişkeni bir dizi girdi değişkenine dayanır. Denetimli öğrenme yöntemi olan SVM, model geliştirme için eğitim veri kümesi kullanır. Detaylı yapılmış bir model, eğitim veri kümesi içinde mevcut olan girdi ve çıktı ilişkilerini üretir ve keyfi olarak alınan girdi verilerine dayanan tahmin yapma yeteneğine sahiptir (Lamorski *et al.* 2014).

Farz edelim ki pozitif ve negatif örnekleri birbirinden ayıran bir düzlem var, bu düzlem üzerindeki noktalar $w \cdot x + b = 0$ eşitliğini sağlayacaktır, burada w düzleme olan yatay uzaklık ve $|b|/||w||$ düzlemden orijine olan dik uzaklıktır. Düzleme en yakın pozitif ve negatif örnekler arasındaki mesafeye ayırıcı düzlemin “tolerans”ı dersek, destek vektör yöntemi bu “tolerans”ın en yüksek olduğu bir düzlem bulmaya çalışır (Anonim 2014i).

Destek vektör makinesi yöntemi regresyonunun en önemli özelliği daha önce görülmeyen girdi verilerinden uygun tahminlere izin veren genelleme yeteneğidir. Bu özellik için gereken teknik kriter, eğitim kümesi içindeki bütün vektörlerin yaklaşık yarısı için destek vektörlerinin sayısında sınır olmasıdır (Hastie *et al.* 2008).

Temel olarak, SVM, yapay sinir ağı ile oldukça ilişkilidir. Aslında, SVM modeli, iki tabakalı algılayıcı bir sinir ağına eşit sigmoid çekirdek fonksiyonu kullanır (Huang *et al.* 2010). Bir SVM metodu akış şeması Şekil 2.49'da gösterilmiştir.



Şekil 2.49 Karar destek makinesi (SVM) metodu akış şeması (Anonyoumus 2014a1)

Toprak biliminde SVM kullanımı ile ilgili sınırlı sayıda çalışma vardır. Lamorski *et al.* (2008), SVM kullanarak ölçülen toprak özelliklerinden hidrolik özellikleri tahmin etmişlerdir. Araştırmacılar, 11 parametrelili YSA'na göre, 3 parametrelili SVM yönteminin daha iyi veya eşit doğrulukta performans gösterdiğini bildirmişlerdir. Twarakavi *et al.* (2009), toprak su tutumu ve hidrolik iletkenliği açıklayan hidrolik parametreleri tahmin için SVM modelleri kullanmışlar, SVM dayanan metodun YSA dayalı metoda göre daha iyi tahminde bulunduğunu belirtmişlerdir.

2.5.7 PTF'lerin doğruluk ve güvenilirliği

PTF ile elde edilen tahminlerin doğruluğunun, tahminlerin kullanılacağı çalışmalarda istenilen doğruluğa uygun olduğundan emin olunması önemlidir. Tahmin edici eşitlikler olarak PTF'ler, rutin olarak ölçülen ve tahmin edilen değerler arasında benzerlik açısından değerlendirilir. Ölçülen değerler eşitliği geliştirmek için kullanıldığında, eşitliğin doğruluğu değerlendirilir. Ölçülen değerler eşitliği geliştirmek için kullanılanlardan farklı olduğunda ise güvenilirlik değerlendirilir (Wösten *et al.* 2001).

Doğruluk ve güvenilirliği değerlendirmek için aynı istatistikler kullanılır. PTF gelişiminde kalabalık istatistik işlemler yer almaktadır. En genel olarak kullanılan istatistikler aşağıda verilmiştir (Wösten *et al.* 2001).

- 1- Sperman korelasyon katsayısı,
- 2- Çoklu determinasyon katsayısı (R^2),

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_1^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_1^N (y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (2.11)$$

- 3- Hata Kareleri Ortalaması (Root Mean Squared Error; RMSE)

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_1^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N}} \quad (2.12)$$

- 4- Ortalama Hata (Mean Error; ME)

$$\text{ME} = \frac{\sum_1^N (y_i - \hat{y}_i)}{N} \quad (2.13)$$

- 5- İME ve İRMSE (İntegral Ortalama Hata ve İntegral Hata Kareleri Ortalaması) (Tietje and Tapkenhinrichs 1993):

$$\text{İME} = \frac{1}{b-a} \int_a^b (y - \hat{y}) dy \quad (2.14)$$

$$\text{İRMSE} = \sqrt{\frac{1}{b-a} \int_a^b (y - \hat{y})^2 dy} \quad (2.15)$$

- 6- Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error; MAE)

$$\text{ME} = \frac{\sum_1^N |y_i - \hat{y}_i|}{N} \quad (2.16)$$

Verilen eşitliklerde;

N : Önek sayısı,

y_i : Ölçülen değer,

\hat{y}_i : Tahmin edilen değer,

\bar{y}_i : Ölçülen değer ortalamasını göstermektedir.

Bazı istatistikler doğruluğu ölçü olarak belirtmez fakat PTF'lerin aşırı karmaşıklığını önlemek için, bazı kriterler kullanılır. Akaike Information Criterion (Russo 1988) ve Baron testi (Pachepsky and Rawls 1999) ve F-testi (Tomasella and Hodnett 1998, Shein *et al.* 1995, Wösten *et al.* 1999) bunlara örnek olarak verilebilir.

2.5.7.1 PTF'lerin doğruluğu

PTF'ler eşitlikteki katsayılar için geliştirildiğinde ve literatürde kullanılan formülden eşitlik seçimi yapıldığında doğruluk tahmini önemlidir (Wösten *et al.* 2001). El-Kadi (1985a) çeşitli basınç yüklerindeki su içeriğinin ortalama kareler hatasını kullanarak birkaç eşitliği karşılaştırmış ve en doğru eşitlik olarak Brutsaert eşitliğini bulmuştur.

Genelde bir modelin doğruluğu, modeli geliştirmek için kullanılan gerçek verilerin doğruluğundan çok daha yüksek olamaz. Eğer, PTF hataları verilerdeki değişkenliklerden önemli derecede farklı değilse ve ortalama hata sıfırdan çok farklı değilse PTF doğruluğunun yeterli olduğu kabul edilebilir. Genel olarak, hidrolik özelliklerdeki farklılıklar arazideki toprakların uzaysal değişkenliğinde arazi çalışmalarının kapsamına ve örnekleme ve ölçüm için kullanılan metotlara dayanır (Wösten *et al.* 2001).

2.5.7.2 PTF'lerin güvenilirliği

Birçok çalışma, bağımsız ve bölgesel veri setlerini uygulayarak PTF'lerin güvenilirliğini değerlendirmiştir. Bu çalışmalardan genel bir sonuç türetilmemesine rağmen, bazı gözlemler yapılabilir. Bölgesel veri setlerinden geliştirilen PTF'ler benzer toprak ve arazi geçmişi ile iyi sonuçlar vermektedir. Örneğin; Belçika'da su tutma eğrisi için geliştirilen PTF'ler (Vereecken *et al.* 1989), diğer on üç PTF ile (Tietje and Tapkenhinrichs 1993) karşılaştırıldığında Kuzeydoğu Almanya toprakları için doğru sonuçlar vermiştir.

Macaristan ovası için geliştirilen su tutma eğrisi PTF'leri (Pachepsky *et al.* 1982a), Kafkas dağı eteği ovası (Nikolaeva *et al.* 1986) ve bir Alman veri setindeki Çernozyem toprakları (Tietje and Tapkenhinrichs 1993) için uygulanabilir bulunmuştur. Diğer bölgesel PTF'ler (Timlin *et al.* 1996) ile karşılaştırıldığında Avustralya 'da geliştirilen PTF'ler Missisipi Deltası için daha iyi sonuçlar vermiştir (Wösten *et al.* 2001).

Bu çalışmalar, gözlemlerin diğer durumlar için geçerli olup olmadığını ve geliştirilen PTF'lerin karşılıklı güvenilirliğini sağlamak için farklı bölgelerdeki toprak ve arazi özelliklerinin benzer olması gerektiğini gösterir. Toprak ve iklim koşullarındaki daha büyük farklar, PTF'lerde daha büyük farklılıklar beklenebileceği belirtilerini verir (Wösten *et al.* 2001). Kay *et al.* (1997)'a göre dünyanın farklı coğrafik bölgelerindeki verilerden türetilen PTF'ler ile yapısal özelliklerdeki değişiklikler tahmin edildiği gibi önemli farklılıklar sergiler. Bu yazarlar toprak ve iklim koşullarının bu PTF'ler üzerine etkisinin biraz dikkat ve daha fazla araştırma gerektirdiğini belirtmişlerdir. Mclean and Yager (1972) ve Tomasella and Hodnett (1998) ılıman bölgelerde geliştirilen PTF'lerin tropik topraklarda iyi sonuç vermediğini göstererek PTF'lerin bölgesel özelliğini açıkça kanıtlamışlardır.

PTF'lerin güvenilirliği geliştirilen ve doğrulanan bir alt kümede mevcut verileri bölerek veya bağımsız veri seti kullanarak çapraz-doğrulama ile değerlendirilmiştir (Wösten *et al.* 2001). Çapraz değerlendirmede, bazı işlemler ile PTF'lerin güvenilirliği değerlendirilebilir ve aşağıda verilen bu işlemler birkaç kez tekrarlanır (Hjorth 1994);

- 1- Veri setlerinden rastgele alt örnekleme ile,
- 2- Alt örnek için bir PTF geliştirerek,
- 3- Alt örneklemeden sonra kalan verilere karşı PTF doğruluğunu test ederek.

PTF'lerin kalite güvencesi

Yeni geliştirilen PTF'lerin yayınlanmasında tekrarlamaların minimum olması önerilir. Yeni bir PTF tanımlandığı zaman yazarlar, verilere ait istatistik bilgileri (ortalama, standart sapma, ortanca, minimum ve maksimum ve değişkenler arasında korelasyonlar) vermelidir. Ayrıca yazarlar standart birinci derece Taylor analizi (Heuvelink 1998) veya Bootstrap metodunu (Efron and Tibshirani 1993) kullanarak modelin belirsizliğini hesaplamalıdır. Eğer PTF, en küçük kareler veya maksimum olasılık metodu kullanılarak türetilirse, yazarlar parametrelerin varyansları boyunca standart hatalarını listelemelidir.

2.5.8 PTF tahminlerindeki belirsizlikler

PTF kavramının farklı kullanımını önlemek için tanımlanması yararlı ilke belirsizlik ve verimlilik ile ilgilidir. Belirsizlik ilkesine göre; belirsizlik değerlendirilmediğinde PTF kullanılmamalıdır, eğer alternatif bir PTF mevcut ise, minimum varyans ile bu PTF kullanılabilir (McBratney *et al.* 2002).

Belirsizlik ilkesi başlıca iki alt kural sağlar;

1-PTF belirsizliği sayısallaştırılmalıdır.

2-Alternatif bir PTF serisi varsa varyansı minimum olan kullanılmalıdır (McBratney *et al.* 2002).

Çoğu PTF'ler aynı veya benzer toprak özelliklerini tahmin etmek için geliştirilmektedir. Örneğin, Avustralya'da su tutma eğrisi tahmini için en az 10 fonksiyon mevcut iken bu özellik için dünya çapında yüzden fazla fonksiyon mevcuttur. Bu nedenle en küçük hata varyansını veya uygun toprak tipi fonksiyonunu seçmek akıllıca olur.

Bir PTF'nin belirsizliğinin nedeni modelin belirsizliği ve giriş verilerinin belirsizliği olabilir. Model ile ilişkili olan belirsizlik, parametrik olmayan Bootstrap yönteminden veya eğer PTF en küçük kareler yöntemi kullanılarak türetilmiş ise 1. dereceden bir analiz ile hesaplanabilir (McBratney *et al.* 2002).

Toprakların fonksiyonel davranışları modellendiğinde, PTF'lerin tahminlerindeki belirsizliği içeren model girdi parametrelerindeki belirsizliklerin nasıl anlaşılacağı ile ilgili olarak Finke *et al.* (1996) tarafından bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada Hollanda'da bir toprak haritalama birimi için yapılan modelin giriş parametrelerindeki belirsizliğe neden olan iki önemli kaynak belirtilmiş, model sonuçlarındaki değişkenliğin açıklanması için nicel ve istatistiksel olarak değerlendirme yapılmıştır (Wösten *et al.* 2001). Buna göre belirsizliğin iki kaynağı;

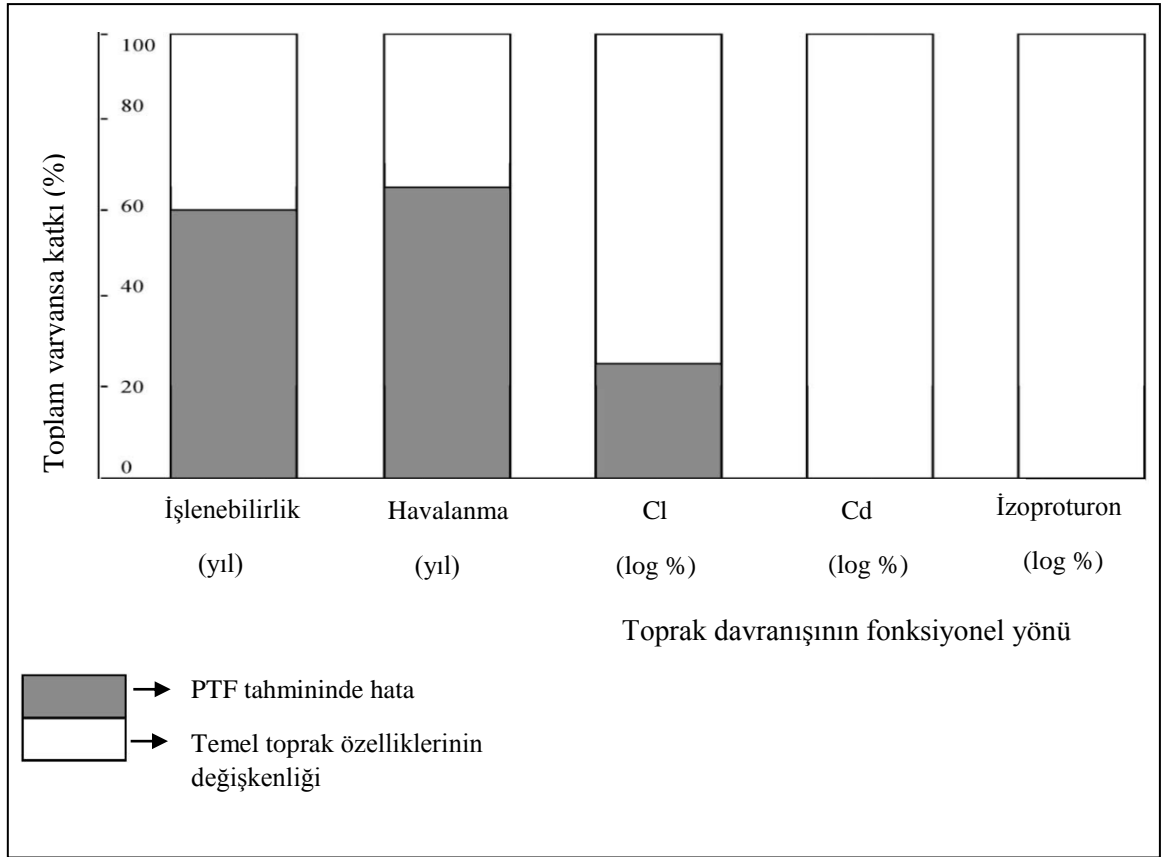
- 1- Toprak profil bileşimi, tekstür, su tablası derinliği gibi temel toprak özelliklerinin uzaysal değişkenliği ve
- 2- Toprak hidrolik özelliklerinin tahmini için PTF'lerin kullanımı ile ilişkili belirsizliktir.

Chirico *et al.* (2007)'a göre ise PTF tahmin parametreleri belirsizliği üç temel kaynak ile ilişkilidir. Bunlar;

- 1- PTF model parametreleri,
- 2- PTF girdi değişkenleri,
- 3- PTF model yapılarıdır.

PTF fonksiyonları kullanıldığında, temel toprak özelliklerinin uzaysal değişkenliği önce doğrudan hidrolik özelliklerdeki değişkenler için ve sonrada modellenen fonksiyonel toprak davranışlarındaki değişimler için dönüştürülür. Ayrıca bu işlem modellenen toprak davranışlarındaki belirsizlik için katkıda bulunur (Wösten *et al.* 2001).

PTF'lerdeki belirsizlik, fiziksel doğa ile toprak davranışlarının fonksiyonel yönleri hesaplandığında önemli bir rol oynar (Şekil 2.50). Şekil 2.50'de verilen örnek, toprak davranışının hesaplanan her fonksiyonel yönlerinin belirsizliğini açıklayabilen, ne PTF ile ilgili ne de toprak ile ilgili olan değişkenliğin tek bir kaynak olmadığını göstermektedir. Tersine, toprak davranışının fonksiyonel yönünün şekline bağlı olarak, girdi parametrelerinin farklı tiplerindeki değişkenlik, sonuçtaki belirsizlikte baskın olacaktır. Bunun sonucunda, sonuçtaki belirsizliğin açıklanmasında etkili olan girdi parametreleri tiplerinin ilk tespiti önemlidir. Daha sonra, girdi parametrelerinin bu tip değişkenliği değerlendirilebilir ve muhtemelen azaltılabilir. Bu çizgide bir analiz, mevcut bir PTF'nin kullanılıp kullanılmamasını, belirli bir uygulama için toprak hidrolik özelliklerini oluşturmada belirsizliğin yeterince doğruluğunu ya da pahalı toprak fiziksel ölçümlerinin doğruluğunu belirlemek içinde yardımcı olacaktır (Wösten *et al.* 2001).



Şekil 2.50 Toprak davranışının modellenen 5 fonksiyonel yönünde belirsizliğinin açıklanmasında değişkenliğin farklı kaynaklarına bağlı önemi (after Finke *et al.* 1996)

Şekil 2.50'ye göre eğer kadmiyum ve izoproton gibi kimyasallar adsorbe edildiğinde, belirsizliğin modelleme sonuçlarındaki belirsizliği büyük ölçüde açıklayan temel toprak özelliklerindeki değişkenlikten kaynaklandığı sayılır. Adsorplanan kimyasallar ile karşılaştırıldığında, model sonuçları temel toprak özelliklerindeki değişkenliğe çok daha az hassastır. Bu anlaşılabilir bir durumdur çünkü temel toprak özelliklerindeki değişim esasen kil, silt ve organik madde yüzdesindeki değişkenliktir. Buna karşılık, bu değişkenlikler kadmiyum ve izoproton adsorpsiyonu üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Wösten *et al.* 2001).

Şekil 2.50'de tanımlanan bu çalışma, modelin doğruluğunu karakterize etmek için istatistikten ziyade uygulamalar ile doğrudan ilişkili kriterleri kullanan Wösten *et al.* (1986) tarafından önerilen PTF'lerin fonksiyonel gelişiminin bir örneğidir.

Wereecken *et al.* (1992) çalışmasında ise, fonksiyonel değerlendirmeler sadece PTF'lerdeki belirsizlikten doğan değişkenlik olduğunda, belirli bir uygulama için bir simülasyon modelinin çıktılarındaki değişkenliğin istatistiksel sınava olarak tanımlanmıştır. Çalışma sonunda hidrolik özelliklerdeki tahmin hatasının yaklaşık %90'ının toprak nem salıverme kapasitesindeki değişimlerden olduğu bulunmuştur (Wösten *et al.* 2001).

Tipik olarak, parametre tahminlerinin belirsizliği ve modelleme sonuçlarındaki etkileri genellikle incelenmezken veya sadece göz ardı edilirken, PTF tahmin parametreleri sayısal modellemelerde doğrudan kullanılmaktadır. Tahmin parametrelerinin belirsizliği özellikle tahmin için birden çok veri çeşitleri kullanıldığında önemli olabilir (Deng *et al.* 2008).

2.5.9 PTF tahminlerinin verimlilik ve performansı

PTF kavramının farklı kullanımını önlemek için tanımlanması yararlı ikinci ilke, verimlilik ile ilgilidir. PTF'lerde ilk kural; Ölçümü tahmininden kolay olan bir özelliğin tahmin edilmemesidir. PTF'nin amacı zor ve pahalı ölçümleri tahmin etmek olduğundan, tahmin edici özellikler kolay ve ucuz ölçülebilir olmalıdır. Diğer bir ifade ile verimlilik tanımlanırsa (Minasny and McBratney 2002a);

Verimlilik 1 = (bilgi kalitesi / emek) > 1

Verimlilik 2 = (bilgi kalitesi / bilgi maliyeti) > 1 olmalıdır.

Bir PTF'nin verimli olması için tahminin verimliliği ile tahmin edenin verimliliği arasındaki oranın 1'den büyük olması gerekmektedir. Bu oran aynı zamanda, bir PTF dışında kazanılmış bilginin kalitesinin tahmin edici özelliğin kalitesinden yüksek olması gerektiğini ifade eder (McBratney *et al.* 2007).

Bu ilke, gözden kaçan veya ölçülmeyen değerleri tahmin etmek için mevcut verilerin kullanımını genişletir. Kütle ve hacimle ilgili olarak toprak niteliklerinin hesaplanması için kullanışlı olan yoğunluğun bilinmesine rağmen, hacim ağırlığının tahmin edilmesi tipik bir örnektir ve nadiren ölçülen su tutma özelliğinin tahmin edici bir anahtardır.

Çünkü geçmişte toprak araştırmalarının amacı toprak sınıf haritası oluşturmak ve sınıflama amacı için değişkenleri analiz etmek olmuştur. Kil ve organik madde içeriğinin belirlenmesi çok daha pahalı olmasına rağmen, kil ve organik madde içeriğinden hacim ağırlığını tahmin eden model etkili bir PTF olarak düşünülür. Bunun nedeni, eksik olan bir değişkeni tahmin etmek için mevcut toprak verilerinin kullanılmasıdır. Ancak, bir toprağın yapısal özelliklerinden doygun hidrolik iletkenliğini tahmin etmek için görsel analizler ile ölçüldüğünde verimli bir PTF oluşturulmayacaktır. Görsel analizler ile K_s arasında iyi bir ilişki olmasına rağmen, teknoloji gelişmedikçe görsel analiz tekniğini kullanmak daha fazla çaba gerektirir. Bununla birlikte, arazi morfolojisinden tahmin yapılması etkili bir PTF örneğidir (Minasny 2007).

Wösten *et al.* (2001)'a göre ise bir PTF'nin performansını en az 4 faktör etkiler. Bu faktörler:

- 1- PTF'lerde girdi olarak kullanılan temel toprak verilerinin doğruluğu,
- 2-PTF'nin kendi doğruluğu,
- 3-Simulasyon modelinin belirli özellikleri,
- 4-Fonksiyonel bir kriter olarak kullanılan çıktılardır.

Hidrolik özellikler için bir modelin hassaslığı önemli olduğunda, PTF'nin doğruluğu sorun olmayabilir (Wösten *et al.* 2001). Wopereies *et al.* (1993) kurak pirinç ekimi altındaki üst 40 cm toprak katmanında su içeriği modellenmesi için hidrolik iletkenliği tahmin eden PTF'yi fonksiyonel olarak değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada, PTF ile tahmin edilen hidrolik iletkenlik değerlerinin ölçülen değerlerden önemli şekilde farklı olmasına rağmen, simulasyon sonuçları bu parametreler için nispeten duyarsız olduğundan gözlenen ve simule edilen toprak su içeriği arasında iyi bir uyum elde edilmiştir.

Wösten *et al.* (1995) tarafından yapılan bir çalışmada benzer bir sonuca ulaşılmıştır. Yazarlar, sınıf ve sürekli PTF'ler ile tahmin edilen hidrolik özelliklerin fonksiyonel davranışlarını karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, uygulanabilir günlerin (days with workability) simule edilme sayısı, uygulanan PTF'lerin tipine bağlı iken, toprak havalanmasının iyi olduğu günlerin (days with good aeration) sayısının PTF tipine bağlı olmadığı bulunmuştur.

Workman and Scaggs (1992), doymun su içeriği tahmini için evapotranspirasyon, infiltrasyon, yüzey akışı ve drenaj konularında daha hassas olan PREFLO (a water management model, capable of simulating preferential flow) ile DRAINMOD (Drainage model) modellerini kullanarak PTF'lerin performansını karşılaştırmışlardır. Ölçülen ve PTF ile tahmin edilen hidrolik özellikler arasındaki farklarda, model çıktılarındaki farklar iki modeldeki farklardan daha büyük olmuştur.

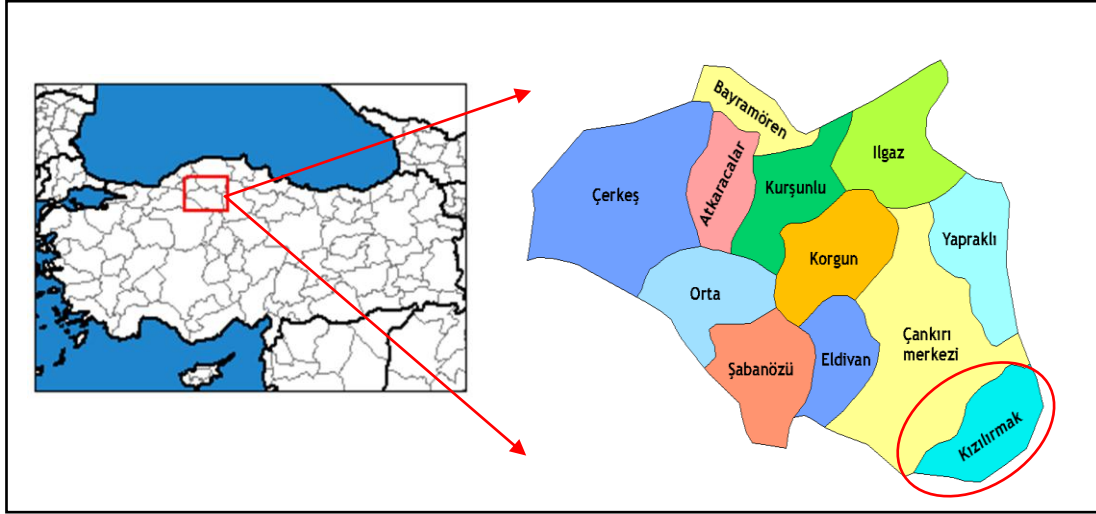
PTF'lerin fonksiyonel değerlendirilmesi PTF doğruluğu dikkate alınmadan yapılabilir. Wösten *et al.* (1990a) aynı modelde 4 farklı PTF performansını karşılaştırmışlar ve üst 50 cm toprak tabakasında toprak suyu içeriği simülasyonu açısından varyans analizinde önemli farklılıklar bulmuşlardır. Bu durumda, PTF'nin doğruluğundan ziyade maliyeti bir kriter olarak kullanılmıştır.

Fonksiyonel değerlendirmeler, modelleme çalışmalarında PTF performansındaki farklılıkların diğer çevresel değişkenlere bağlı olabileceğini göstermiştir. Varyans analizi için PTF tipleri tek girdi olarak kullanılmış ve PTF tiplerinin performansı arasında fark bulunmamıştır (Wösten *et al.* 1990b).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Araştırma Alanının Genel Tanıtımı

İç Anadolu Bölgesinin kuzeybatısında yer alan Çankırı ilinin, kuzeyinde Kastamonu, kuzeybatısında Karabük, batısında Bolu, güneyinde Kırıkkale ve Ankara, doğusunda ise Çorum illeri bulunmakta olup; yüzölçümü 7.490 km², denizden yüksekliği de 720 metredir. Merkez İlçe; İlin güneydoğusunda yer almakta olup, kuzeyinde Ilgaz, Yapraklı ilçeleri, Çorum İline bağlı İskilip ilçesi, batısında Eldivan, kuzeybatısında Korgun, güneyinde Ankara İli'nin Kalecik ilçesi ve doğusunda ve güneydoğusunda Kızılırmak ilçesi ile çevrilidir (Şekil 3.1). Kızılırmak ilçesinin kent merkezine olan uzaklığı 55 kilometredir. Ağırlıklı olarak tarım ve hayvancılığın geçim kaynağı olduğu ilçede, tarımsal üretimde çeşitlilik gözlenmekte olup; kavun, pirinç, şeker pancarı gibi ürünler yaygındır (Anonim 2011).



Şekil 3. 1 Çankırı il ve ilçeleri (Anonim 2011)

3.1.1 Jeoloji ve topoğrafya

Kızılırmak ilçesinde Kuaterner'e ait alüviyal dolgu alanı Kızılırmak nehrinin oluşturmuş olduğu ovalık alanda kendisine yer bulurken, Tersiyer dönemine ait jipsli fasiyesler ise daha çok Kızılırmak havzasını sınırlayan, havzaya göre nispeten yükseltisi fazla olan tepelik alanlarda bulunmaktadır.

Genel itibariyle bakıldığında, Kızılırmak nehri kenarında ovalık sahalar ve bu ovalık sahaları çevreleyen tepelik alanlar araştırma sahasının morfolojik unsurlarını temsil etmektedir. Çankırı'da Kızılırmak Havzası dışında kayda değer önemli ovalar yoktur. Kızılırmak havzasında suların tuzlu olması nedeni ile sulanabilen tarım arazisileri de sınırlıdır (Anonim 2011).

3.1.2 İklim

3.1.2.1 İklim tipi

Karadeniz iklim kuşağında İç Anadolu Bölgesine özgü kara iklimine geçiş kuşağında yer almasına rağmen Çankırı'da genellikle İç Anadolu'ya özgü iklim hüküm sürmektedir. Merkez, Ilgaz ve Yapraklı ilçelerinde ise kışlar soğuk, yazlar serin geçer. Araştırma alanı, Karasal iklimin egemen olduğu bir alanda yer almaktadır. Kızılırmak ilçesi çevresine göre yükseltisi fazla olmayan, oluk diyebileceğimiz bir sahada bulunduğundan iklimi çevresine göre daha yumuşaktır (Anonim 2011).

İlde ortalama sıcaklık 11.1 °C, güneşli gün sayısı 112.1 gün, donlu gün sayısı 38 gün ve yıllık ortalama yağış miktarı 402 mm'dir. Merkez ilçede en sıcak aylar Temmuz ve Ağustos, en soğuk aylar ise Ocak ve Şubat'tır. Merkez ilçeye en çok yağış Mayıs ayında, en az yağış ise Temmuz ayında düşmektedir, Çankırı il merkezinde kar yağışlı günler ortalaması 19.7' dir. Ortalama karla örtülü gün sayısı 26.7' dir (Anonim 2013) (Çizelge 3.1).

Çizelge 3. 1 Kızılırmak ilçesinin belirli iklim özelliklerine ait değerler (Anonim 2013)

İklim özellikleri	Aylar						
	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
Ortalama sıcaklık (°C)	11.0	15.7	19.8	23.0	22.4	17.6	11.9
Ortalama güneşlenme süresi (saat)	6.0	7.5	9.3	10.4	10.6	8.3	6.1
Ortalama yağışlı gün sayısı	11.9	13.4	9.8	4.5	3.7	4.4	7.1
Ortalama aylık toplam yağış miktarı (kg/m ²)	46.4	54.4	38.7	18.2	17.6	16.5	27.7

3.1.2.2 Yağış

Yağış koşulları karasal iklimin özelliklerini yansıtmakta ve yağışlar ilkbaharda artmaktadır. Yaz aylarında yağışların azalmasına bağlı olarak kuraklık koşulları ilçede önemli kayıplara neden olmaktadır. Nisan-Mayıs aylarında yağmur olarak düşen yağışlar, kış aylarında yerini kar yağışlarına bırakmaktadır. Hemen hemen her mevsim yağışın görüldüğü ilde ortalama yıllık yağış miktarı 392–538 kg/m² arasında değişmektedir. Kuraklık indisi çizelgesine göre 2007 yılı (290.3 mm) Kızılırmak'ta son on yılın en kurak yılıdır (Anonim 2011).

3.1.4 Topraklar

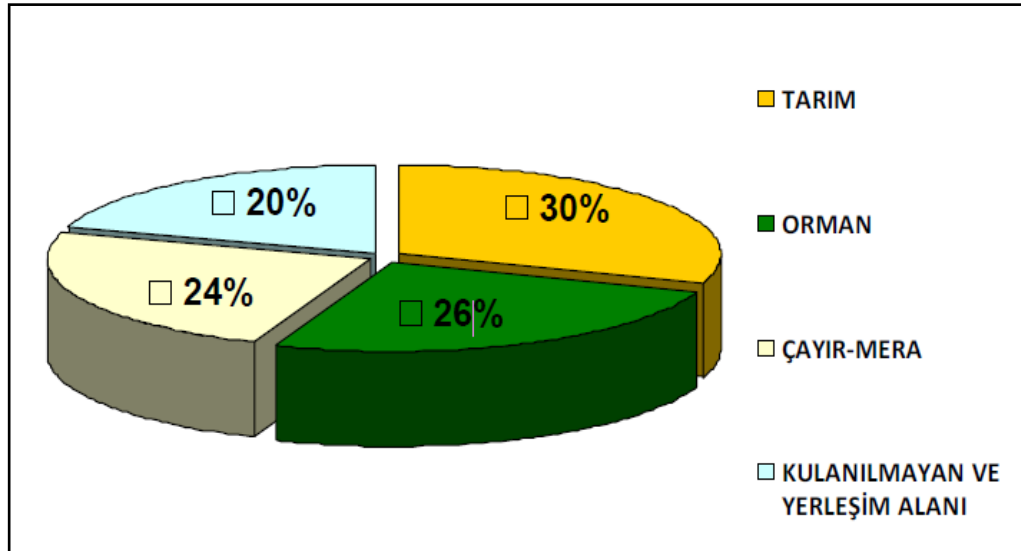
İç Anadolu Bölgesinin Kuzey geçit kesiminde yer alan Çankırı ili arazisi 4. Jeolojik zamanda teşekkül etmiştir. İlin rakımı 550-2565 m arasında değişmekte olup, Merkez İlçenin rakımı 750 metredir. İlin genel jeolojik yapısının oldukça dağlık ve engebeli oluşu tarım açısından dezavantaj olarak görülmektedir. İrili ufaklı 14 dağın mevcut olduğu bu engebelikler ilin yüzölçümünün % 61'ini oluşturmaktadır. En alçak dağ 1117 m ile Bozkır dağı, en yüksek dağı ise 2565 m ile Ilgaz dağıdır. İlde ova çok azdır ve vadi şeklinde düz araziler mevcuttur. Bozkır, Uluyazı, Yapraklı, Aydos, Eldivan, Aliözü gibi yayla özeliğine sahip vadiler ise zaman içerisinde erozyon sebebiyle jeolojik yapı değişikliğine uğramaktadır (Anonim 2011).

Kızılırmak ilçesinin belirli bölgelerden alınan toprakların analizlerine bakıldığı zaman, pH'nın nötr veya bazik özellik gösterdiği, tuzluluk açısından çok tuzlu olduğu, toplam kirecin fazla, organik maddenin çok az, alınabilir fosforun az, alınabilir potasyumun yeterli ve tekstürün ise killi olduğu görülmektedir (Anonim 2013).

Çankırı il arazisinin niteliklerine göre dağılımı Çizelge 3.2 ve Şekil 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Çankırı ili arazi dağılımı(Anonim 2011)

Arazinin Cinsi	Alan (Ha)	Yeri (%)
Tarım alanı	226.648	30
Orman alanı	195.451	26
Çayır-Mera	179.689	24
Kullanılmayan ve yerleşim alanı	147.210	20
TOPLAM	749.000	100.000



Şekil 3.2 Çankırı il arazisinin niteliklerine göre dağılımı (Anonim 2011)

3.1.5 Bitki örtüsü

Kızılırmak ilçesi bitki örtüsü bakımından fakirdir. Karasal iklime bağlı olarak bozkırlar (step) en önemli bitki topluluğunu oluşturmaktadır. Bunun yanında Kızılırmak kenarında bazı alanlarda çalılık sahalar göze çarpmaktadır. Bu alılık alanlar ile halkı tarafından kaçak olarak kesilmektedir. Su olanaklarının yüksek olması, ağaç yetişebilecek alanların fazla olması ile de ağaç dikimi yapılması için olanak vermesine rağmen, ağaçlık alanlar fazla yer almamaktadır. ankırı ilinde doğal bitki örtüsünü karaçam, sarıçam, ardı, ladin ve köknar gibi orman ağaçları, ahlat, kızılıcık gibi meyve ağaçları ve yemlik ve yemeklik baklagiller ile devedikeni, yumak ve ayrık otu gibi bitkiler teşkil eder (Anonim 2011).

3.2 Yöntem

3.2.1 Toprak Örnekleme

Bu çalışma için kullanılan toprak örnekleri Kızılırmak ilçesinde bulunan Çankırı Karatekin Üniversitesi Kızılırmak Meslek Yüksekokulu'na ait Araştırma ve Uygulama Arazisi ve bitişiğinde bulunan meradan alınmıştır. Örnekleme yapılan alanların bir kısmı mera arazisidir, bir kısmı da çeltik arazisi olarak kullanılmıştır (Şekil 3.3a ve 3.3b).

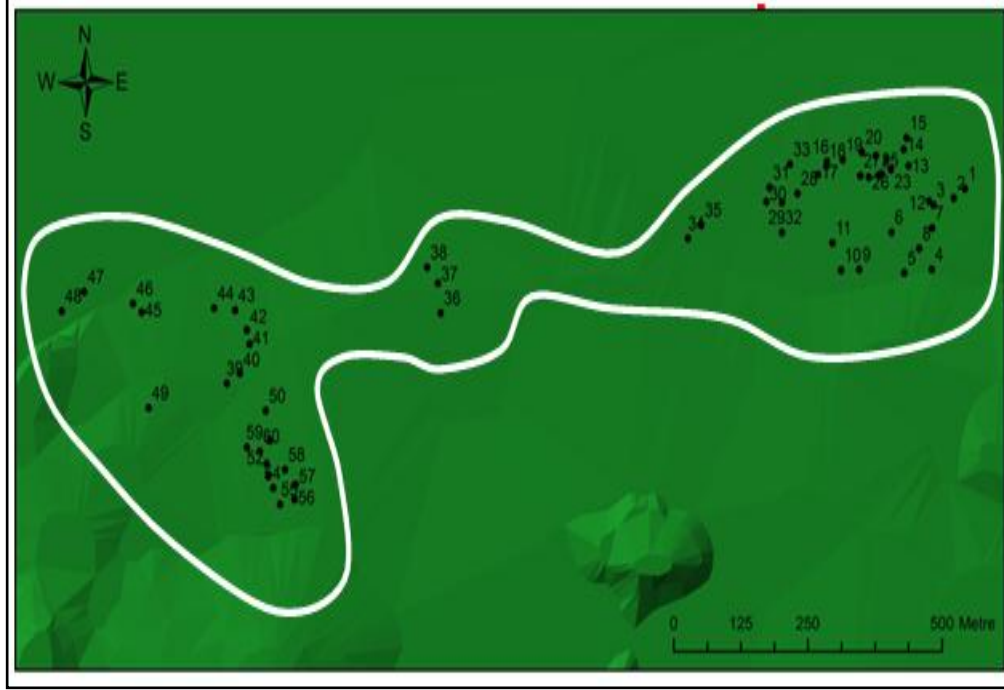


Şekil 3.3a Toprak örneklerinin alındığı sahadan bir görüntü



Şekil 3.3b Toprak örneklerinin alındığı sahadan bir görüntü

Çalışma alanı içerisinde toprak örnekleri koordinatları rastgele seçilmiştir. Toprak örnekleme noktalarının farklı özellikteki toprakları temsil edecek şekilde alınmasına dikkat edilerek GPS (Global Positioning System) ile 60 adet örnek noktası belirlenmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Toprak örnekleme noktalarının çalışma sahasındaki dağılımı

Toprak örnekleri belirlenen noktalardan 0-15 ve 15-30 cm derinliklerinden olmak üzere iki farklı derinlikten özel olarak yapılmış bir örnekleme düzeneği kullanılarak alınmıştır. Örnekleme 8.5x8.5 cm ebatlarında plastik kolonlardan oluşan örnekleme kapları örnekleme aparatı içerisine yerleştirilerek 120 adet bozulmamış ve 120 adet bozulmuş toprak örneği alınmıştır. Örnekleme düzeneği ve kullanılan aparatlar Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Traktörün kuyruk milinden hareket alan ve içerisinde plastik boru bulunan aparatın toprağa girişi



Şekil 3.6 Traktörün kuyruk milinden hareket alan ve içerisinde plastik boru bulunan aparatın toprağa girişi



Şekil 3.7 Traktörün kuyruk milinden hareket alan ve içerisinde plastik boru bulunan aparatın toprak örneği ile topraktan çıkarılması



Şekil 3.8 Traktöre bağlı ve içerisindeki plastik boruda toprak örneği olan aparatın çıkarılması



Şekil 3.9 İçerisinde plastik boru bulunan aparattan toprak örneği bulunan plastik borunun çıkarılması



Şekil 3.10 Makineden ve örnekleme aparatından ayrılan plastik boru içerisindeki bozulmamış toprak örneği

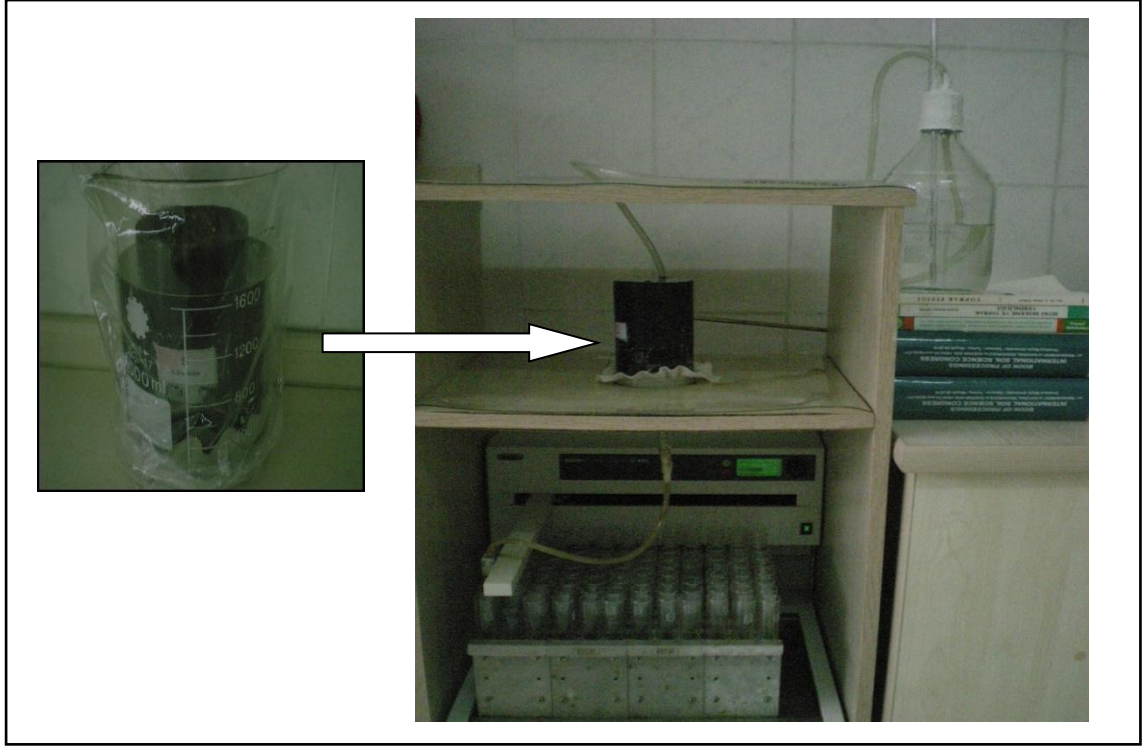
3.2.2 Laboratuvar alışmaları

3.2.2.1 Fiziksel analizler

Toprak fiziksel analizleri kapsamında doygun hidrolik iletkenlik, hacim ağırlığı, penetrasyon direnci, toprak bünyesi, agregat stabilitesi, tarla kapasitesi, solma noktası, renk ve doğrusal uzama katsayısı (COLE) ölçümleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarından elde edilen değerler maksimum ve minimum değerleri arasında eşit sınıflara ayrılarak her sınıf için hidrolik iletkenlik ile ilişkisine göre artan veya azalan kod numaraları oluşturulmuştur.

Doygun hidrolik iletkenlik

Doygun hidrolik iletkenlik, plastik kolonlarla alınan bozulmamış toprak örneklerinde sabit su seviyeli hidrolik iletkenlik seti kullanılarak Klute ve Dirksen (1986) tarafından belirlenen yöntemeye göre ölçülmüştür. Toprak örneklerinin doygun hale gelmesi için kolonlar geniş beherler içerisine yerleştirilerek, toprak üst seviyesini geçmeyecek şekilde yavaş yavaş su ilave edilmiştir. Doyma süresi sırasında buharlaşma ile su kaybını engellemek için beherlerin üzeri kapatılmıştır (şekil 3.11). Alttan kapilarite ile doygun hale getirilen bozulmamış toprak kolonları hidrolik iletkenlik setine yerleştirilmiş (şekil 3.11) ve toprak üzerinde sabit su yükü ayarlanarak kolonda sabit akış koşulları sağlandığında okumalar yapılmıştır.



Şekil 3.11 Doygun hidrolik iletkenlik ölçümü için örneklerin doyurulması (solda) ve hidrolik iletkenliğin ölçümünde kullanılan sabit yük düzeneği (sağda)

Sabit yük düzeneği ile yapılan hidrolik iletkenlik okuma değerlerinin ortalaması alınmış (Q) ve hidrolik iletkenlik değeri Darcy eşitliği ile hesaplanmıştır (Eşitlik 3.1).

$$Q = KA \left(\frac{\Delta H}{\Delta L} \right) \quad (3.1)$$

Eşitlikte;

Q = Belirli bir zamanda kolonu terk eden su miktarı (cm^3/sn)

K = Kolonun hidrolik iletkenliği (cm/sn)

A = Kolonun yüzey alanı (πr^2) (cm^2)

ΔH = Toplam hidrolik yükteki değişim (cm)

ΔL = Kolonun derinliğindeki değişim (cm)

Darcy eşitliği ile hesaplanan doymun hidrolik iletkenlik değerleri ‘Field Book for Describing and Sampling Soils’ Toprak tanımlama kitabında verilen kriterlere göre değerlendirilmiştir (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3 Doymun hidrolik iletkenlik sınıflama ve kod değerleri (Schoeneberger *et al.* 2002)

Ks(cmh⁻¹)	Kod	Tanımlama(cmh⁻¹)
Çok düşük	1	< 0.0036
Düşük	2	0.0036-0.036
Orta düşük	3	0.036-0.36
Orta yüksek	4	0.36-3.6
Yüksek	5	3.6-36
Çok yüksek	6	≥36

Toprak hacim ağırlığı

Analizlerde doymun hidrolik iletkenlik ölçümünü takiben tarla kapasitesine ulaşmış toprak kolonlarından hacim ağırlığı silindirleri ile alınan örneklerin hacim ağırlıkları Blake and Hartge (1986) tarafından önerildiği şekilde belirlenmiştir. Çizelge 3.4’te toprak bünyesine göre hacim ağırlığı değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.4 Hacim ağırlığı sınıflama değerleri (Schoeneberger *et al.* 2002)

	Hacim Ağırlığı (gr cm⁻³)	Hacim Ağırlığı değer aralığı
Killi	1.25	1.20-1.30
Siltli kil	1.30	1.30-1.40
Killi tın	1.35	1.30-1.40
Silt	1.40	1.35-1.5
Kumlu tın	1.50	1.40-1.60
Kum	1.65	1.55-1.80

Toprak penetrasyon direnci

Doygun hidrolik iletkenlik ölçümünü takiben tarla kapasitesi su içeriğine gelen toprak kolonlarından hacim ağırlığı örnekleri alındıktan sonra penetrasyon direnci ölçülmüştür (Şekil 3.12). Genel olarak Penetrasyon direnci için sınıf aralıkları Çizelge 3.5’te verilmiştir.

Çizelge 3.5 Toprak penetrasyon direnci sınıflama değerleri (Schoeneberger *et al.* 2002)

Penetrasyon Direnci (MPa)	Sınıf
(0-50)	Çok düşük
(51-100)	Düşük
(101-150)	Orta
(151-200)	Yüksek
(201-250)	Çok yüksek
(251-300)	Oldukça yüksek



Şekil 3.12 Toprak penetrasyon direnci ölçümü

3.2.2.1.4 Toprak bünyesi

Toprak bünyesi, 40 gr toprak örneği kullanılarak disperse edilen örneklerde hidrometre yardımıyla “Bouyoucos Hidrometre” yöntemine göre (Gee ve Boudier 1986) ve tekstür üçgeni (Soil Survey 1993) yardımı ile belirlenmiştir. Tekstür sınıfları kum, kil ve silt kendi içlerinde maksimum ve minimum değerleri arasında eşit sınıflara ayrılarak kod numaraları oluşturulmuştur.

3.2.2.1.5 Agregat stabilitesi

Toprakların agregat dayanıklılık indeksi Kemper ve Rosenau (1986) tarafından önerilen, tek elek çapı ile değerlendirme yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

3.2.2.1.6 Tarla kapasitesi

Tarla kapasitesi seramik levhalar üzerine yerleştirilen 2 mm elekten elenmiş suyla doygun bozulmamış toprak örnekleri üzerine 0.33 bar'lık basınç uygulaması ile belirlenmiştir (Klute 1986).

3.2.2.1.7 Solma noktası

Daimi solma noktası için seramik levhalar üzerine yerleştirilen 2 mm'den elenmiş suyla doygun toprak örnekleri üzerine 15 bar basınç uygulaması ile belirlenmiştir (Klute 1986).

3.2.2.1.8 Toprak uzama katsayısı

Doğrusal Uzama Katsayısı (COLE): Doygunluktan biraz daha kuru nem düzeyinde çamur haline getirilen topraktan bir şırınga yardımıyla elde edilen 1 cm çapında ve 6-10 cm uzunluğundaki çubukların 48 saat süreyle havada kurutulduktan sonra (Şekil 3.13) uzunluklarının ölçülmesiyle ve aşağıdaki eşitliklerin kullanılması ile belirlenmiştir (Schafer and Singer 1976).

$$COLE = ((Lm - Ld) / Ld) \quad (3.2)$$

Lm = Nemli çubuğun uzunluğu (cm)

Ld = Kuru çubuğun uzunluğu (cm)



Şekil 3.13 Toprak örneklerinde uzama katsayısının belirlenmesi

3.2.2.2 Kimyasal analizler

Toprak kimyasal analizleri kapsamında Organik Madde, Toprak Reaksiyonu (pH), Elektriksel İletkenlik, CaCO₃, Katyon Değişim Kapasitesi ve Toprak Özgül Yüzey Alanı ölçümleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarından elde edilen değerler maksimum ve minimum değerleri arasında eşit sınıflara ayrılarak her sınıf için hidrolik iletkenlik ile ilişkisine göre artan veya azalan kod numaraları oluşturulmuştur.

3.2.2.2.1 Toprak organik maddesi

Toprak örneklerinde organik madde içeriği Wakley-Black yönteminin Jackson tarafından modifiye şekli ile belirlenmiştir (Page *et al.* 1982).

3.2.2.2.2 Toprak reaksiyonu ve EC

Toprak reaksiyonu cam elektrotlu Orion 420 A dijital pH metresi ile 1/2.5 oranındaki toprak saf su süspansiyonunda ölçülmüştür (Page *et al.* 1982). Toprak örneklerinin elektriksel iletkenliği saturasyon çamurunda ve ekstraktında kondaktivimetre aleti ile belirlenmiştir (Model 3200 Conductivity Instrument)(Rhoades 1990b). Örnekleme sırasında tuzlu toprakların görüldüğü alan Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14 Çalışma alanı toprağı yüzeyinde tuz görünümü

3.2.2.2.3 CaCO₃

Toprak örneklerinde kireç (CaCO₃) miktarının belirlenmesi, Scheibler kalsimetresiyle kapalı sistemde asit ile karıştırılan toprak örneğinden kalsiyum karbonatın (CaCO₃) çözünmesi sonucu açığa çıkan karbondioksit (CO₂) gazının standart sıcaklık ve basınç altındaki hacmi esas alınarak belirlenmiştir (Page *et al.* 1982).

3.2.2.2.4 Katyon değişim kapasitesi

Toprak örneklerinin Katyon Değişim Kapasiteleri, sodyum asetat (NaOAc) (pH = 8.2) ile toprağın değişim komplekslerindeki negatif elektriki yüklerin Na ile doyurulmasından ve çözelti fazlasının 5 dak karıştırıldıktan ve 3'er defa 5 dak. santrifüjlenerek giderilmesinden sonra adsorbe edilmiş sodyum miktarının, nötr 1 N Amonyum Asetat (NH₄OAc) çözeltisindeki NH₄ ile yer değiştirmesi ile belirlenmiştir (Page *et al.* 1982).

3.2.2.2.5 Toprak özgül yüzey alanı

Bu çalışmada, toprakların özgül yüzey alanı polar bir molekül (EGME) yardımı belirlenmiştir. Polar özellikte olan bu molekül parçacıkların etrafında sadece bir kat film oluşturmaktadır. Kullanılan EGME miktarı toplam yüzey alanının bir sonucu olarak algılanmakta ve gerekli hesaplamalar yardımı ile özgül yüzey alanı hesaplanmaktadır (Carter *et al.* 1986).

Toprak örneklerinin Özgül Yüzey Alanı (S) Ethylene Glycol Monoethyl Ether (EGME) yöntemine göre ölçülmüştür (Skopp 1995). Toprak örnekleri 1-1.1 gr arasında tartılmış (Şekil 3.15) ve 1 M CaCl₂ ile doyurulup, 1 saat çalkalayıcıda tutulduktan sonra 15 dak. 2000 rpm'de santrifüjlenmiştir. Bu işlem 4 defa tekrarlanarak toprak örnekleri hava kuru koşullarda kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan topraklar 0.5 mm'lik elekten geçirilerek, doğal nemin kaybedilmesi amacıyla P₂O₅ (fosfor penta oksit) ile 40 °C'de vakum dolabında 1 gün bekletilmiştir.

Egme çözeltileri damlatılan örneklerde toprak yüzeyinde tutulan EGME miktarı dengeye ulaşıncaya kadar tartımlar yapılmış ve toprakların özgül yüzey alanları fırın kuru toprak ağırlığı (FKT) üzerinden m^2/gr olacak şekilde aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Eşitlik 3.3).

$$S = (Tutulan\ EGME) / (0.000286 * FKT) \quad (3.3)$$

Eşitlikte;

- S = Toprak özgül yüzey alanı (m^2/gr)
 $0,000286$ = Bir gram toprakta tek bir tabaka EGME oluşturmak için kullanılan EGME'nin ağırlığı
 FKT = Fırın kuru tartım (gr)



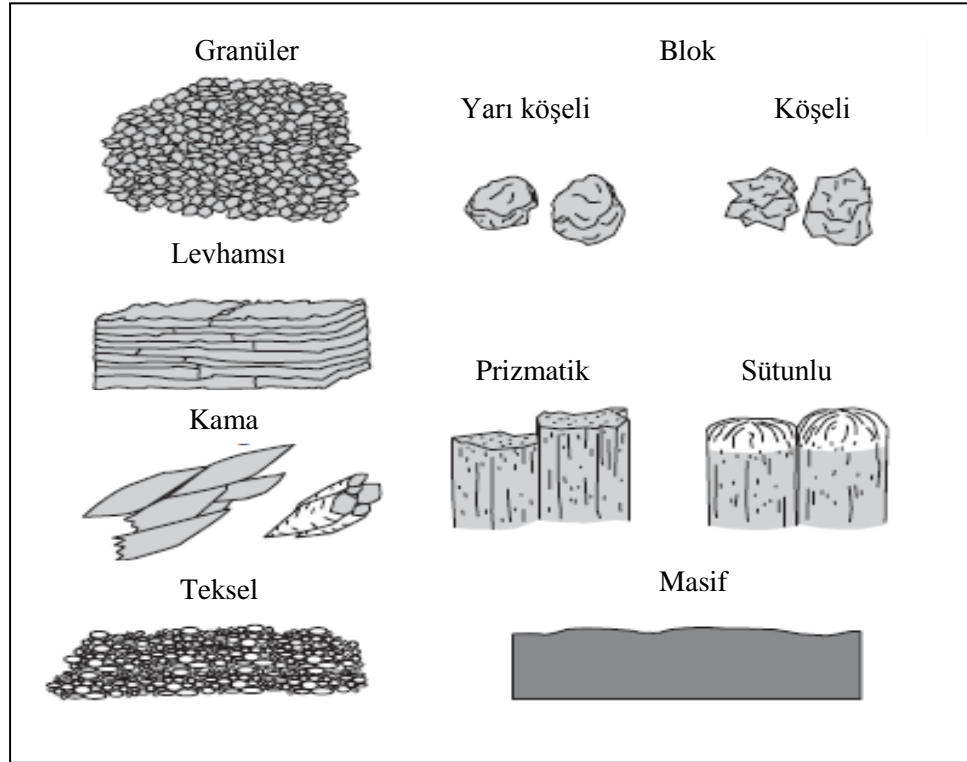
Şekil 3.15 Toprak örneklerinin özgül yüzey alanı ölçümü için hazırlanması

3.2.2.3 Morfolojik tanımlamalar

Doygun hidrolik iletkenlik ölçümünü takiben, kolonlarda penetrasyon direnci ölçümü yapıldıktan sonra toprak kolonlarındaki toprak çıkarılarak toprak profil tanımlamalarında kullanılan tanımlama kartları yardımıyla toprak yapısı, gözenekler, kıvam, yapışkanlık, plastiklik, kök, leke ve benekler gibi morfolojik özellikler incelenmiştir. Toprak tanımlama kartlarındaki kriterler morfolojik özelliklerin hidrolik iletkenlik ile ilişkisi dikkate alınarak kod numaraları verilmiştir.

3.2.2.3.1 Toprak strüktürü (yapısı)

Toprak örneklerinin yapısı toprak profil tanımlamalarında kullanılan tanımlama kartları yardımıyla sınıflandırılmıştır (Şekil 3.16). Bu özelliklere göre toprak örnekleri tip (Çizelge 3.6 ve Şekil 3.17), büyüklük (Çizelge 3.7, Şekil 3.18 ve 3.19) ve derece (Çizelge 3.8) bakımından sınıflandırılmış ve kod numaraları verilmiştir.



Şekil 3.16 Toprak strüktür tipleri (Schoeneberger *et al.* 2002)

Çizelge 3. 6 Toprak Strüktürünün tip bakımından tanımlanmasında kullanılan kriterler (Schoeneberger *et al.* 2002)

Tip		Kod	Tanımlama
Yapısız	Masif	1	Toprak zerreleri birbirlerini tutarlar. Yapışık olurlar. Bu durum daha çok henüz oluşmamış, genç, ince bünyeli, bozuk drenajlı, havasız topraklarda görülür.
	Teksel		Toprak zerreleri birbirlerini tutmazlar. Bağlantısız olurlar. Bu durum kumul (eksibe) ve kumlu topraklarda görülür.
Levha (pul)		2	Bu topraklarda geçirgenlik çok yavaştır. Topraktaki su, yapının şekline bağlı olarak yatay dilinimler arasında hareket ettiğinden toprak profilinden uzaklaşması uzun zaman alır.
Prizma	Prizmatik	3	Zayıf oluşmuş kaba prizmatik yapıli topraklarda geçirgenlik orta derecededir. Prizmaların küçük ve kuvvetli olması halinde ise porozite azaldığından geçirgenlik yavaş olur.
	Sütünvari		
Blok	Köşeli Blok	4	Bu yapıya sahip topraklarda su akışı nispeten daha hızlıdır.
	Yuvarlak köşeli blok	5	
Küre	Granüler (Gözenekli)	6	Bu yapının egemen olduğu topraklarda su hareketi hızlıdır. Su küresel yapılar arasında bulunan ve birbirleriyle bağlantılı olan gözeneklerde hızla hareket eder.
	Kırıntı (Çok gözenekli)		



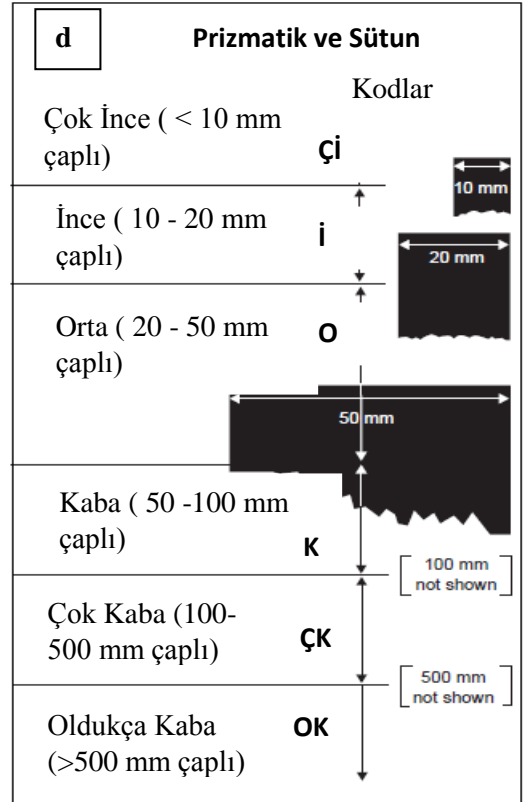
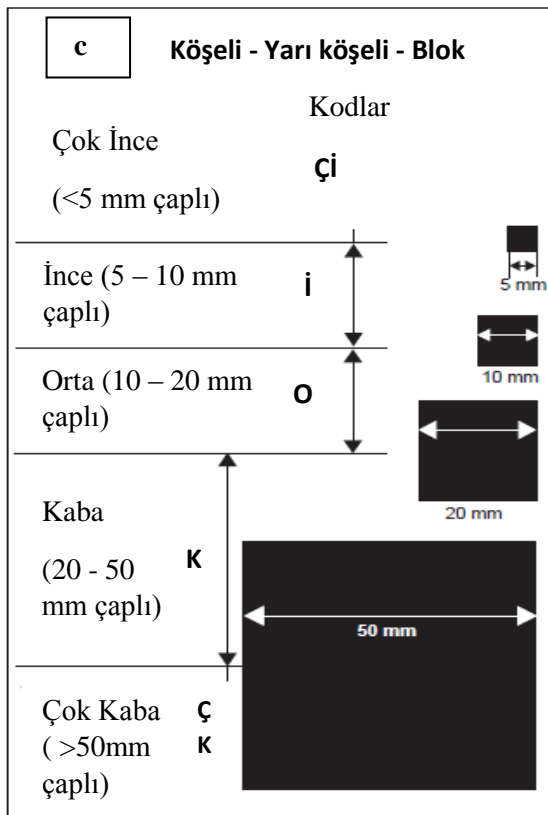
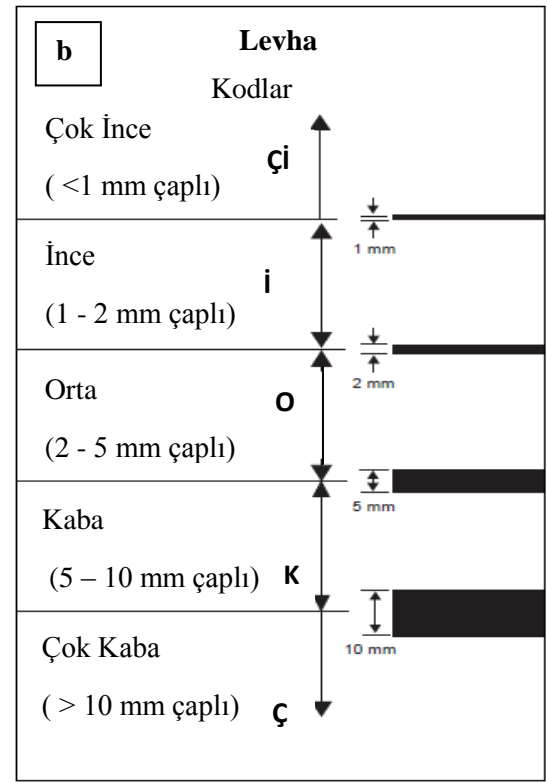
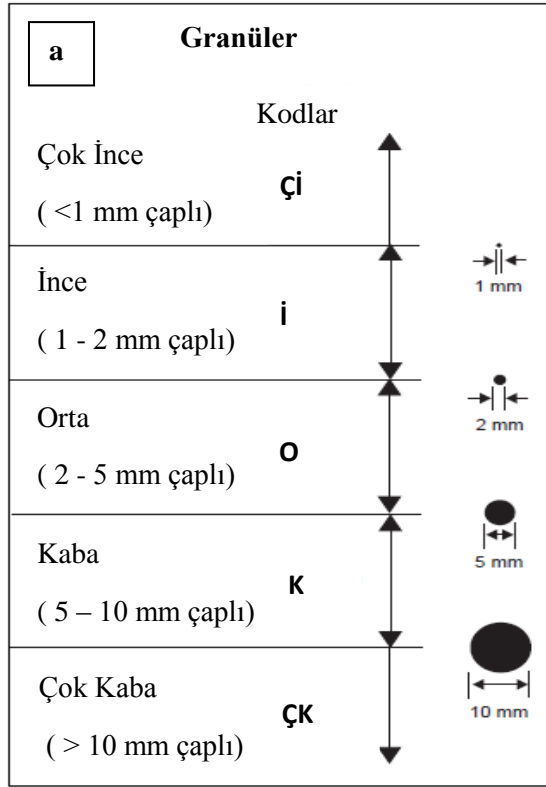
Şekil 3.17 Granüler (a) ve köşeli (b) yapıdaki toprak örnekleri

Çizelge 3.7 Toprak Strüktürünün büyüklük bakımından tanımlanmasında kullanılan kriterler (Schoeneberger *et al.* 2002)

Büyüklik	Kod	Küresel ve levhamsı (mm)	Bloksu (mm)	Prizmamsı (mm)
Çok ince	1	< 1	< 5	< 10
İnce	2	1 - 2	5 - 10	10 - 20
Orta	3	2 - 5	10 - 20	20 - 50
Kaba	4	5 - 10	20 - 50	50 - 100
Çok kaba	5	10	50	100-500
Ekstra kaba	6	-	-	500



Şekil 3.18 Farklı büyüklükteki toprak örnekleri



Şekil 3.19 Toprak yapısının büyüklüklerinin sınıflandırılması (Schoeneberger *et al.* 2002)

Çizelge 3.8 Toprak Strüktürünün derece bakımından tanımlanmasında kullanılan kriterler(Schoeneberger *et al.* 2002)

Derece	Kod	Tanımlama
Yapısız	1	Pedler arasında bağlantı yoktur, ayrı birimler gözlenmez.
Zayıf	2	Agregasyon az olduğundan, yapı hafif temasla bozulur. Ped'ler iyi oluşmadığından, zor belirlenir.
Orta	3	Ped'ler iyi oluşmuştur ve kolayca belirlenir
Güçlü	4	Ped'ler çok iyi oluştuğundan, net olarak görülür ve birbirinden zor ayrılır.

3.2.2.3.2 Toprak gözenekliliği (porlar)

Makroporlar ve toprağın fiziksel özellikleri bakımından önemli olan mikroporlar miktar (Çizelge 3.9), büyüklük (çap) (Çizelge 3.10), tip (Çizelge 3.11) ve şekil (süreklilik, oryantasyon, dağılım)(Çizelge 3.12) bakımından incelenmiştir.

Çizelge 3.9 Toprak gözenekliliğinin miktar bakımından sınıflandırılması (Schoeneberger *et al.* 2002)

Miktar	Kod	dm ²
Seyrek	3	1-50
Olağan	2	50-200
Çok	1	>200

Çizelge 3.10 Toprak gözeneklerinin (porlar) büyüklük bakımından sınıflandırılması (Schoeneberger *et al.* 2002)

Büyüklük	Kod	Çap(mm)
Mikro	1	< 0.075
Çok ince	2	0.075-1
İnce	3	1-2
Orta	4	2-5
Kaba	5	5-10
Çok kaba	6	≥10

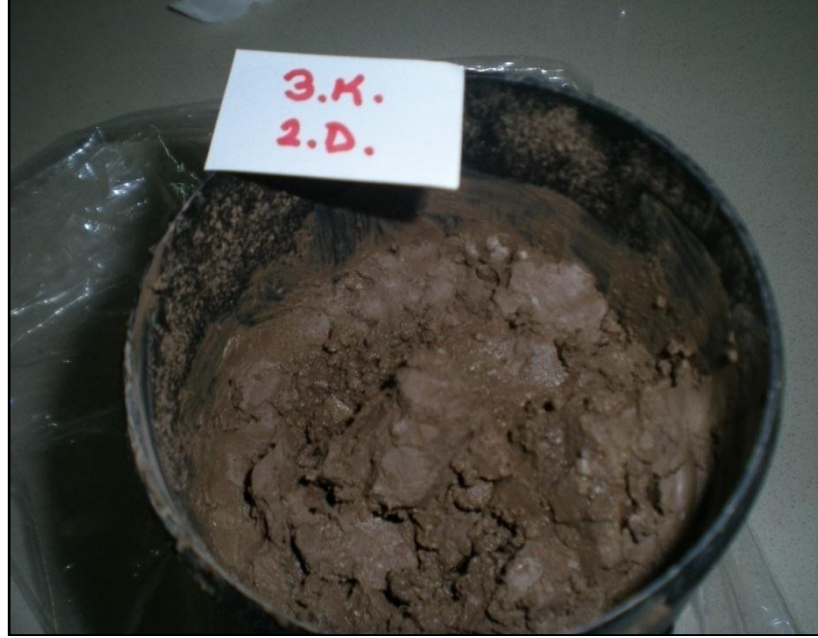
Çizelge 3.11 Toprak gözeneklerinin (porlar) tip bakımından sınıflanması (Schoeneberger *et al.* 2002)

Tip	Kod	Tanımlama
Düzensiz (İrregular)	1	Toprak mikroorganizmaları tarafından oluşturulan boşluklar
Vesiküler	2	Şekil olarak yaklaşık küresel veya elipsoiddir.
Dendritic	3	Porlar terk edilmiş kök kanalları gibi dallanmıştır.
Tübüler	4	Porlar tek borucuk halindedir
İnterstisyel	5	İçeriye kıvrık yüzeylerle şekil olarak düzensizdir. Birincil paket boşluklar (kaya parçaları veya kum)

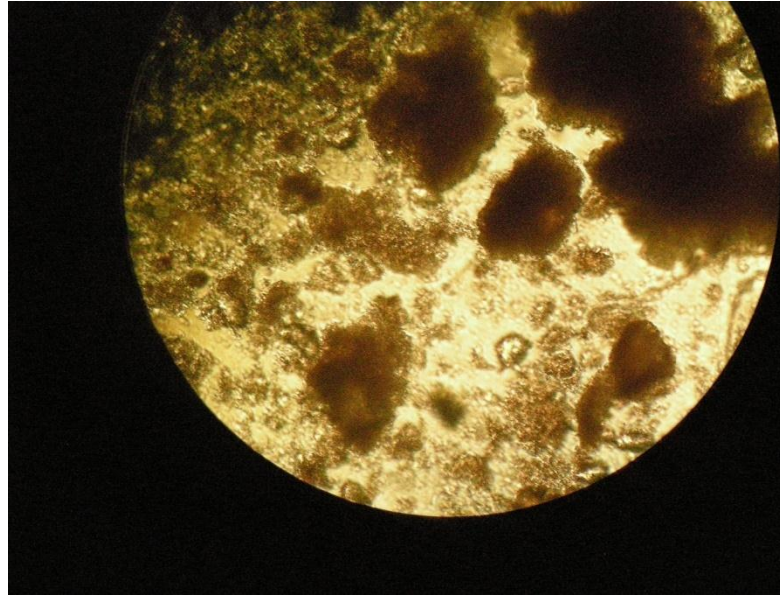
Çizelge 3.12 Toprak gözeneklerinin (porlar) şekil olarak sınıflanması (Schoeneberger *et al.* 2002)

Gözenek Şekli		
Süreklilik	Kod	Tanımlama
Sürekli	1	Porlar horizon içinde uzanır.
Süreksiz	2	Porlar horizon içinde tamamen uzanmaz
Düzen		Tanımlama
Düşey	1	Porların çoğu düşey olarak veya diagonalden ziyade düşeye yakın düzenlenmiştir.
Yatay	2	Porların çoğu yatay olarak veya diagonalden ziyade yataya yakın düzenlenmiştir.
Eğik	3	Porların çoğu düşey ile 45°'lik açı yapacak şekilde yatay veya düşeyden ziyade diagonale yakın düzenlenmiştir.
Gelişigüzel	4	Porlar bütün yönlerde rastgele düzenlenmiştir.
Dağılım		Tanımlama
Ped içi	1	Porların çoğu pedlerin içindedir.
Ped dışı	2	Porların çoğu pedlerin yüzeyleri arasındadır.

Toprak örneğinde makro gözeneklerin görünümü Şekil 3.20’de, toprak gözeneklerinin mikroskopta görünümü ise Şekil 3.21’de verilmiştir.



Şekil 3.20 Toprak örneğinde makro gözeneklerin görünümü



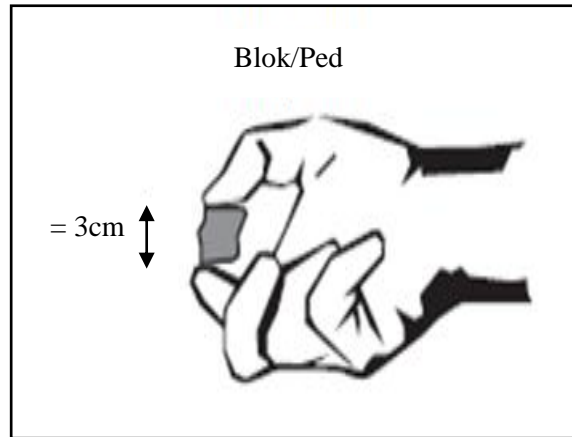
Şekil 3.21 Toprak örneği gözeneklerinin mikroskopta görünümü

3.2.2.3.3 Toprak kıvamı

Toprak örneklerinin kopmaya karşı direnci Blok/Ped/Parça şeklindeki topraklar için tahmin edilmiştir. Toprak örnekleri kuru iken kıvam değerleri beş derece ile belirlenmiştir (Çizelge 3.13). Toprak örneklerinden yaklaşık 3 cm büyüklüğünde toprak parçaları seçilmiş ve basınç uygulanarak dayanıklılığı değerlendirilmiştir (Şekil 3.22).

Çizelge 3.13 Toprak kıvamı (consistence) sınıflandırılmasında kullanılan kriterler (Toprak ve Arazi Sınıflaması Standartları Teknik Talimatı ve İlgili Mevzuat 2008)

Kıvam	Kod	Tanımlama
Gevşek	1	Taneler arasında tutunma yoktur.
Yumuşak	2	Taneler arasında tutunma zayıftır, hafif basınçla toz hale gelir.
Hafif Sert	3	Hafif basınçta kırılıp ufalanır.
Sert	4	Basınca oldukça dayanıklıdır, parmaklar arasında zor kırılır, avuç içinde kırılıp ufalanabilir.
Çok Sert	5	Basınca çok dayanıklıdır. Parmaklar arasında kırılmaz, avuç içinde zor kırılır.



Şekil 3.22 Toprak örneklerinin kıvam (consistence) ölçümü (Schoeneberger *et al.* 2002)

Kıvam, toprak zerreleri arasındaki kohezyon (tutunma) derecelerine bağlı olarak, toprağın basınç altında kopma, kırılma ve Şekil değiştirmeye karşı dayanıklılığını, yapışkanlık ve plastiklik derecesini ifade eder. Toprak kıvamı, Toprak ve Arazi Sınıflaması Standartları Teknik Talimatı ve İlgili Mevzuat (2008)'e göre kuru, nemli ve yaŐ olmak üzere c nem durumunda incelenir. Toprak örneklerinde kıvam, toprağın hava kurusu ile tarla kapasitesi arasındaki nem durumunda basınca dayanıklılığı ile altı derecede belirlenmiştir (izelge 3.14).

Çizelge 3.14 Toprak nemli kıvamının tanımlanmasında kullanılan kriterler (Toprak ve Arazi Sınıflaması Standartları Teknik Talimatı ve İlgili Mevzuat 2008)

Kıvam	Kod	Tanımlama
Gevşek	1	Taneler arasında tutunma (bağlantı) yoktur.
Çok Dağılğan	2	Hafif basınçla dağılır.
Dağılğan	3	Parmaklar arasında orta bir basınçla dağılır.
Sıkı	4	Dağılmaya karşı oldukça dayanıklıdır.
Çok Sıkı	5	Parmaklar arasında dağılmaz, kuvvetli basınçla ezilir.
Çok Fazla Sıkı	6	çok kuvvetli basınçla ezilir.

3.2.2.3.4 Toprak yapışkanlığı

Toprak yapışkanlığı toprak nemi tarla kapasitesinin biraz üzerinde iken belirlenmiştir. Yapışkanlık, toprak başparmak ile işaret parmağı arasında sıkıldığında yapışma izlenmiş (Şekil 3.23) ve yapışma derecelerine göre sınıflandırılmışlardır (Çizelge 3.15).



Şekil 3.23 Toprak örneklerinin yapışkanlığının belirlenmesi

Çizelge 3.15 Toprak yapışkanlığının sınıflandırılmasında kullanılan kriterler(Toprak ve Arazi Sınıflaması Standartları Teknik Talimatı ve İlgili Mevzuat 2008)

Yapışkanlık	Kod	Tanımlama
Yapışkan değil	4	Toprak parmaklar arasında sıkılıp bırakıldığında hiç yapışmaz.
Hafif yapışkan	3	Toprak yalnız bir parmağa yapışır.
Yapışkan	2	Toprak her iki parmağa yapışır ve parmaklar açılırken çamur biraz uzar.
Çok yapışkan	1	Toprak parmaklara kuvvetlice yapışır ve parmaklar açılırken çamur belirli şekilde uzar.

3.2.2.3.5 Toprak plastikliği

Plastiklik, toprak materyalinin uygulanan bir baskı etkisi altında şeklini sürekli olarak değiştirme ve baskı kalktığıında aldığı şekli muhafaza etme yeteneğidir. Toprak plastikliği, toprak nemi tarla kapasitesinde iken farklı çaplarda rulolar haline getirilmiş, uçlarından tutulduğunda kendilerini destekleyebilme durumuna göre değerlendirilmiş (Şekil 3.24) ve plastiklik derecelerine göre sınıflandırılmışlardır (Çizelge 3.16).



Şekil 3. 24 Toprak örneklerinde plastiklik ölçümü

Çizelge 3.16 Toprak plastikliğinin tanımlanmasında kullanılan kriterler (Schoeneberger *et al.* 2002)

Plastiklik	Kod	Tanımlama
Plastik değil	4	Toprak ip şeklini almaz
Hafif plastik	3	İp şeklini alır, fakat kolayca kopar, bozulur.
Plastik	2	İp şeklini alır ve orta basınçla kırılıp bozulur.
Çok plastik	1	İp şeklini alır ve kırılıp bozulmaya karşı dayanıklıdır.

3.2.2.3.6 Toprakta kökler

Toprak örneklerinde kökler miktar, büyüklük ve buldukları yer bakımından incelenmiş (şekil 3.25) ve kod değerleri ile ifade edilmiştir (izelge 3.17).



şekil 3.25 Toprak örneklerinde köklerin görünümü

Çizelge 3.17 Toprak örneklerinde köklerin tanımlanmasında kullanılan kriterler (Schoeneberger *et al.* 2002)

Miktar		Kod	Büyüklik		Kod	Konum	Kod
Az	<1	1	Çok ince	<1mm	1	Pedler arasında	P
Genel	1 – 5	2	İnce	1-2mm	2	Çatlaklarda	C
Çok	> 5	3	Orta	2-5 mm	3	Profil boyunca	T
			Kaba	5-10 mm	4	Horizon yüzeyinde	M
			Çok kaba	>10 mm	5	Kaya parçaları etrafında	R

3.2.2.3.7 Toprakta leke ve benekler

Toprak örneklerinde benek ve lekeler toprak yüzeyini kaplama yüzdesine göre değerlendirilmiş (Şekil 3.26) ve 3 sınıfta kodlanmıştır (Çizelge 3.18).



Şekil 3.26 Toprak örneklerinde leke ve beneklerin görünümü

Çizelge 3.18 Toprak örneklerinde benekliliği belirlemede kullanılan kriterler (Schoeneberger *et al.* 2002)

Miktar	Kod	Yüzeyi kaplama oranı (%)
Yok veya çok az	1	%2
Genel	2	%2 - % 20
Çok	3	≥% 20

3.2.2.3.8 Toprak rengi

Toprak örneklerinin farklı renkleri Munsell Skalası kullanılarak tanımlanmıştır (Şekil 3.27). Tanımlanan renkler hidrolik iletkenliğe bağlı olarak koyu renkten açık renge doğru artan sınıf aralıkları oluşturulmuş ve her sınıf için ayrı ayrı kod numaraları verilmiştir (Çizelge 3. 19).



Şekil 3.27 Farklı renk özelliği gösteren toprak örnekleri ve toprak renklerinin munsell skalası ile belirlenmesi

Çizelge 3.19 Toprak örneklerinin renklerine göre oluşturulan kodlar

Toprak rengi	Kod	Toprak rengi	Kod
Gley	1	7.5 YR 4/4	3
7.5 YR 3/2	2	7.5 YR 5/2	4
7.5 YR 3/3	2	7.5 YR 5/3	4
7.5 YR 3/4	2	7.5 YR 5/4	4
7.5 YR 4/2	3	7.5 YR 6/2	5
7.5 YR 4/3	3	7.5 YR 6/3	5

Çalışma alanından seçilen 60 örnekleme noktasından iki farklı derinlikten olmak üzere toplam 120 adet örnek alınmıştır. Bu örnekler içerisinde farklı nokta ve derinlikleri temsil edecek şekilde olmasına dikkat edilerek rastgele 40 adet toprak örneği ayrılmıştır. Kalan 80 adet toprak örneği PTF'nin elde edilmesi amacı için (kalibrasyon), seçilen 40 adet toprak örneği ise elde edilen PTF'nin doğrulanması için (validasyon) kullanılmıştır (Çizelge 3.20).

Doygun hidrolik iletkenlik ile toprak parametrik ve morfolojik özellikleri arasında ileri basamak (forward stepwise) lineer regresyon analizi ile K_s 'in tahmininde önemli etkisi olan değişkenler belirlenmiştir. Önemlilik testinde %5 önem seviyesi esas alınmıştır. Daha sonra bu değişkenler ile K_s arasında çoklu regresyon yapılarak ilgili PTF eşitliği elde edilmiştir. Kalibrasyon verileri ile elde edilen eşitlik validasyon verileri ile kullanılarak elde edilen PTF'nin başarısı değerlendirilmiştir.

Pedotransfer fonksiyonunun başarısının belirlenmesinde validasyon için kullanılan 40 adet örneğe ilişkin ölçülen ve tahmin edilen değerler arasında korelasyon katsayısı belirlenmiş, verilerin 45^0 'lik açı ile 1:1 doğrusu üzerindeki saçılmasına bakılmıştır. Tahmin edilen K_s değerlerinin doğruluğu; Ortalama Hata (ME), Hata Kareleri Ortalaması (RMSE) ve Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error) ile değerlendirilmiştir.

Çizelge 3.20 PTF için seçilen kalibrasyon ve *validasyon* örnekleri

1*1	#7*1	13*1	19*1	25*1	31*1	37*1	43*1	49*1	55*1
1*2	##7*2	13*2	19*2	25*2	31*2	37*2	43*2	49*2	55*2
2*1	8*1	14*1	20*1	26*1	32*1	38*1	44*1	50*1	56*1
2*2	8*2	14*2	20*2	26*2	32*2	38*2	44*2	50*2	56*2
3*1	9*1	15*1	21*1	27*1	33*1	39*1	45*1	51*1	57*1
3*2	9*2	15*2	21*2	27*2	33*2	39*2	45*2	51*2	57*2
4*1	10*1	16*1	22*1	28*1	34*1	40*1	46*1	52*1	58*1
4*2	10*2	16*2	22*2	28*2	34*2	40*2	46*2	52*2	58*2
5*1	11*1	17*1	23*1	29*1	35*1	41*1	47*1	53*1	59*1
5*2	11*2	17*2	23*2	29*2	35*2	41*2	47*2	53*2	59*2
6*1	12*1	18*1	24*1	30*1	36*1	42*1	48*1	54*1	60*1
6*2	12*2	18*2	24*2	30*2	36*2	42*2	48*2	54*2	60*2

#: 7*1 gösteriminde; 7 yedinci örnekleme noktasını, 1 ise 0-15 cm örnekleme derinliğini,

##: 7*2 gösteriminde; 7 yedinci örnekleme noktasını, 2 ise 15-30 cm örnekleme derinliğini belirtmektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada doymun hidrolik iletkenliğin tahmini için toprak parametrik ve morfolojik özellikleri kullanılarak bir PTF oluşturulmuştur. Pedotransfer fonksiyonu için kullanılan toprak örneklerinin parametrik ve morfolojik özelliklerine ait tanımsal istatistikler ve grafikler toplam örnek sayısı (120) için, kalibrasyon (80 örnek) örnekleri için ve validasyon (40 örnek) örnekleri için ayrı çizelgelerde verilmiştir.

4.1. Tanımsal istatistiksel analizler

Çalışmada kullanılan 120 adet toprak örneğinin parametrik özelliklerine ait tanımsal istatistikler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Toplam örnek sayısının (120) parametrik özelliklerine ait tanımsal istatistikler

Toprak özellikleri	Mak.	Min.	A.O	SS	VK%
K _s , cm/h	2.71	0.0036	0.83	0.66	79.97
Kil, %	82.7	6.18	45.83	17.89	39.04
Kum, %	74.17	1.49	27.91	17.31	62.02
Silt, %	65.54	4.89	26.25	10.50	40.0
HA, gr/cm ³	1.62	1.06	1.25	0.09	7.7
PD, KPa	220	25.0	109.0	50.48	46.31
ÖYA, m ² /gr	284.85	82.08	204.28	47.10	23.05
KDK, meg/100 gr	73.85	21.8	55.19	8.36	15.16
COLE, %	9.8	4.0	8.17	1.50	18.42
TK, %	43	20	35.31	6.63	18.77
SN, %	31.0	8.0	23.06	6.52	28.27
pH	9.77	6.7	8.40	0.47	5.68
EC	0.47	0.01	0.12	0.09	73.0
ASI	0.59	0.19	0.49	0.038	7.71
OM, %	7.98	0.40	4.13	1.29	31.42
CaCO ₃ , %	24.15	5.10	15.18	4.26	28.03

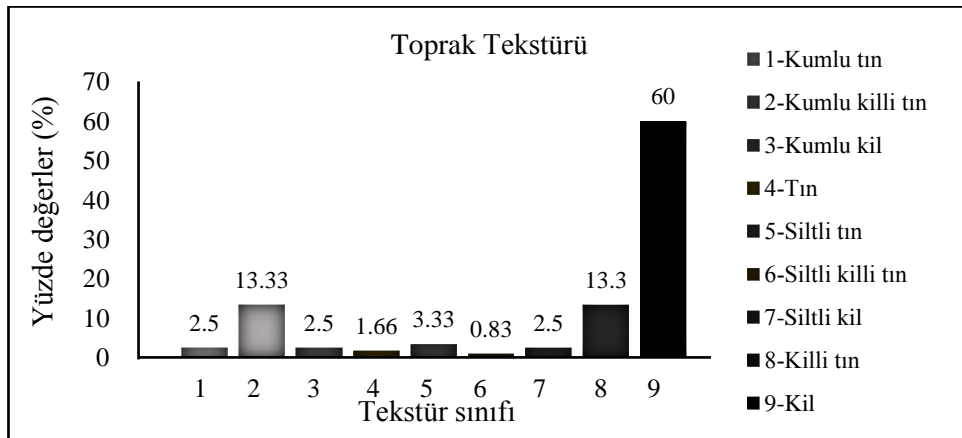
K_s: Doymun hidrolik iletkenlik, HA; Hacim ağırlığı, PD; Penetrasyon direnci, ÖYA; Özgül yüzey alanı, KDK; Katyon değişim kapasitesi, COLE; Toprak uzama katsayısı, TK; Tarla kapasitesi, SN; Solma noktası, ASI; Agregat stabilite indeksi, OM; Organik madde, Mak; Maksimum, Min; Minimum, A.O.; Aritmetik Ortalama, SS; Standart Sapma, VK; Varyasyon Katsayısı

Çizelge 4.1'e göre en büyük değişkenlik doygun hidrolik iletkenlik değeri için ve en küçük değişkenlik değeri pH için bulunmuştur. Bu sonuçlar literatürde bildirilen sonuçlar ile uyumludur (Mulla and McBratney 2002).

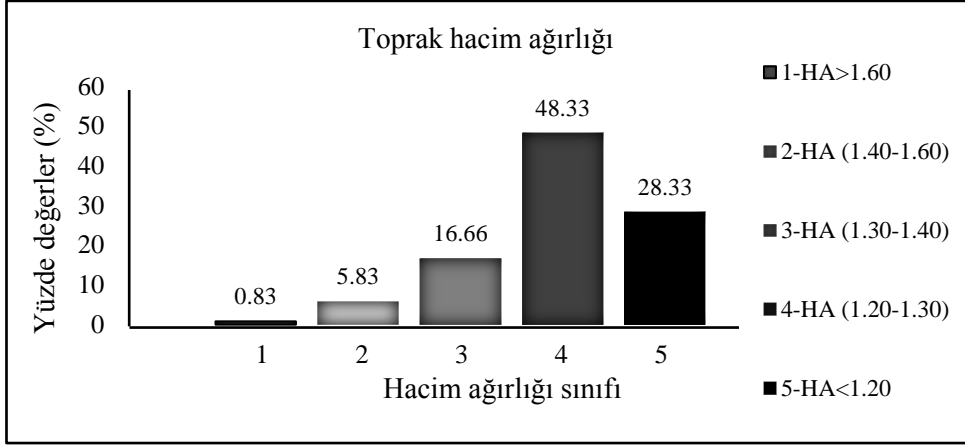
Toprak özelliklerinin çoğu orta düzeyde bir değişkenlik göstermiştir (Mulla and McBratney 2002). Beklenenin tersine toprak tekstür bileşenleri literatürde genel olarak kabul edilen değerlerden daha yüksek değişkenlik göstermişlerdir. Bu sonuç çalışma alanının topografyasındaki yüksek değişkenliğe ve toprakların alüvyal ve kolüvyal ana malzemedan oluşmasına bağlanmıştır.

Günel (2006) tarafından belirtildiği gibi parçacık büyüklük dağılımlarında gözlemlenen bu değişkenlik kendisini alüvyal taşkın ovalarında depozitlerin depolanma yerlerinde oluşan topraklarda göstermektedir. Bir nehir taşkın düzlüğüne girdiğinde kendisine yakın olan yerlere kaba, uzak olan yerlere ise ince materyalleri depolamaktadır. Araştırma alanı toprakları alüvyal arazilerdeki toprakların tipik olarak nehir yatağından uzaklaştıkça daha ağır tekstürlü olduğu (Günel 2006) özelliğini göstermektedir.

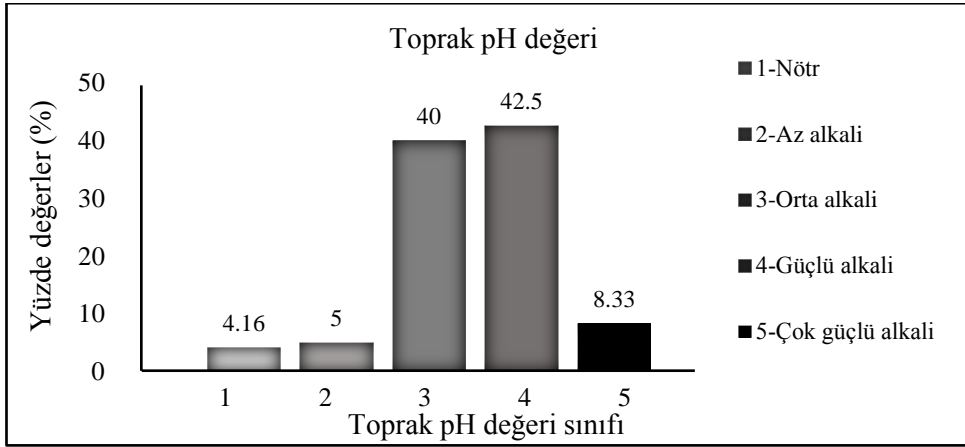
Kum ve ince kum içeriğinin aksine, alüvyon alanda kil içeriği daha yüksektir (Sağlam *et al.* 2011). Toprak örneklerinin % 60'ı killi tekstürlüdür ve alüvyal toprak özellikleri taşımaktadır. Yuvarlak kireç taşlarının mikromorfolojik yapılarına alüvyal ve kolüvyal topraklarda rastlanır (Tsatskin and Gendler 2002). Araştırma alanı örnekleri çoğunlukla kireçli ve çok kireçli değerlere sahip olan topraklardır (Şekil 4.4). Toprak örneklerinin (120 örnek) bazı parametrik özelliklerine ilişkin değerleri Şekil (4.1- 4.4) ile gösterilmiştir.



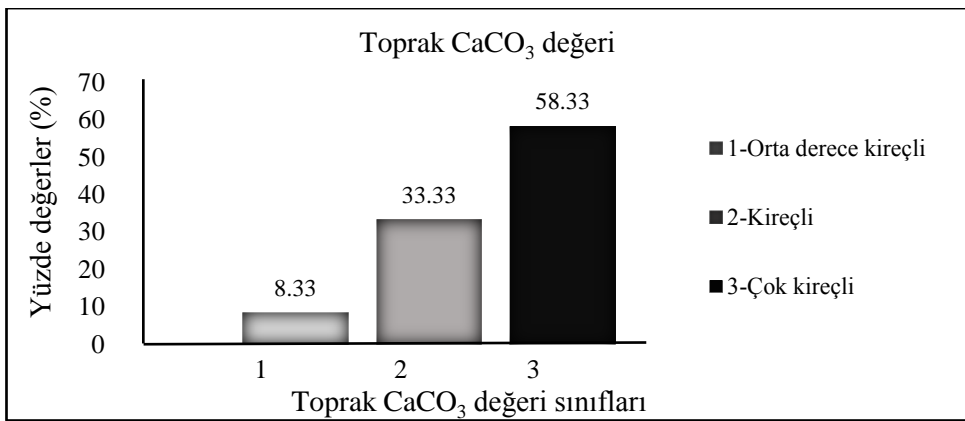
Şekil 4.1 Toprak tekstür sınıflarının dağılımı



Şekil 4.2 Toprak hacim ağırlığına ait değerlerin dağılımı



Şekil 4.3 Toprak pH değerlerinin dağılımı



Şekil 4.4 Toprak CaCO₃ değerlerine ait değerlerin dağılımı

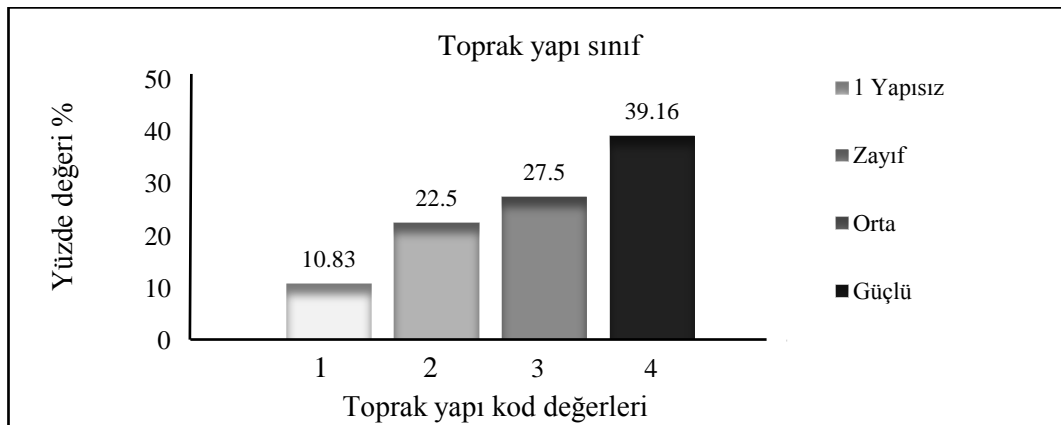
Toprak örneklerinin morfolojik özelliklerine ait tanımsal istatistikler Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Toplam örnek sayısının (120 örnek) morfolojik özelliklerine ait tanımsal istatistikler

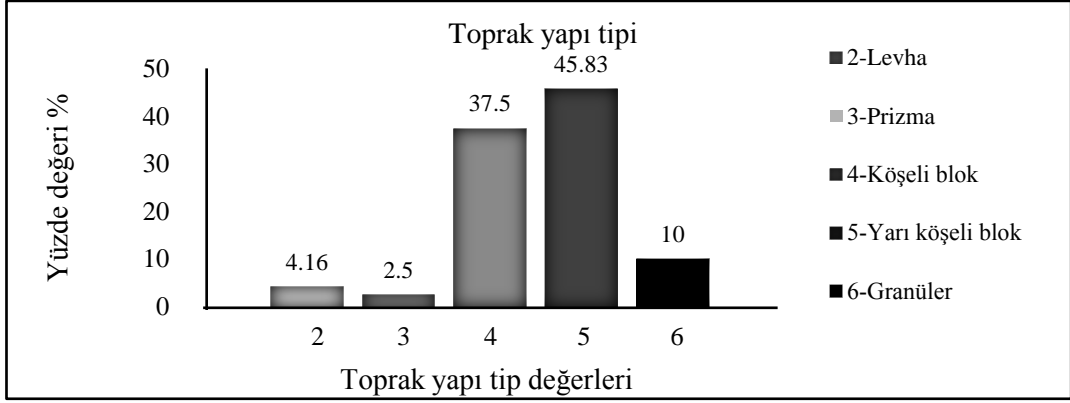
Toprak özellikleri	Mak.	Min.	A.O	SS	VK%
Yapı sınıfı	4	1	2.05	1.02	50.13
Yapı tipi	6	2	4.55	0.86	19.08
Yapı büyüklük	4	1	2.83	0.99	34.94
Gözenek büyüklüğü	5	1	2.42	1.36	56.23
Gözenek miktarı	3	1	1,85	0.78	42.02
Kıvam	6	1	3.62	1.26	34.68
Plastiklik	4	1	2.24	0.89	40.06
Yapışkanlık	4	1	2.37	0.78	32.77
Kök büyüklüğü	4	1	1.26	0.67	52.91
Kök miktarı	4	1	1.34	0.82	61.48
Benek	3	1	1.07	0.29	27.4
Renk	5	2	3.46	0.97	28.21

Mak; Maksimum, Min; Minimum, A.O.; Aritmetik Ortalama, SS; Standart Sapma, VK; Varyasyon Katsayısı

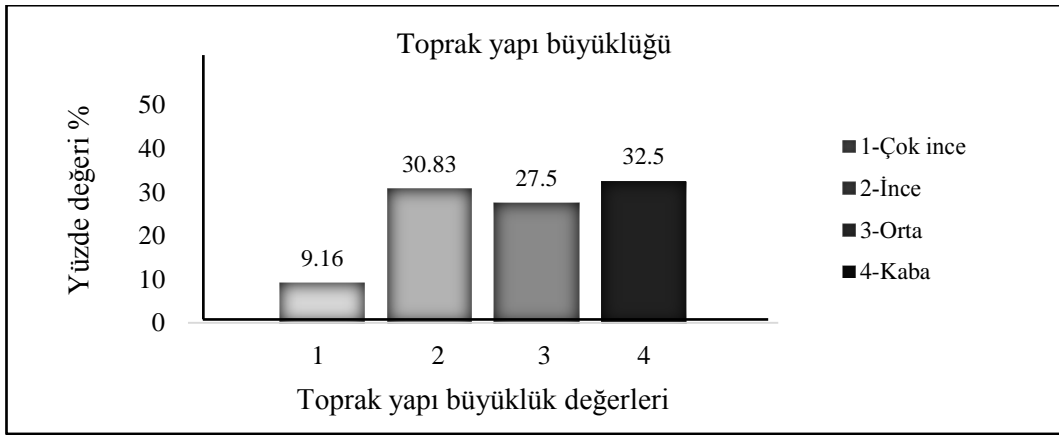
Çizelge 4.2'ye göre toprak morfolojik özellikleri içerisinde en büyük değişkenlik değeri kök miktarı, en küçük değişkenlik değeri ise toprak yapı tipine aittir. Toprak örneklerinde kök miktarı sayı olarak fazla olmamakla birlikte bulunan kökler boyut bakımından önemlidir. Toprakların kil içeriği genellikle yüksektir. Toprak örnekleri yapı tipi bakımından çoğunlukla köşeli ve yarı köşeli sınıfında değerlendirilmiş ve bu sınıflamaya ait kod numaraları verilmiştir. Bu nedenle toprak yapı tipi fazla değişkenlik göstermemiştir (Şekil 4.6). Toprak örneklerinin morfolojik özelliklerine ait değerlerin oranları Şekil (4.5 - 4.16) ile gösterilmiştir.



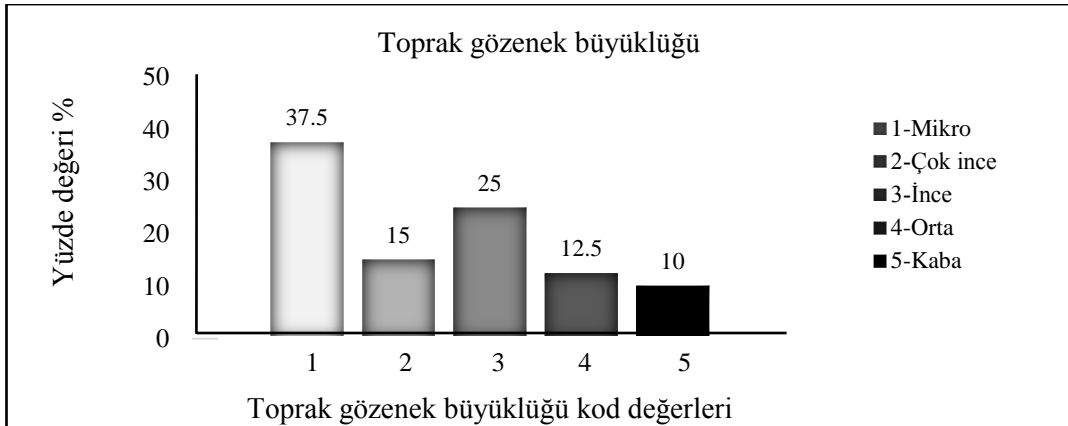
Şekil 4.5 Toprak yapı sınıfına ait kod değerlerin dağılımı



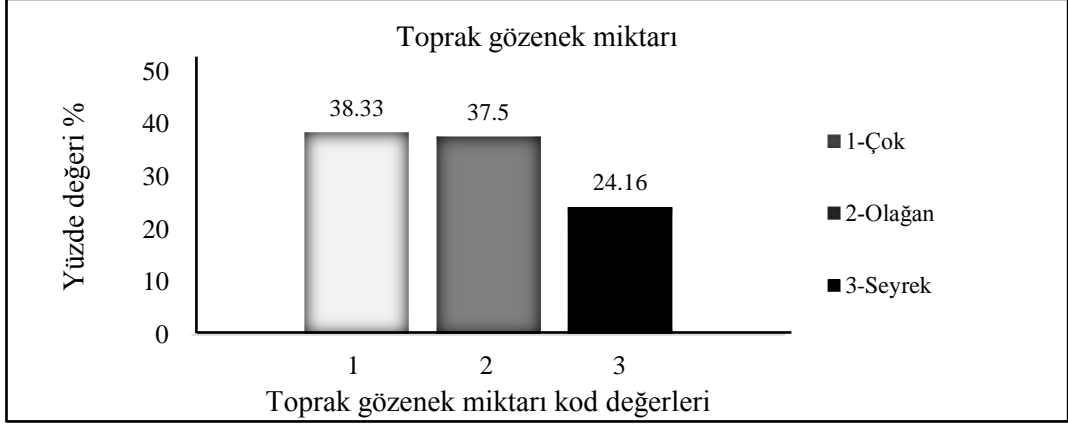
Şekil 4.6 Toprak yapı tipine ait kod değerlerinin dağılımı



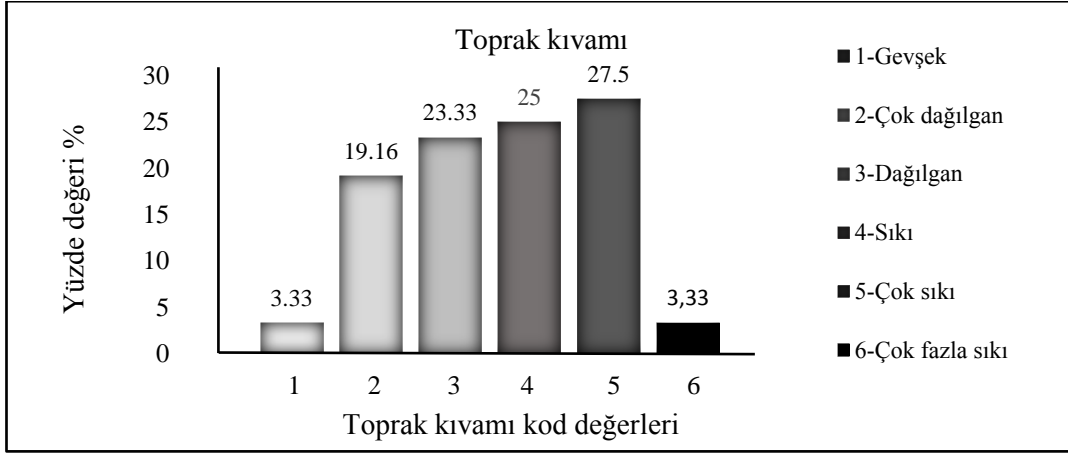
Şekil 4.7 Toprak yapı büyüklüğüne ait kod değerlerinin dağılımı



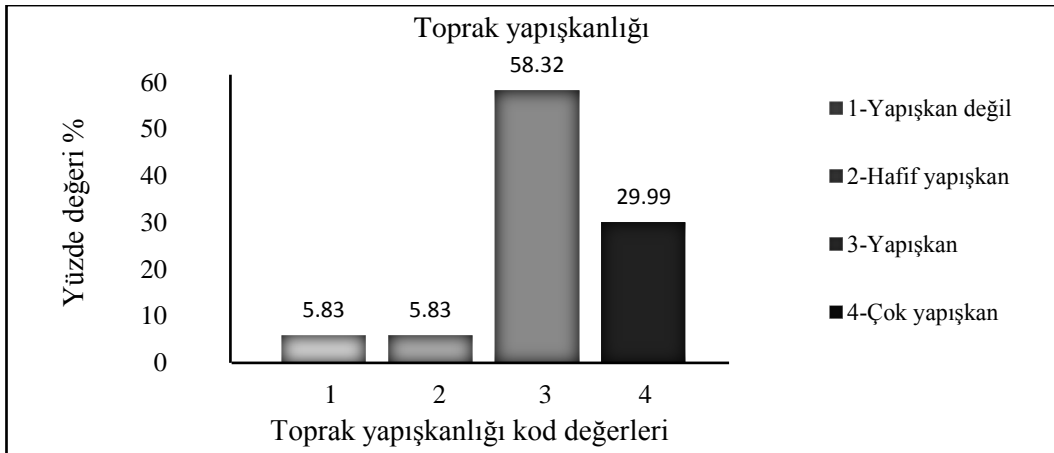
Şekil 4.8 Toprak gözenek büyüklüğüne ait kod değerlerinin dağılımı



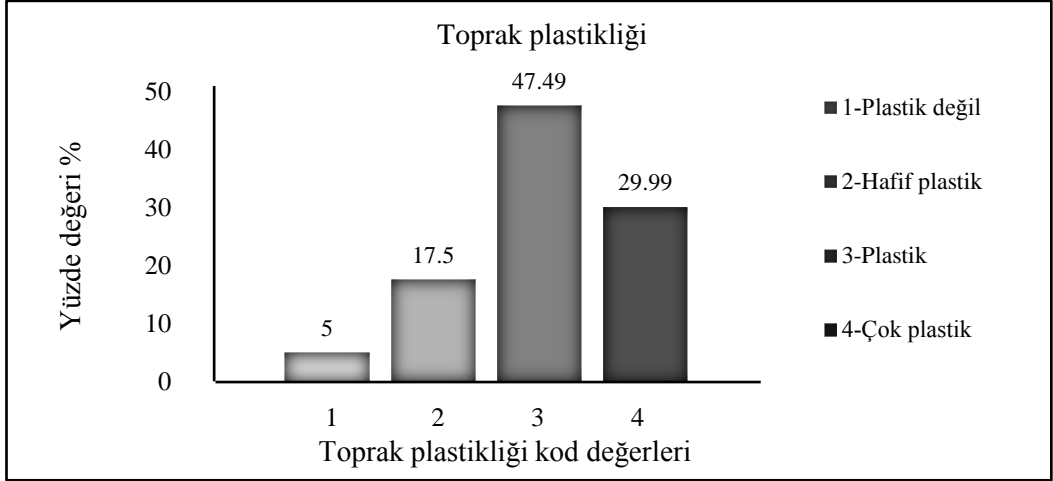
Şekil 4.9 Toprak gözenek miktarına ait kod değerlerinin dağılımı



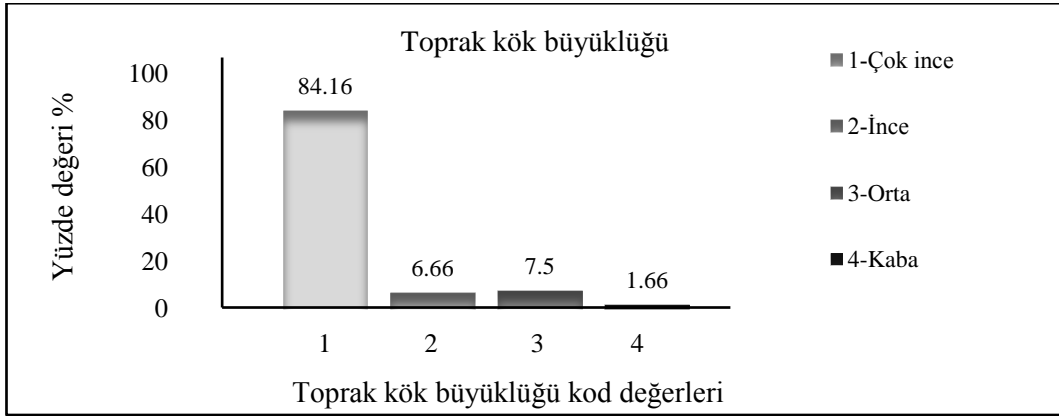
Şekil 4.10 Toprak kıvamına ait kod değerlerinin dağılımı



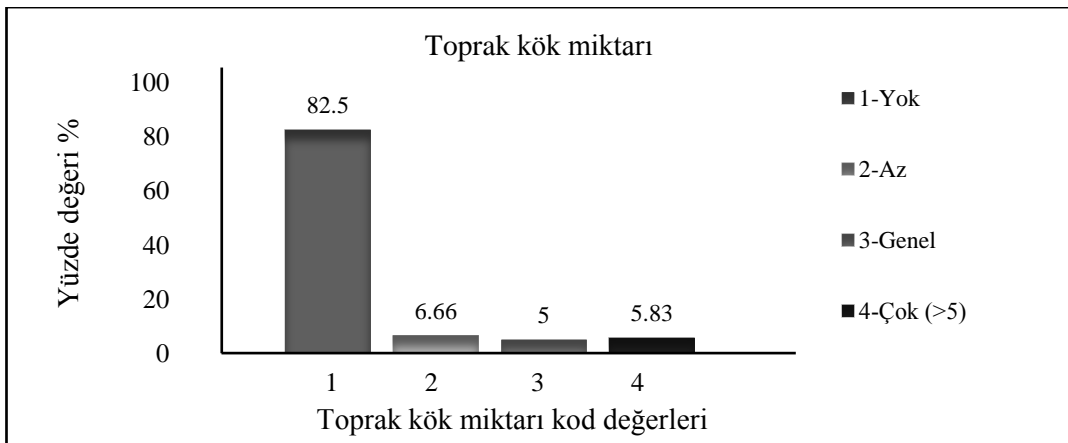
Şekil 4.11 Toprak yapışkanlığına ait kod değerlerinin dağılımı



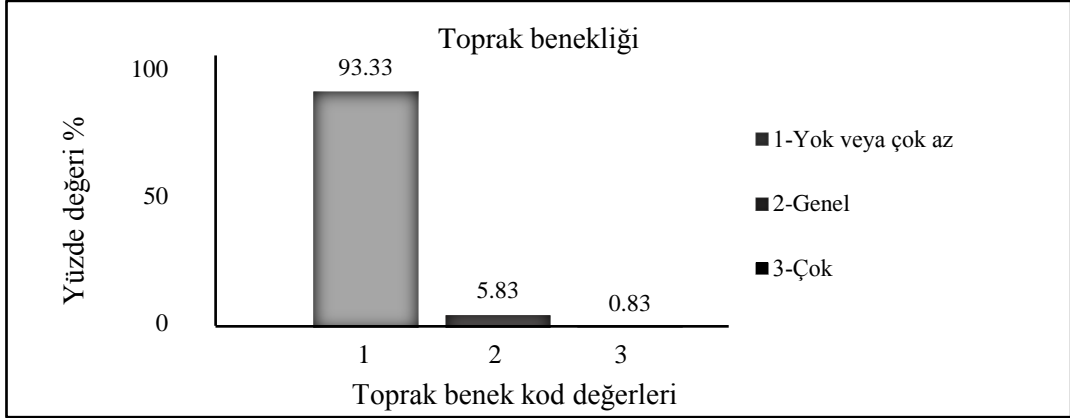
Şekil 4.12 Toprak plastikliğine ait kod değeriinin dağılımı



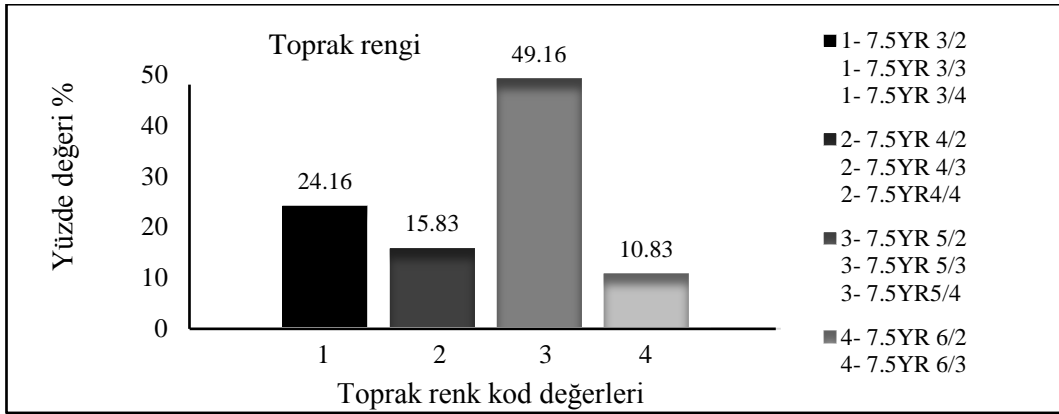
Şekil 4.13 Toprak kök büyüklüğüne ait kod değeriinin dağılımı



Şekil 4.14 Toprak kök miktarına ait kod değeriinin dağılımı



Şekil 4.15 Toprak beneklerine ait kod değerlerinin dağılımı



Şekil 4.16 Toprak renk değerlerine ait kodların dağılımı

Çalışma alanı toprak örneklerinden PTF'nin oluşturulması için seçilen 80 adet kalibrasyon örneğinin parametrik özelliklerine ait tanımsal istatistikler Çizelge 4.3'te ve morfolojik özelliklerine ait tanımsal istatistikler ise Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 Kalibrasyon örneklerinin (80 örnek) parametrik özelliklerine ait tanımsal istatistikler

Toprak özellikleri	Mak.	Min.	A.O	SS	%VK
K _s , cm/h	2.25	0.0036	0.82	0.65	79.78
Kum, %	74.17	1.49	27.36	17.44	63.74
Silt, %	65.54	4.89	26.83	11.24	41.89
Kil, %	76.8	7.88	45.79	17.06	37.26
HA, gr/cm ³	1.62	1.08	1.25	0.09	7.89
PD, KPa	215	25.0	110.7	50.35	4.48
ÖYA, m ² /gr	284.85	96.75	207.19	48.84	23.57
KDK, meg/100 gr	73.85	31.58	55.74	8.07	14.48
COLE, %	9.8	4.5	8.14	1.49	18.30
TK, %	43	21	35.26	6.55	18.57
SN, %	31.0	9.0	22.93	6.32	27.52
pH	9.7	7	8.42	0.46	5.57
EC	0.48	0.01	0.13	0.09	73.1
ASI	0.589	0.19	0.49	0.04	9.05
OM, %	7.12	0.40	4.09	1.23	30.23
CaCO ₃ , %	24.15	5.11	15.22	4.35	28.63

K_s; Doygun hidrolik iletkenlik, HA; Hacim ağırlığı, PD; Penetrasyon direnci, ÖYA; Özgül yüzey alanı, KDK; Katyon değişim kapasitesi, COLE; Toprak uzama katsayısı, TK; Tarla kapasitesi, SN; Solma noktası, ASI; Agregat stabilite indeksi, OM; Organik madde, Mak; Maksimum, Min; Minimum, A.O.; Aritmetik Ortalama, SS; Standart Sapma, VK; Varyasyon Katsayısı

Çizelge 4.4 Kalibrasyon örneklerinin (80 örnek) morfolojik özelliklerine ait tanımsal istatistikler

Toprak özellikleri	Mak.	Min.	A.O	SS	%VK
Yapı sınıf	4	1	2.03	1.02	50.27
Yapı tip	6	2	4.58	0.83	18.25
Yapı büyüklük	4	1	2.82	0.95	33.68
Gözenek büyüklüğü	5	1	2.43	1.38	56.84
Gözenek miktarı	3	1	1.85	0.76	41.33
Kıvam	6	1	3.63	1.22	33.66
Plastiklik	4	1	2.21	0,88	39.84
Yapışkanlık	4	1	2.35	0.76	32.54
Kök büyüklüğü	4	1	1.33	0.70	53.40
Kök miktarı	4	1	1.39	0.83	60.12
Benek	3	1	1.09	0.32	29.96
Renk	5	2	3.45	1.00	29.13

Mak; Maksimum, Min; Minimum, A.O.; Aritmetik Ortalama, SS; Standart Sapma, VK; Varyasyon Katsayısı

Kalibrasyon örnekleri ile oluşturulan PTF'nin doğruluğu için kullanılan validasyon örneklerinin parametrik özelliklerine ait tanımsal istatistikler Çizelge 4.5'te ve morfolojik özelliklerine ait tanımsal istatistikler ise Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.5 Validasyon örneklerinin (40 örnek) parametrik özelliklerine ait tanımsal istatistikler

Toprak özellikleri	Mak.	Min.	A.O	SS	%VK
K _s , cm/h	2.71	0.0036	0.84	0.68	80.30
Kum, %	62.75	2.48	29.00	17.0	58.61
Silt, %	52.5	10.09	25.07	8.74	34.86
Kil, %	82.7	2.48	45.91	19.67	42.86
HA, gr/cm ³	1.51	1.06	1.25	0.094	7.53
PD, KPa	220	25	105.6	50.56	47.88
ÖYA, m ² /gr	271.36	82.081	198.45	42.87	21.60
KDK, meg/100 gr	70.86	21.8	54.09	8.81	16.29
COLE, %	9.8	4	8.22	1.53	18.62
TK, %	43	20	35.42	6.78	19.15
SN, %	31	8	23.32	6.91	29.61
pH	9.77	6.7	8.36	0.49	5.87
EC	0.47	0.01	0.13	0.08	73.0
ASI	0.57	0.42	0.49	0.02	3.96
OM, %	7.98	0.94	4.21	1.42	33.45
CaCO ₃ , %	22.69	5.69	15.10	4.05	26.79

K_s; Doygun hidrolik iletkenlik, HA; Hacim ağırlığı, PD; Penetrasyon direnci, ÖYA; Özgül yüzey alanı, KDK; Katyon değişim kapasitesi, COLE; Toprak uzama katsayısı, TK; Tarla kapasitesi, SN; Solma noktası, ASI; Agregat stabilite indeksi, OM; Organik madde, Mak; Maksimum, Min; Minimum, A.O.; Aritmetik Ortalama, SS; Standart Sapma, VK; Varyasyon Katsayısı

Çizelge 4.6 Validasyon örneklerinin (40 örnek) morfolojik özelliklerine ilişkin tanımsal istatistikler

Toprak özellikleri	Mak.	Min.	A.O	SS	%VK
Yapı sınıf	4	1	2.07	1.03	49.83
Yapı tip	6	2	4.47	0.92	20.59
Yapı büyüklük	4	1	2.85	1.06	37.25
Gözenek büyüklüğü	5	1	2.4	1.32	54.96
Gözenek miktarı	3	1	1.87	0.81	43.31
Kıvam	6	1	3.6	1.32	36.64
Plastiklik	4	1	2.3	0.93	40.83
Yapışkanlık	4	1	2.42	0.81	33.52
Kök büyüklüğü	4	1	1.15	0.57	49.76
Kök miktarı	4	1	1.25	0.80	63.87
Benek	2	1	1.05	0.22	20.75
Renk	5	2	3.5	0.92	26.34

Mak; Maksimum, Min; Minimum, A.O.; Aritmetik Ortalama, SS; Standart Sapma, VK; Varyasyon Katsayısı

Kalibrasyon örnekleri ve ölçülen K_s değerleri ile toprak morfolojik ve parametrik özellikleri arasındaki korelasyon katsayıları Ek.1’de verilmiştir. Doymun hidrolik iletkenlik ve toprak parametrik ve morfolojik özellikleri arasında ileri basamak (forward stepwise) lineer regresyon analizi ile K_s ’in tahmininde önemli etkisi olan değişkenler belirlenmiştir (Çizelge 4.7).

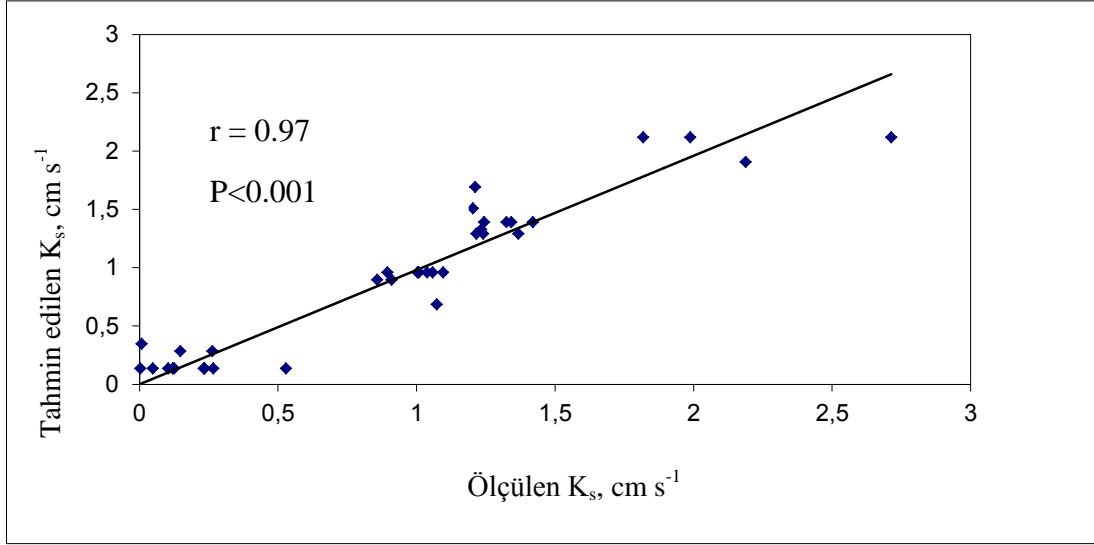
Çizelge 4.7 Doymun hidrolik iletkenlik tahmininde önemli etkisi bulunan özellikler

Bağımlı değişken	Bağımsız değişkenler						
K_s, cmsa^{-1}	Yapışkanlık					90.40	0.206
K_s, cmsa^{-1}	Yapışkanlık	Yapı sınıf				93.24	0.174
K_s, cmsa^{-1}	Yapışkanlık	Yapı sınıf	Gözenek büyüklüğü			93.63	0.170
K_s, cmsa^{-1}	Yapışkanlık	Yapı sınıf	Gözenek büyüklüğü	Plastiklik		93.98	0.167
K_s, cmsa^{-1}	Yapışkanlık	Yapı sınıf	Gözenek büyüklüğü	Plastiklik	Gözenek miktarı	94.55	0.160

Toprak kalibrasyon örneklerinde yapışkanlık, yapı sınıfı, gözenek büyüklüğü, plastiklik ve gözenek miktarı özellikleri ile K_s arasında önemli ilişki bulunmuştur (Çizelge 4.8). Çizelge 4.8’den elde edilen sonuçlara göre toprak morfolojik özellikleri kullanılarak çoklu lineer regresyon yöntemi ile bir PTF eşitliği oluşturulmuştur (Eş.4.1).

$$K_s = 0.565 - 0.331x\text{Yapışkanlık} + 0.184 x\text{Yapı sınıf} + 0.0625 x \text{Gözenek büyüklüğü} + 0.182 x \text{Plastiklik} + 0.217 x \text{Gözenek miktarı} \quad (4.1)$$

Eşitlik (4.1), ölçülen doymun hidrolik iletkenlik değerini yüksek bir determinasyon katsayısı ile tahmin etmekte ($R^2 > 0.94$) ve doymun hidrolik iletkenlikteki toplam değişkenliğin %94’ünü tanımlamaktadır. Kalibrasyon verileri ile elde edilen Eşitlik (4.1) validasyon verileri ile kullanılarak elde edilen PTF’nin başarısı değerlendirilmiştir. Pedotransfer fonksiyonunun başarısının belirlenmesinde validasyon verilerine ait ölçülen K_s değerleri ve validasyon değerlerinin kullanılması ile Eş. (4.1)’den elde edilen K_s tahmin değerleri arasında korelasyon katsayısı belirlenmiş, verilerin 45° ’lik açı ile 1:1 doğrusu üzerindeki saçılmasına bakılmıştır (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 Ölçülen ve tahmin edilen K_s değerleri arasındaki ilişki

Bu çalışmada kullanılan validasyon örnekleri ile ölçülen ve tahmin edilen doygun hidrolik iletkenlik değerleri arasındaki farklar Çizelge 4.8’de verilmiştir. Linear regresyon modelinin tipik bir özelliği olarak tahmin edilen değerlerin minimum değerleri ölçülen değerlerinkinden daha yüksek, maksimum değerleri ise ölçülen değerlerinkinden daha düşüktür. Bunun nedeni linear regresyonun minimum aşırı düşük değerleri yüksek, yüksek değerleri ise yüksek tahmin etme eğiliminden kaynaklanmaktadır. Ayrıca beklendiği gibi, ölçülen değerlerin varyasyon katsayısı tahmin edilen değerlerinkinden daha yüksek bulunmuştur.

Çizelge 4.8 Ölçülen ve tahmin edilen doygun hidrolik iletkenlik değerlerine ait tanımsal istatistikler

K_s , (cm/h)	Mak.	Min.	A.O.	SS	% VK
Ölçülen K_s , cm s^{-1}	2.71	0.0036	0.91	0.65	72.28
Tahmin edilen K_s , cm s^{-1}	2.11	0.1345	0.94	0.63	67.58

Mak; Maksimum, Min; Minimum, A.O.; Aritmetik Ortalama, SS; Standart Sapma, VK; Varyasyon Katsayısı

Tahmin edilen K_s değerlerinin doğruluğu; Ortalama Hata (ME), Hata Kareleri Ortalaması (RMSE) ve Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error) ile değerlendirilmiştir (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9 Tahmin edilen doymun hidrolik iletkenlik değerlerinin doğruluk değerleri

K_s,(cm/h)	R²	ME	RMSE	MAE
Parametrik ve Morfolojik özellikler	94.2	0.0042	0.203	0.145

R; Determinasyon Katsayısı, ME, Ortalama Hata, RMSE; Hata Kareleri Ortalaması, MAE; Ortalama Mutlak Hata

Kaur *et al.* (2002), genelde bütün PTF'lerde RMSPD (Root Mean Square Prediction Difference) değerlerinin 0.15 ve 0.45 değerleri arasında olduğunu belirtmiştir. Bulunan RMSE değerleri de Kaur *et al.* (2002)'a göre uygun aralıktadır. Çizelge 4.7'e göre doymun hidrolik iletkenlik tahmininde toprak morfolojik özellikleri parametrik özelliklerden daha etkili bulunmuş ve tahmin edici toprak özellikleri olarak kullanılmıştır. Morfolojik özellikler ile oluşturulan modelin tahmin derecesine göre toprak parametrik özellikleri kadar toprak morfolojik özelliklerindeki tahmin edici toprak özelliği olarak kullanılabilceği görülmüştür (Şekil 4.17).

Çalışma alanından alınan toprak örneklerinde parametrik ve morfolojik özellikleri birlikte kullanarak tahmin edilen K_s değeri, aynı yöntem ile parametrik ve morfolojik özellikler ayrı ayrı kullanılarak ölçülen ve tahmin edilen K_s değerlerinin doğruluk parametreleri karşılaştırılmıştır. Toprak morfolojik özellikler tek başına kullanıldığında, parametrik ve morfolojik özelliklerin birlikte kullanılması ile elde edilen sonuçları vermiştir. Buna göre morfolojik özelliklerin parametrik özelliklerden daha baskın olarak K_s değerini tahmin ettiği (parametrik özelliklerin etkisini gölgelediği) görülmektedir. Bu sonuç çalışmanın amacı ile örtüşmektedir.

Toprak parametrik özelliklerinin tek başına kullanılarak K_s tahmin değerinin elde edilmesi için aynı yöntem uygulanmıştır. Parametrik özellikler ile K_s arasındaki korelasyon değerleri Çizelge 4.10'da, K_s üzerinde önemli bulunan parametrik özellikleri belirlemek için yapılan stepwise ileri basamak analiz sonuçları Çizelge 4.11'de verilmiştir. Toprak kalibrasyon örneklerinde parametrik özellikler ile yapılan stepwise ileri basamak analizine göre kil içeriği ve KDK ile K_s arasında önemli ilişki bulunmuştur.

Çizelge 4.10 Toprak parametrik özellikleri ile K_s arasındaki korelasyon değerleri

	K_s	Kil	Kum	Silt	HA	PD	ÖYA	KDK	COLE	TK	SN	pH	ASI	OM
Kil	-0.928													
Kum	0.760	-0.788												
Silt	0.231	-0.296	-0.355											
HA	0.642	-0.658	0.508	0.211										
PD	-0.775	0.802	-0.659	-0.194	-0.660									
ÖYA	-0.711	0.758	-0.568	-0.268	-0.589	0.737								
KDK	-0.688	0.667	-0.476	-0.274	-0.591	0.626	0.790							
COLE	-0.904	0.941	-0.753	-0.261	-0.688	0.810	0.753	0.692						
TK	-0.840	0.866	-0.787	-0.094	-0.614	0.756	0.701	0.703	0.861					
SN	-0.836	0.868	-0.707	-0.222	-0.568	0.688	0.701	0.725	0.839	0.942				
pH	0.165	-0.161	0.173	-0.024	0.014	-0.164	-0.267	-0.131	-0.140	-0.18	-0.211			
ASI	-0.128	0.118	-0.157	0.064	0.047	0.078	0.097	0.123	0.121	0.097	0.103	-0.123		
OM	0.236	-0.168	-0.004	0.260	0.137	-0.237	-0.275	-0.322	-0.233	-0.185	-0.179	0.143	0.050	
CaCO₃	-0.220	0.236	-0.508	0.430	-0.046	0.186	0.117	0.059	0.201	0.328	0.233	-0.104	0.166	0.122

K_s : Doygun hidrolik iletkenlik, HA; Hacim ağırlığı, PD; Penetrasyon direnci, ÖYA; Özgül yüzey alanı, KDK; Katyon değişim kapasitesi, COLE; Toprak uzama katsayısı, TK; Tarla kapasitesi, SN; Solma noktası, ASI; Agregat stabilite indeksi, OM; Organik madde, CaCO₃; Kireç

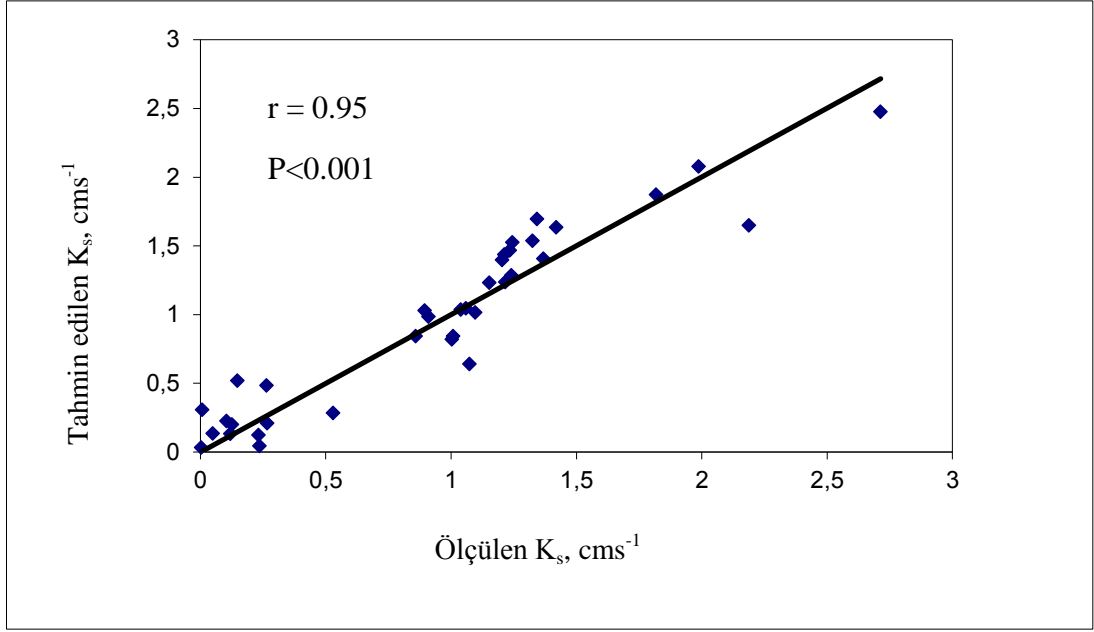
Çizelge 4.11 Doygun hidrolik iletkenlik tahmininde önemli etkisi bulunan parametrik özellikler

	2.479	2.902
Kil, %	-0.036	-0.032
KDK, meg/100 gr		-0.010
S	0.248	0.241
R ²	86.12	87.04

Çizelge 4.11'den elde edilen sonuçlara göre önemli bulunan toprak parametrik özellikleri kullanılarak çoklu lineer regresyon yöntemi ile bir PTF eşitliği oluşturulmuştur (Eş.4.2).

$$K_s = 2.90 - 0.0328 \text{ Kil} - 0.0102 \text{ KDK} \quad (4.2)$$

Eşitlik (4.2), ölçülen doymuş hidrolik iletkenlik değerini ($R^2 > 0.87$) değerinde bir determinasyon katsayısı ile tahmin etmiştir, yani doymuş hidrolik iletkenlikteki toplam değişkenliğin % 87'sini tanımlamaktadır. Kalibrasyon verileri ile elde edilen Eşitlik (4.2) validasyon verileri ile kullanılarak elde edilen PTF'nin başarısı değerlendirilmiştir. Pedotransfer fonksiyonunun başarısının belirlenmesinde validasyon verilerine ait ölçülen K_s değerleri ve validasyon değerlerinin kullanılması ile Eş. (4.2)'den elde edilen K_s tahmin değerleri arasında korelasyon katsayısı belirlenmiş, verilerin 45⁰'lik açı ile 1:1 doğrusu üzerindeki saçılmasına bakılmıştır (Şekil 4.18).



Şekil 4.18 Parametrik özellikler ile ölçülen ve tahmin edilen K_s değerleri arasındaki ilişki

Bu çalışmada kullanılan validasyon örnekleri ile ölçülen ve tahmin edilen doymuş hidrolik iletkenlik değerleri arasındaki farklar Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12 Parametrik özellikler ile ölçülen ve tahmin edilen doymuş hidrolik iletkenlik değerlerine ait tanımsal istatistikler

K_s	Mak.	Min.	A.O.	SS	% VK
Ölçülen K_s , cms^{-1}	2.71	0.0036	0.94	0.65	69.4
Tahmin edilen K_s , cms^{-1}	2.47	0.031	0.97	0.64	65.6

Mak; Maksimum, Min; Minimum, A.O.; Aritmetik Ortalama, SS; Standart Sapma, VK; Varyasyon Katsayısı

Parametrik özellikler ile tahmin edilen K_s değerlerinin doğruluğu ile parametrik ve morfolojik özellikler ile elde edilen K_s değerlerinin doğruluğu Çizelge 4.13’te karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.13 Parametrik özellikler ile parametrik ve morfolojik özelliklerin K_s tahmin doğruluğu için değerler

K_s , (cm/h)	R^2	ME	RMSE	MAE
Parametrik özellikler	87	-0.0324	0.204	0.159
Parametrik ve Morfolojik özellikler	94.2	0.0042	0.203	0.145

ME, Ortalama hata, RMSE; Hata kareleri ortalaması, MAE; Ortalama mutlak hata

Çizelge 4.13'e göre toprak morfolojik özellikleri parametrik özellikler ile birlikte kullanıldığında doymuş hidrolik iletkenliğin daha iyi tahmin edildiği görülmüştür. Morfolojik özellikler ile oluşturulan modelin tahmin derecesi daha yüksektir. Bu sonuca göre morfolojik özelliklerin tahmin edici özellik olarak kullanılması parametrik özelliklerin kullanılması ile kıyaslandığında daha etkilidir. Morfolojik özellikler parametrik özelliklerin analizleri için gerekli olan laboratuvar koşulları ve kimyasal maddeler gibi ihtiyaçların yanında emek ve zaman bakımından daha kolay elde edilebilen özelliklerdir. Morfolojik özelliklerin bu avantajlarına ek olarak oluşturulan modellerde tahmin derecesinin de yüksek olması, bu özelliklerin K_s 'in tahmininde kullanılması gerekliliğini göstermektedir.

Bouma and Wösten (1979), doymuş hidrolik iletkenliğin ölçümü ile gözlenebilir yapısal özellikler arasında sayısal olarak bir ilişki kurulabileceğini ve bu şekilde seçilen örneklerde belirli mikromorfometrik çalışmaların takip edilebileceğini belirtmişlerdir. Lin *et al.* (1999)'da bildirildiğine göre toprak morfolojisinin nitel kullanımı yaygın şekilde uygulanırken bu verilerin sayısallaştırılması eksiktir. Toprağın yapısını, gözenekleri, kökleri, benekleri, rengi ile yapışkanlık ve plastiklik gibi kıvam özelliklerini kapsayan morfolojik özellikler tahmin edici özellikler olarak sayısallaştırılıp pedotransfer fonksiyonlarında kullanıldığında güçlü korelasyonlar elde edilebilecektir.

Toprak kıvam özelliklerinden yapışkanlık, doymun hidrolik iletkenlik ile güçlü negatif bir ilişki göstermiştir. Rawls and Pachepsky (2002)'ye göre toprak kıvamı genellikle kil içeriğinin artması ile artış göstermesine rağmen, diğer tekstürel fraksiyonların içeriğinden (Ibanga *et al.* 1980) ve ince fraksiyonlardan etkilenir. Rawls and Pachepsky (2002), toplam 2140 adet toprak örneğinde hidrolik özelliklerin tahmin edilmesinde ıslak ve nemli tutarlılık (kıvam), yapışkanlık ve plastiklik özelliklerini araştırmışlardır. Toprak plastiklik sınıfı, yapı sınıfı ve tutarlılık sınıfı değerleri -33kPa ve -1500 kPa matrik potansiyelde su tutumunu tahmin ediciler olarak öne çıkmıştır. Toprak yapısı ve tutarlılık özelliklerinin, toprak hidrolik özelliklerini etkileyen temel toprak özelliklerini yansıttıkları için toprak su tutumunda belirleyici özellik olarak kullanılabilceği bildirilmiştir.

Toprak plastikliği ve yapışkanlığı kil içeriği ile ilgilidir. Rawls *et al.* (1991)'a göre kil mineralojisi ve organik madde içeriği toprak su tutumunda önemli faktörlerdir. Yapışkanlık, kil mineralojisi ve organik madde gibi faktörlerden etkilenir (Rawls and Pachepsky 2002). Bu çalışmada, toprak örneklerinin kil tipi belirlenmemiştir, ancak toprakların davranışlarından örneklerin benzer kil tipi sınıfında olabileceği düşünülmektedir. Ancak yapışkanlığın tersine plastiklik, doymun hidrolik iletkenlik ile pozitif bir ilişki göstermiştir. Toprak yapışkanlığı ve plastiklik özelliği arasındaki bu fark Donzal (1970) ve Chancelor (1994) tarafından verilen bilgilere göre toprak organik maddesinin yapışkanlık ve plastiklik üzerindeki farklı etkilerine bağlanabilir.

Toprak plastikliği su tutma özelliğine göre toprak örneklerinin bölünmesi için başta gelen bir değişkendir. Plastiklikliğin uzun süredir toprak kil içeriği ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Horn and Baumgartl 1999). Beklenildiği gibi kum ve kumlu tın sınıfındaki toprak örnekleri genellikle plastik ve yapışkanlık özelliği göstermemiştir (Şekil 4.11 ve 4.12).

Toprak örneklerinde kum içeriğinin azalması ile yapışkanlıkta bir artış olmasına rağmen, aynı tekstür sınıfında, farklı yapışkanlık sınıfları bulunabilir. Domzal (1970) ve Chancelor (1994) tarafından verilen bilgilere göre aynı plastik sınıfı için yapışkanlık değerindeki bir artış, -33 ve -1500 kPa basınçta su tutumunda artışa yol açmaktadır. Plastikliğin tersine, organik madde içeriğinin artışı yapışkanlığı azaltmaya eğilimlidir. Çalışmada elde edilen bulgulara göre toprak örneklerinin organik madde içerikleri düşüktür (Çizelge 4.3). Toprak örneklerinin organik madde içeriğinin düşük olmasının yanında kil içeriklerinin de yüksek olduğu dikkate alınarak yapışkanlık özelliğinin K_s üzerinde negatif yönde etkili olduğu düşünülmektedir.

Doygun hidrolik iletkenlik üzerinde toprak yapı sınıfının etkisi önemli bulunmuştur. Bu çalışmada kullanılan toprak örnekleri %73.3 oranında killi ve killi tınlı (Şekil 4.1) ve % 66.6 oranında güçlü ve orta yapı sınıfına sahiptir (Şekil 4.5). Pachepsky *et al.* (2006)'a göre toprak yapı sınıfları birimler arasındaki farklılığı açıklar. Toprak yapı sınıfı, farklı su tutumundaki topraklar arasında nispeten güçlü gruplama değişkeni olarak görünmektedir. Yapısal özellikler, farklı su tutumu olan toprak örneklerinin gruplamasında gruplama kriteri olarak yardımcı olabilir ancak toprak örneklerinin şekil olarak sınıflandırılması, yalnız kumlu kil, killi tın ve siltli killi tın örneklerinde gruplama özelliği listesinde yer almaz.

Çalışmada kullanılan toprak örnekleri yapı tipi bakımından genellikle köşeli ve yarı köşeli blok tipinde sınıflandırılmıştır. Toprak örneklerinin yaklaşık % 83'ü köşeli ve yarı köşeli blok yapıdadır (Şekil 4.6). Toprak yapı tipi, toprak yapı sınıfı değerlendirmesini etkilemektedir. Toprak örneklerinde yapısız tip olarak belirtilen örnekler zayıf yapı sınıfını yansıtırken, köşeli ve yarı köşeli blok tipindeki örnekler orta veya güçlü yapı sınıfında görülmüştür. Toprak yapı tipi ile K_s arasındaki pozitif ilişki, blok yapıdaki toprakların hidrolik iletkenliğe katkıda bulunduğunu gösteren çalışmalar (McKeague *et al.* 1982) ile benzerlik göstermiştir. Ayrıca Horn and Smucker (2005), tekrarlanan şişme ve büzülme, blok ve yarı köşeli bir blok yapısında gerilme ve makaslanmaya bağlı çatlak oluşturduğunu bildirmiştir. Buna göre kil içerikleri yüksek olan toprak örneklerinin şişme ve büzülme etkisi ile blok yapıdaki örneklerde oluşan çatlakların su iletimine katkıda bulunduğu düşünülmektedir.

McKeague *et al.* (1982), kum sınıfından kil sınıfına kadar 78 adet farklı tekstüre sahip toprak horizonunda toprak morfolojisi gözlemleri yaparak doymuş hidrolik iletkenliğin tahmini için çeşitli kurallar geliştirmişlerdir. Bu kurallara bağlı olarak yüksek hidrolik iletkenlik değerleri için katkıda bulunan en önemli faktörleri belirlemişlerdir. Sonuç olarak biyogözenekler ve tınlı ince kumdan daha kaba tekstürlü toprakların yanı sıra kuvvetli, ince ve orta blok strüktür tipindeki toprakların yüksek K_s değerine sahip olduğunu bildirmişlerdir. Bununla birlikte, tınlı kum, kum, kırıntı, granüler ve blok yapılar; levha, merceksi (lenticular) ve prizmatik yapılarla karşılaştırıldığında daha az su tutumuna yol açarlar (Pachepsky *et al.* 2006). Blok yapı tipine sahip topraklar Pachepsky *et al.* (2006)'da belirtildiği gibi diğer yapı tiplerine göre daha az su tuttukları için doymuş hidrolik iletkenlik ile pozitif bir korelasyon göstermelerine rağmen, bizim çalışmamızda K_s 'in tahmininde önemli özellikler arasında yer almamıştır (Çizelge 4.4).

Blok ve prizmatik yapıdaki toprak örneklerinin -33 kPa'da diğer yapı özelliği gösteren örneklere göre daha az su tutumuna sahip olduğu Rawls and Pachepsky (2002) tarafından da belirtilmiştir. Blok yapı topraklar güçlü yapı sınıfı ve ince büyüklük dışında, örneğin kumlu tın, tın, siltli kil ve killi tınlı topraklarda su tutumunun artmasına neden olurlar. Bu araştırmacılar, toprak yapısal birimlerinin blok şekillerinin, toprakların su tutumunu geliştiren simektit minerallerinin varlığını yansıttığını varsaymışlar, toprak tekstür farklılıklarında yapısal birimlerin su tutumundaki rolünde farklılık oluşturduğunu bildirmişlerdir. Büyük yapısal birimlerin ve zayıf yapı sınıfının olmaması, göreceli olarak tarla kapasitesine yakın su tutumunu belirleyen büyük gözeneklerin ve geniş gözenek büyüklüğü dağılımının olmaması demektir (Pachepsky *et al.* 2006).

Rawls *et al.* (1993b) tarafından belirtildiğine göre özellikle güçlü blok ve granüler yapıya sahip, biyo-gözenek ve çatlaklar ile ayrılan çoğu killi topraklar, kaba tekstürlü topraklardan daha yüksek K_s değerlerine sahiptir (O'Neal 1949,1952, McKeague *et al.* 1982, Coen and Wang 1989, Bouma, 1991). Ayrıca şişme ve büzülme, kuruma ve ıslanma ile dinamik hidrolik davranışlar oluşturan aktif killi toprakların hidrolik özellikleri yalnızca tekstür ile açıklanamayacağı bildirilmiştir (Lin *et al.* 1998).

Toprak örneklerinin gözenek büyüklüğü ve miktarı K_s üzerinde önemli etkisi olan özellikler olarak bulunmuştur (Çizelge 4.7). Doymuş bir toprağın hidrolik iletkenlik değeri, gözeneklerin boyut, şekil ve dağılımına dayanan ortalama hidrolik iletkenliğidir (Oosterban and Nijland 1994). Toprak tekstürü veya hacim ağırlığı gibi özellikler tipik PTF girdileridir ve geniş anlamda gözenek yapısı ile ilgilidir, ancak belirli bir toprağın gözenek yapısını karakterize etmek için yeterli değildir. Boşluk boyutları doğrudan ölçüldüğünde toprak hidrolik iletkenliğinin mükemmel şekilde tahmin edildiği gözlenmiştir (Anderson and Bouma 1973).

Toprak gözeneklerinin büyüklük ve şekilleri, toprağın hava ve su dengesini farklı yönde etkilediklerinden, toplam gözenek hacminin yanında, gözeneklerin büyüklük dağılımları önem taşımaktadır. Aynı toplam gözenek hacmine sahip toprakların, bu nedenle su iletimi, su tutulması ve bitki gelişimi üzerine etkilerinin farklı olduğu Bahtiyar (1975) tarafından belirtilmiştir.

Bir çok alanda, doymuş hidrolik iletkenlik toprak yapısal özellikleri veya makroporlar tarafından kontrol edilmektedir. Makroporların hidrolik özellikler üzerine etkisinin ölçülmesinin zor olmasına rağmen, yapısal gözeneklerin sıklığı ve boyutu veya toprak yapısı gibi toprak morfolojik özelliklerine dayanan doymuş hidrolik iletkenlik için PTF türetme amacı ile bazı başarılı çalışmalar yapılmıştır (McKenzie *et al.* 1991, McKeague *et al.* 1982). Buna karşılık, tekstür, organik karbon içeriği ve hacim ağırlığı gibi özellikler için doymuş hidrolik iletkenlik ölçümü ile ilgili çoğu girişimlerin başarısı sınırlı olmuştur (Tietje and Hennings 1996, Wösten *et al.* 1998).

Kutilek and Nilsen (1994), toprak gözenek sistemlerinin modellerinin toprağın gerçek morfolojik özelliklerini düzgün bir şekilde taklit etmesi gerektiğini belirtmiştir. Toprak biliminde, toprak gözenekliliğini tanımlamak için iki terim kullanılır. Bu terimler birincil ve ikincil gözenekliliktir. Birincil gözeneklilik, birincil partiküllerin şekil ve boyut nedeni ile gözeneklerin ilgili hacimlerini temsil eder. İkincil gözeneklilik, şişen ve kuruyan toprakların kurummasının bir sonucu olarak gelişen boşluk veya kök çürümesi sonrası oluşan tübüler gözenekler gibi diğer faktörleri temsil eder (Kutilek and Nielsen 1994).

Çalışmada kullanılan toprak örnekleri şişme ve büzülme özelliği gösteren kil içeriği yüksek toprak örnekleridir. Killi toprakların şişme ve büzülme özellikleri nedeni ile toprakta boşluklar oluşur. Toprakta hidrolik iletkenliği artıran bu boşluklar yapısal gözenekler olarak değerlendirilir. Toprak örneklerinin gözenek miktarı da, toprakta akışın hızlı olduğu yapısal gözenek miktarının ifadesi olarak kullanılmıştır.

Jarvis (2007)'e göre, makroporlar toprakta az miktarda bulunmalarına rağmen infiltrasyon ve akışta önemli bir etkiye sahiptir ve hem alt hem üst toprakta by pass akışı veya tercihi akış olarak bilinen suyun hızlı hareketinde önemli bir rol oynarlar (Franklin *et al.* 2007). Dexter and Richard (2009) tarafından belirtildiği gibi makropor miktarının hacim ağırlığını düşürmesi ve suyun infiltrasyon oranını arttırması bu çalışmadaki etkisi ile uyumlu olarak gözenek miktarı ile doygun hidrolik iletkenlik arasındaki pozitif korelasyonu desteklemektedir.

Toprak araştırmalarında toprak makro gözenekliliği genellikle fazla araştırılmamış ve gözardı edilmiştir. Ancak özellikle hidrolik iletkenlik ile ilgili morfolojik çalışmalarda önemli bir değişken olduğu kabul edilmiştir. Toprakta makro gözeneklerin oryantasyonu önemlidir, bu gözenekler sürekli veya süreksiz olabilir, bu nedenle bir toprakta makro gözeneklerin fazla olması ancak süreksiz dizilişte bulunması toprağın hidrolik iletkenliğinin yüksek olması anlamına gelmez. Toprağın makro gözenekliliği kil tipi, kök kanalları veya toprak canlılarının faaliyetleri gibi faktörlerin yanında toprak yapı tip ve büyüklüğünde etkisini yansıtır. Bu çalışmada toprak yapısı olarak orta ve güçlü yapı sınıfına giren toprak örneklerinin, köşeli ve yarı köşeli blok tipi özelliği ile birlikte makrogözenekleri oluşturarak su iletimini artırdığı görülmüştür.

Tol et al (2012), bu toprak özelliklerini kullanarak tansiyon infiltrometresi ile Güney Afrika topraklarında 120 toprak horizonunda suyu ileten gözenekleri (water conducting porosity, WCM) tahmin etmişlerdir. Sonuçlar, gözenek miktarı ve büyüklüğü bakımından, daha fazla ve daha büyük gözeneklerin, su ile dolu makrogözenek hacmine neden olduğu teorisi ile uyumludur.

Hacim ağırlığı ve gözenek büyüklüğü dağılımı gibi toprak özelliklerine dayanan modeller, hacim ağırlığı, makro, mezo ve mikro gözeneklilik değerleri ile K_s değerini tahmin eden Mbagwu (1995) tarafından gösterildiği gibi daha iyi tahminler vermiştir. Regalado *et al.* (2004) tarafından, toprak efektif gözenekliliği K_s dağılımını belirlemede bir kriter olabilmesine rağmen arazi etkilerinin tespit edilemeyen bu bağımlılığı düzeltebileceği bildirilmiştir. Yazarlar farklı permeametreler ile doymun hidrolik iletkenliği tahmin etmişler, gözeneklilik ile K_s arasında güçlü bir ilişki bulmuşlardır.

5. SONUÇ

Tarımsal faaliyetler ve çevre koşullarından etkilenen birçok toprak özelliği toprak suyunun davranışını değiştirmektedir. Bu nedenle toprak hidrolik özelliklerinin bilinmesi, toprak ve su ile ilgili araştırmalarda kullanılan tarımsal ve çevresel modellemeler için önemlidir. Ancak bu çalışmada da görüldüğü gibi hidrolik iletkenliğin zamansal ve mekansal olarak yüksek değişkenliğe sahip olması, modelleme çalışmaları için gerekli olan bilgileri doğru ve kolay bir şekilde elde etmeyi zorlaştırmaktadır. Hidrolik iletkenlik verilerinin önem ve gerekliliği, araştırmacıları çok pahalı ve zor olan arazi ve laboratuvar ölçümlerine başvurmadan daha hızlı ve ekonomik bir biçimde veri tespit etme çalışmalarına yöneltmiştir. Bunun için dolaylı yöntemleri kapsayan çeşitli modeller geliştirilmiş fakat bu modellerin çoğunda toprak sistemi bir bütün olarak düşünülmeyp, yalnızca parametrik özelliklerin kullanımına dikkat çekilmiştir.

Hidrolik iletkenlik üzerinde morfolojik özelliklerin de etkisi olduğu bilinmektedir. Bu yüzden hidrolik iletkenliğin tahmininde parametrik özellikler ile morfolojik özelliklerin birlikte kullanımı ile ilgili öneriler yapılmıştır. Literatürde morfolojik özelliklerin hidrolik iletkenlik üzerinde etkisi ile ilgili kısıtlı sayıda çalışma mevcut olup, tam olarak morfolojik özellikler ile ilgili ayrıntılı bir inceleme tespit edilmemiştir. Morfolojik özelliklerin hidrolik iletkenliğin tahminine olan katkısı, kullanımlarının gözardı edilmesi nedeniyle modelleme çalışmalarında elde edilen sonuçlara yansımamıştır. Oysa daha kolay bir yol olarak düşünülen dolaylı yöntemlerde, ölçümü zor olan bir parametreyi yine ölçüm gerektiren parametreler ile tahmin etmek yerine doğrudan kullanılabilen morfolojik özellikler ile tahmin etmek daha isabetli olsa gerek.

Bu çalışma doygun hidrolik iletkenliğin tahmin edilmesi için türetilen Pedotransfer fonksiyonlarında genellikle kullanılan parametrik özellikler ile birlikte morfolojik özelliklerin de tahmin edici özellik olarak değerlendirilmesi amacı ile yapılmıştır. Pedotransfer fonksiyonlarının oluşturulmasında ilk defa ayrıntılı olarak kullanılan morfolojik özellikler için bulunan sonuçlar çalışmanın amacını güçlü bir şekilde desteklemektedir.

Toprak morfolojik özelliklerinin sayısallaştırılmasında kullanılan kriterlerin detaylı olarak değerlendirilmesinin bu çalışmada beklenilenin ötesinde sonuçlar elde edilmesine katkısı olmuştur. Çalışma sırasında ayrıca morfolojik özelliklerin sınıflandırılmasında dikkat edilmesi gerektiği düşünülen noktalar gözlenmiştir. Bir özelliğe ait sınıf aralığı kısa veya uzun tutulduğunda, yani sınıflar daha fazla gruplara bölündüğünde veya daha az sayıda sınıflama aralığı yapıldığında sonuçların değiştiği görülmüştür. Bu nedenle morfolojik özelliklerin hidrolik iletkenlik üzerindeki etkisinin eşit koşullarda değerlendirilmesi için sınıf aralıkları yakın sayılarda tutulmuştur. Doğru bir modelleme için, morfolojik özelliklere ait sınıf aralıklarının belirlenmesi yapılacak çalışmalarda dikkat edilmesi gereken bir konudur. Toprak, morfolojik özellikler ile elde edilen tahminin başarısı dikkate alındığında, bu konuda yapılacak yeni çalışmalara ihtiyaç olduğu görülmektedir.

Belirli bir toprak haritalama ünitesi için oluşturulan modelin doğruluğu geliştirildiği bölgenin dışında sonuç vermeyebilir. Bu nedenle yalnız benzer özellikler gösteren topraklarda veya peyzaj bölgelerinde başarılı tahmin sonuçları verebilen PTF'ler geliştirilebilir. Bununla birlikte, Toprak Etüt Haritalama çalışmalarında morfolojik tanımlamalar oldukça fazla kullanılmaktadır. Morfolojik özelliklere ait bu veriler, hidrolik iletkenlik tahmini için kullanıldığında toprak serilerine ait bölgesel veri tabanları oluşturulabilir. Böylece modelleme çalışmaları daha geniş veriler üzerinde test edilebilir ve tahmin değerleri daha hassas olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- Abbaspour, K. and Moon, D. 1992. Relationships between conventional field information and some soil properties measured in the laboratory. *Geoderma*, 55(1-2), 119-140.
- Ahuja, L. R., Naney, J. W., and Williams, R. D. 1985. Estimating soil water characteristics from simpler properties or limited data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49. 1100–1105.
- Ahuja, L.R., Cassel, D.K., Bruce, R.R., and Barnes, B.B. 1989. Evaluation of spatial distribution of hydraulic conductivity using effective porosity. *Soil Sci.* 148, 404–411.
- Aina, P.O. and Periaswamy, S.P. 1985. Estimating available water-holding capacity of western Nigerian soils from soil texture and bulk density, using core and sieved samples. *Soil Science*, 140: 55-58.
- Aimrun, W. and Amin, M.S.M. 2009, Pedo-Transfer Function for Saturated Hydraulic Conductivity of Lowland Paddy Soils. *J Paddy and Water Environment*.
- Akanegbu, J.O. 2013. Comparison of different methods of measuring hydraulic conductivity in drained peat soils using drainmod as a verification tool. Master's Thesis. University of Oulu, 115 p., Finland.
<http://herkules.oulu.fi/thesis/nbnfioulu-2013041711171.pdf>.
Erişim Tarihi: 25.08.2014.
- Aksoy, Y.Y. and Kaya, A. 2010. Method dependency of relationships between specific surface area and soil physicochemical properties. *Applied Clay Science*. 50-2010 (182-190).
- Al-Homoud, A., Basma, A., Husein Malkawi, A. and Al Bashabsheh, M.(1995). 'Cyclic Swelling Behaviour of Clays.' *J. Geotech. Engrg.* 121(7), 562-565.
- Ali, M.H. and Biswas, T.D. 1968. Soil water retention and release as related to mineralogy of soil clays. *Proc. 55th Indian Sci. Congr.*, 3 (1968), p. 633.
- Al Majou, H., Bruand, A., and Duval, O. 2008a. Use of in situ volumetric water content to improve prediction of soil water retention properties. *Canadian Journal of Soil Science*, 88, 522–541.
- Al Majou, H., Bruand, A., Duval, O., Le Bas, C., and Vautier, A. 2008b. Prediction of soil water retention properties after stratification by combining texture, bulk density and the type of horizon. *Soil Use and Management*, 24, 383–391.
- Anderson, J.L. and Bouma, J. 1973. Relationships between saturated hydraulic conductivity and morphometric data of an argillic horizon. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 37, 408– 413.
- Anonim. 2011. Çankiri İl Çevre Durum Raporu. In: T.C.Ç.V.Ç.V.Ş.İ. Müdürlüğü (Ed.). T.C.Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çankırı.
- Anonim. 2013. [www. mgm.gov.tr](http://www.mgm.gov.tr)
- Anonim. 2014a.
<http://www.volkanderinbay.com/tarimnet/tkimya.asp?konuno=6>
Erişim tarihi 05.08.2014.
- Anonim. 2014b.
Toprak ve Arazi Sınıflaması Standartları Teknik Talimatı
http://www.tarim.gov.tr/Belgeler/Mevzuat/Talimatlar/ToprakAraziSiniflamasiStandartlariTeknikTalimativeIlgiliMevzuat_yeni.pdf

- Anonim. 2014c.
<http://www.efsus.com/icerik.aspx?cID=93>
- Anonim. 2014d.
<http://e-dergi.atauni.edu.tr/ataunizfd/article/download/1025005335/1025005142>.
Erişim tarihi 09.08.2014.
- Anonim. 2014e.
<http://jeolojimuhandisi.files.wordpress.com/2010/06/ders7>.
- Anonim. 2014f.
<http://www.volkanderinbay.com/tarimnet/tfizik.aspkonuno=8>
- Anonim. 2014g.
<http://www.volkanderinbay.com/tarimnet/tkimya.aspkonuno=4>
- Anonim. 2014h.
http://tr.wikipedia.org/wiki/Bulan%C4%B1k_mant%C4%B1k
- Anonim. 2014i.
<http://www.uludagsozluk.com/k/destek-vekt%C3%B6r-makineleri/>
- Anonyoumus. 2003. Soil Quality Test Kit. Section II. Background & Interpretive for Individual Tests. Page2. <http://soils.usda.gov/sqi/files/section2.pdf>.
- Anonyoumus.2014a
http://www.eplantscience.com/index/principles_of_horticulture/soil_structure.php
- Anonyoumus. 2014a1
<http://hedge-pro.com/wp-content/uploads/2012/support-vector-machine-flow-chart>
- Anonyoumus. 2014b. Erişim tarihi 4. 09. 2014
<http://www.fao.org/docrep/R4082E/r4082e1p.gif>
- Anonyoumus. 2014c
<http://www.balticdeal.eu/measure/maintaining-good-soil-structure/>
- Anonyoumus. 2014ç
http://www.goesr.gov/education/comet/hydro/basic/HydrologicCycle/print_version/04_surface_water.htm.
- Anonyoumus. 2014d
<http://www.qld.gov.au/environment/land/soil/soil-properties/water/>
- Anonyoumus. 2014e
<http://soilsmatter.wordpress.com/2014/01/23/what-do-scientists-see-in-soil-pits/>
- Anonyoumus. 2014f
http://aftabur.weebly.com/uploads/1/0/6/0/10606953/ch-4_plasticity_of_soils.pdf
- Anonyoumus. 2014g
<http://broome.soil.ncsu.edu/ssc012/Lecture/topic8.htm>
- Anonyoumus. 2014h
<http://www.engr.uconn.edu/~lanbo/CE240LectW031consistencyAtterberglimits.pdf>
- Anonyoumus. 2014ı
<http://www.learningace.com/doc/1356147/3e1432d2dae48f1ce91930a37977e35e/soil-plasticity-vs-strength-parameters>
- Anonyoumus. 2014i
http://www.slidefinder.net/c/consistence_soil/soilconsistence/1229153
- Anonyoumus. 2014k
<http://www.vaderstad.com/en/knowhow/let-nature-do-the-work/roots>

- Anonyoumus. 2014l
http://vro.depi.vic.gov.au/dpi/vro/coranreg.nsf/pages/corangamite_redox_weathe ring. Güncelleme 12 Eylül 2014
- Anonyoumus. 2014m
<http://www.qld.gov.au/environment/land/soil/soil-properties/colour/>
Güncelleme 24 Eylül 2013
- Anonyoumus. 2014n
<http://geology.com/articles/expansive-soil.shtml>
- Anonyoumus. 2014o
<http://soilengineering.org/wp-content/uploads/2011/02/expansive-soils.jpg>.
- Anonyoumus. 2014ö
http://www.ehow.com/info_12173923_expansion-coefficient-soils.html
- Anonyoumus. 2014p
http://www.ehow.com/list_6561524_types-expansive-soils.html
- Anonyoumus. 2014r
<http://www.foundationspecialties.com/foundation-services/bowing-walls.html>
- Anonyoumus. 2014s
<http://www.vaderstad.com/en/knowhow/soil-basic/characteristics-of-different-soils>
- Anonyoumus. 2014ş
<http://passel.unl.edu/pages/informationmodule.php?idinformationmodule=1130447039&topicorder=4&maxto=10&minto=1>
- Anonyoumus. 2014t
http://faculty.yc.edu/ycfaculty/ags105/week06/soil_water/soil_water_relationships.jpg
- Anonyoumus. 2014ü
<http://www.qld.gov.au/environment/land/soil/soil-properties/ph-levels/>
- Anonyoumus. 2014v
http://www.tekura.school.nz/departments/horticulture/images/ht108_20.gif
- Anonyoumus. 2014y
https://www.midwestlabs.com/wpcontent/uploads/2012/09/137_estimating_soil_textures_by_cation_exch_cap_det.pdf
- Anonyoumus. 2014z Surface Area of up to 110,000 Square Miles!
biogro.com/cfs_manual/Soil_Colloids.pdf
- Arrouays, D. and Jamagne, M., 1993. Sur la possibilité d'estimer les propriétés de rétention en eau des sols limoneux lessivés hydromorphes du sud-ouest de la France à partir de leurs caractéristiques de constitution. C.R. Acad. Agric. Fr., 79: 111-121.
- Assouline, S.J.T. and D. Tessier, 1997. Effect of compaction on soil physical and hydraulic properties: Experimental results and modelling. Soil Sci. Soc. Am. J., 61: 690-698.
- Aşkın, T. 2005. Soil Saturated Hydraulic Conductivity: A Study on Path Analysis in Clayey Soils/Doygun Hidrolik İletkenlik: Killi Topraklarda Bir Path Analizi Çalışması. Journal of Faculty of Agriculture (S.1)V.36, N.1, Jan.2011. ISSN 1300-9036.
- Atanur, A. 1973. Kireç stabilizasyonu ve yol yapımındaki tatbikatı. Bayın. Bak. Karayolları G.M. Yayın No:208.

- Atterberg, A. 1911. Die Plastizität der Tone. Internationale Mitteilungen der Bodenkunde, 1: 4–37.
- Ayers, R.S., and Westcott, D.W. 1985. Water quality for agriculture. Rev. Ed. Irrigation and Drainage Paper 29, FAO, Rome, 174p.
- Bagarello, V., Ferro, V., Giordano, G., Mannonchi, F., Todisco, F., and Vergin, L. 2013. Predicting event soil loss from bare plots at two Italian sites. Catena. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2013.04.010> (on line).
- Bahtiyar, M. 1975. A Research on the Estimation of Water Retention and Hydraulic Conductivity.
- Baker, F.A. 1993. Classification and regression tree analysis for assessing hazard of pine mortality caused by *Heterobasidion annosum*. Plant Dis. 77:136–139
- Bal, L., Şeker, C. ve Gümüş, E.İ. 2011. Kaymak Tabakası Oluşumuna Fiziko-Kimyasal Faktörlerin Etkileri. Araştırma Makalesi www.ziraat.selcuk.edu.tr/ojs Selçuk Üniversitesi Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi 25 (3): (2011) 96-103 ISSN:1309-0550.
- Balland, V., Pollaca, J.A.P., and Arp, P.A. 2008. Modeling soil hydraulic properties for a wide range of soil conditions. Ecological Modeling- 5233, p:17. doi:10.1016/j.ecolmodel.2008.07.009
- Baroni, G., Facchi A., Gandolfi, C., Ortuani, B., Horeschi, D., and Van Dam, J.C. 2009. Uncertainty in the determination of soil hydraulic parameters and its influence on the performance of two hydrological models of different complexity. Hydrology and Earth System Sciences.
- Baumer, G.W., Brasher, B.R. 1982. Prediction of Water Contents at Selected Suctions, ASAE Paper No. 82-2590 American Society for Agricultural Engineering, St Joseph, MI.
- Baumer, O.W. 1992. Predicting unsaturated hydraulic parameters F.J. Leij, L.J. Lund (Eds.), Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils, University of California Press, Riverside (1992), pp. 341–355.
- Baver, L.D. 1956. Soil physics. Third Edition, John Wiley and Sons, Inc. New York, London. Blake, G.R., Hartge, K.H. 1986. Bulk density. In: Methods of soil analysis. Part I, 2nd edn, Klute, A. (ed.), pp. 363-373. Agron. Monogr. 9. ASA, Madison, WI.
- Baver, L. D. 1959. Soil Physics. John Wiley and Sons Inc., New York. Chapman and Hall, Limited. London.
- Bayat, H., Ersahin, S., and Hepper, E. N. 2013. Improving Estimation of Specific Surface Area by Artificial Neural Network Ensembles Using Fractal and Particle Size Distribution Curve Parameters as Predictors. Environmental Modeling & Assessment, 18(5), 605-614.
- Bell, M.A. and van Keulen, H. 1996. Effect of soil disturbance on pedotransfer function development for field capacity. Soil Technol., 8:321-329.
- Beven, K. and Germann, P., 1982. Macropores and water flow in soils. Water Resour. Res. 18 (5), 1311–1325.
- Bicki, T.J., Fenton, T.E., Luce, H.D., and Dewitt, T.A. 1988. Comparison of percolation test results and estimated hydraulic conductivities for Mollisols and Alfisols. Soil Sci Soc Am J. 52:1708–1714.

- Bilsel, H. 2002. Climatic Effects on the Engineering and the Physico-Chemical properties of Calcareous Swelling Clays of Cyprus: PhD. Thesis. Eastern Mediterranean University.
- Bloemen, W., 1980. Calculation of hydraulic conductivities of soils from texture and organic matter content. *Z. Pflanzenern~r. Bodenkd.*, 43: 581-605.
- Bloomsburg, G.L. and Corey, A.T. 1964. Diffusian of Enrapped Air From Porous Media. Hydrology Paper No: 5. Colorada Sulre University, Fon Collins, Colo.
- Blume, H.P.1988. The fate of iron during soil formation in humid-temperate environments. Pp. 749-777. In J.W.Stucki, B.A.Goodman, and U.Schwertmann (eds). *Iron in Soils and Clay Minerals*. D.Reidel Pub. Co., Boston, MA.
- Boersma, L. 1965a. Field measurement of hydraulic conductivity below a water table. In. C.A.Black et al. (ed) *Methods of soil analysis, Part 1. Agronomy* 9: 222-233.
- Boersma, L. 1965a. Field measurement of hydraulic conductivity below a water table. In. C.A.Black et al. (ed) *Methods of soil analysis, Part 1. Agronomy* 9: 234-252.
- Boivin, P., Garnier, P.P., and Tessier, D. 2004. Relationship between clay content, clay type and shrinkage properties of soil samples. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68: 1145-1153.
- Boizard, H., Richard, G., Roger-Estrade, J., Durr, C., and Boiffin, J. 2001. Cumulative effect of cropping systems on the structure of the tilled layer in northern France. *Soil and Tillage Research* 64, 149– 164.
- Bork, H.R. 1988. Regionalization of soil data measured at site scale. In: B ouma, J., Bregt, A.K.(Eds.). *L and Qualities in Space and Time*. Pudoc, Wageningen, The Netherlands, pp. 289-298.
- Bouma, J. 1977. *Soil Survey and The Study of Water in Unsaturated Soil*. Soil Survey Papers, No. 13. Netherlands Soil Survey Institute, Wageningen.
- Bouma, J. and Dekker, L. 1978. A case study on infiltration into dry clay soil: I. Morphological observations. *Geoderma*. 20:27–40.
- Bouma, J., Jongerius, A., and Schoonderbeek, D. 1979. Calculation of saturated hydraulic conductivity of some pedal clay soils using micromorphometric data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43. 261–264.
- Bouma, J., Wösten, J.H.M. 1979. Flow patterns during exteded saturated flow in two undisturbed swelling clay soils with different macrostructures. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43 (1): 16-22.
- Bouma, J. and van Lanen, H.A.J. 1986. Transfer Functions and Threshold Values: from Soil Characteristics to Land Qualities. In: *Quantified Land Evaluation pPs, Proceedings of the International Workshop on Quantified Land Evaluation Procedures, 27 April - 2 May 1986*. Washington, DC.
- Bouma, J. and van Lanen, J. A. J. 1987. Transfer functions and threshold values; from soil characteristics to land qualities, in: *Quantified Land Evaluation*, edited by: Beek, K. J., Burrough, P. A., and McCormack, D. E., International Institute Aerospace Survey Earth Science, ITC20 Publishing, Enschede, The Netherlands, 106–110, 1987.
- Bouma, J., 1989. Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Adv. Soil. Sci.* 9. 177–213. Springer Verlag. New York. NY.
- Bouma, J. 1991. Influence of soil macroporosity on environmental quality. *Adv. Agron.* 46:1– 37.

- Bouma, J., 1992. Effect of soil structure, tillage, and aggregation upon soil hydraulic properties. In: Wagenet, J., Baveye, R.J.P., Stewart, B.A. (Eds.), *Interacting Processes in Soil Science*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, pp. 1–36.
- Bouma, J., Booltink, H.W.G., and Finke, P.A. 1996. Use of soil survey data for modeling solute transport in the vadose zone. *J. Environ. Qual.* 25:519-526.
- Bouwer, H. 1966. Rapid field measurement of air-entry value and hydraulic conductivity of soil as significant parameters in flow system analysis. *Water Resour. Res.* 2:729.
- Bot, A., and Benites, J. 2005. The importance of soil organic matter: key to drought-resistant soil and sustained food production. FAO. pp.1-71.
- Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A., and Stone, C.J. 1993. *Regression trees*. Chapman & Hall and CRC Press, Boca Raton, FL.
- Briggs, L.J. and McLane, J.W. 1907. The Moisture Equivalent of Soils. USDA Bureau of Soils Bulletin 45, 1-23.
- British Standards Institution. 1961. *Methods of testing soils for civil engineering purposes*. Brit. Stand., 1377:88 pp.
- Brady, N.C. and Weil, R.R. 1999. *The Nature and Properties of Soils*. 12th Edn., Printice-Hall Inc., New Jersey, USA., Pages: 785.
- Braud, I., Dantas-Antonino, A.C., and Vauclin, M., 1995. A stochastic approach to studying the influence of the spatial variability of soil hydraulic properties on surface fluxes. *J. Hydrol.* 165, 283–310.
- Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A., and Stone, C.J. 1984. *Classification and Regression Trees*. Wadsworth, Belmont, CA (1984)
- Bronick, C.J. and Lal, R. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124 (2005) 3 – 2.
- Bruand, A., and Zimmer, D. 1992. Relation entre la capacite' d'e'change cationique et la volume poral dans les sols argileux: incidences sur la morphologie des assemblages'le'mentaries. *C.R. Acad. Sci.* 315, 223-229.
- Bruand, A., Baize, D., Hardy, M. 1994. Predicting of water retention properties of clayey soil using a single soil characteristic *Soil Use Mgmt*, 10 (1994), pp. 99–103.
- Bruand, A., Cousin, I., Nicoulaud, B., Duval, O., and Bégon J.C. 1996. Backscattered electron scanning images of soil porosity for analysing soil compaction around roots. *Soil Science Society of America Journal*, 60, 895-901.
- Bruand, A., Peçrez Fernandez, P. and Duval, O. 2003. Use of class pedotransfer functions based on texture and bulk density of clods to generate water retention curves. *Soil Use and Management*, 19, 232–242.
- Bruce, R.R. and Klute, A. 1956. The measurement of soil-water diffusivity. *Soil Sci.Soc.Am.Proc.* 10:458.
- Burdine, N.T. 1953. Relative permeability calculations from pore-size distribution data, *Petroleum Transactions*. American Institute of Mineral Engineering. 198: 71-77.
- Burrows, W.C., and Don Kirkham. 1958. Measurement of field capacity with a neutron meter. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 22: 103-105.
- Calhoun, F.G., Smeck, N.E., Slater, B.L., Bigham, J.M., and Hall, G.F. 2001. Predicting bulk density of Ohio soils from morphology, genetic principles, and laboratory characterization data. *Soil Science Society of America Journal.* 65, 811-819.

- Canbolat, M.Y. ve Öztaş, T. 1997. Toprağın kıvam limitleri üzerine etki eden bazı faktörler ve kıvam limitlerinin tarımsal yönden değerlendirilmesi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 28(1), 120-129.
- Canbolat, M.Y., Öztaş, T., Akgül, M., ve Barık, K. 1998. Erzurum Daphan Ovası Topraklarının Mekaniksel Özellikleri. Doğu Anadolu Tarım Kongresi, Erzurum.
- Campbell, G.S. 1985. Soil Physics with Basic. Transport Models for Soil –Plant Systems. Developments in Soil Science, vol. 14. Elsevier, Amsterdam.
- Canqui, H.B., Lal, R., Owens, B., Post, W. M., and Izaurralde, R. C. 2006. Mechanical Properties And Organic Carbon Of Soil Aggregates In The Northern Appalachians. Soil Science Of American Journal. 69:663-672.
- Castro, C. and Logan, T. J. 1991. Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian Oxisols. Soil Science Society of America Journal, 55(5), 1407-1413.
- Chancellor, W.J. 1994. Friction between soil and equipment materials: a review. Paper no. 94-1002/94-1034. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI.
- Childs, E.C. 1957. The Physics of Land Drainage. Agron., 7: 1-78 ASA, Wisconsin.
- Chorom, M., Regasamy, P., and Murray, R.S. 1994. Clay dispersion as influenced by pH and net particle charge of sodic soils. Aust. J. Soil Res. 32, 1243 – 1252.
- Churchman, G.J., Burke, C.M., and Parfitt, R.L. 1991. Comparison of various methods for the determination of specific surfaces of subsoils. Journal of Soil Science 42, 449–461
- Cihacek, L.J. and Bremner, J.M. 1979. A simplified ethylene glycol monoethyl ether procedure for assessment of soil surface area. Soil Science Society of America Journal 43, 821–822.
- Chen, X.Q., Lu, Z.W., and He, X.F. 1985. Moisture movement and deformation of expansive soils 11th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., 4 (1985), pp. 2389–2392 San Francisco, CA.
- Chen, F.H. and Ma, G.S. 1987. Swelling and shrinkage behaviour of expansive clays. Proceedings of the 6th International Conference on Expansive Soils, vol. 1, New Delhi, India, pp. 127–129.
- Chertkov, V.Y., Ravina, I., and Zadoenko, V. 2004. An approach for estimating the shrinkage geometry factor at a moisture content. Soil Sci. Soc. Am. J., 68: 1807-1817.
- Chirico, G.B., Medina, H., and Romano, N. 2007. Uncertainty in predicting soil hydraulic properties at the hillslope scale with indirect methods J. Hydrol., 334 (2007), pp. 405–422.
- Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W. 1988. 'Applied Hydrology'. McGraw-Hill Book Company. New York Etc.
- Ciolkosz, E.J. and Dobos, R.R. 1990. Color and Mottling in Pennsylvania Soils. Agronomy Series Number 108. Agronomy Department, The Pennsylvania State University University Park, PA 16802, June 1990.
- Clapp, R.B. and Hornberger, G.M. 1978. Empirical Equations for Some Soil Hydraulic Properties. Water Resour Res. 14, 601-604.
- Clark, L.A. and Pregibon, D. 1992. Tree-based models. In: Hastie, T.J. (ed.), Statistical Models. pp. 377– 419, S. Wadsworth, Pacific Grove, California.
- Coen, G.M., and C.Wang. 1989. Estimating vertical saturated hydraulic conductivity from soil morphology in Alberta. Can. J. Soil Sci. 69:1–16.

- Collis-George, N. and Yates, D.B. 1990. The first stage of drainage from ponded soils with encapsulated air. *Soil Sci.* 149:103.
- Cosby, B.J., Homberger, 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 Resour. Res.*, 20: 682-690.
- Coyne, M.S. and Thompson, J.A. 2006. *Fundamental Soil Science*. Thomson Delmar Learning. United States. p. 234-251.
- Cresswell, H.P., Coquet, Y., Bruand, A., and Mckenzie, N.T. 2006. The transferability of Australian pedotransfer functions for predicting water retention characteristics of French soils. *Soil Use and Management*, 22, 62–70.
- Curtin, D. and Smillie, G.W. 1976. Estimation of components of soil cation exchange capacity from measurements of specific surface and organic matter. *Soil Science Society of America Journal* 40, 461–462.
- Czeratzki, W. 1972. Die Ansprüche der Pflanzen an den physikalischen Bodenzustand, *Landbauforschung, Völkenrode* 10, 12–19.
- Çelebi, H. 1970. Atatürk Üniversitesi Erzurum Çiftliğinde Toprakların Kil, Silt ve Kum miktarları ile Agregat Stabiliteleri Arasındaki İlişkiler. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.* 1(3) : 42-53.
- Dane, H. and Klute, A. 1977. Salt Effects on the hydraulic properties of a swelling soil. *Soil Sci. Soc. Am.* 1., 41: 1043-1049.
- Dif, A.E. and Bluemel, W.F. 1991. Expansive soils under cyclic drying and wetting *ASTM Geotechnical Testing Journal*, 14 (1991), pp. 96–102.
- Dixon, B. 2005. Applicability of neuro-fuzzy techniques in predicting ground-water vulnerability: a GIS-based sensitivity analysis. *Journal of Hydrology* 2005;309:17–38.
- Demiralay, İ. ve Güresinli, Y.Z. 1979. Erzurum Ovası topraklarının kıvam limitleri ve sıkışabilirliği üzerinde bir araştırma. *Atatürk Ün. Zir. Fak.,Der.*, 10(1-2), 77-93.
- Dobos, R.R.1986. The influence of organic carbon, temperature, and time on mottle morphology and redox potentials of soil columöns. M.S.Thesis. The Pennsylvania State University, University Park, PA. 150 pp.
- Dobos, R.R., Ciolkosz, E.J., and Waltman, W.J. 1990. The effect of organic carbon, temperature, time, and redox conditions on soil color. *Soil Sci.*(In Press).
- Dinel, H., Mehuys, G. R., and Levesque, M. 1991. Influence of Humic Acid and Fibric Materials on the Aggregation and Agregat Stability of a Lacustrine Silty Clay. *Soil Science*, 2: 146-157.
- Denef, K., Six, J., Merckx, R., and Paustian, K. 2002. Short -Term Effects of Biological and Physical Forces on Aggregate Formation in Soils With Different Clay Mineralogy. *Plant and Soil*. Vol: 246. No: 2. pp:185-200.
- De Jong, R. 1982. Assessment of empirical parameters that describe soil water characteristics *Can. Agric. Engng*, 24 (1982), pp. 65–70.
- Dashtaki, G.Sh. and Homae, M. 2004. "Using geometric mean particle diameter to derive point and continuous pedotransfer functions." *EuroSoil* (2004): 1-10.
- Dashtaki, G.Sh., Homae, M., Mahdian, M.H., and Kouchakzadeh, M. 2009. Site-dependence performance of infiltration models *Water Resour. Manage.*, 23 (2009), pp. 1573–1650

- Dashtaki, S.G., Homaei, M., and Khodaverdiloo, H. 2010. Derivation and validation of pedotransfer functions for estimating soil water retention curve using a variety of soil data. *Soil Use and Management*, March 2010, 26, 68–74 doi: 10.1111/j.1475-2743.2009.00254.
- Day, R.W. 1994. Swell–shrink behaviour of compacted clay *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 120 (1994), pp. 618–623
- Domzal, H. 1970. Preliminary studies of the influence of moisture on physico-mechanical properties of some soils with regard to estimation of optimum working conditions of implements. *Polish J. Soil Sci.* 3:61–70
- De Leenheer and Van Ruymbeke. 1960. Is it possible to predict some physical soil characteristics, knowing the soil components? 7th International Congress of Soil Science, Madison, Wisc. 1.25 272-278.
- Dexter, N.R.A. 2001. Bird Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve *Soil and Tillage Research*, 57 (2001), pp. 203–212
- De Wit, C.T. and van Keulen, H. 1975. *Simulation of Transport Processes in Soils* (2nd edn.), Pudoc, Wageningen (1975)
- Dexter, A.R. 1988. Advances in characterization of soil structure. *Soil Till. Res.* 11, 199±238.
- Dumbleton, M.J. and West, G. 1966. Some Factors Affecting The Relation Between The Clay Minerals In Soils And Their Plasticity. *Clay Minerals* (1966) 6, 179.
- Edwards, W.M., van der Ploeg, R.R., and Ehlers, W. 1979. A numerical study of the effects of noncapillary-sized pores upon infiltration *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43:851–856.
- El-Kadi, A.I. 1985. On estimating the hydraulic properties of soil, Part 2. A new empirical equation for estimating hydraulic conductivity for sands. *Advances in Water Resources*, 8(3):148-153.
- Erşahin S. 2001. ‘Toprak Amenajmanı’. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları No:56, Tokat.
- Esu, I.E. 1999. *Fundamentals of Pedology*. Stirling-Horden Publication (Nig.) Ltd., Ibadan.
- Esu, I.E. 2005. Characterization, classification and management problems of the major soil orders in Nigeria. *Proceedings of the 26th Inaugural Lecture of the University of Calabar, (IL'05), Nigeria*, pp: 66-66.
- Etike, E. 2009. Yapay Sınır Ağı Temelli Model Esaslı Kontrol Algoritmasının Bir Polimer Reaktörüne Uygulanması. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı. Ankara.
- Fabio, A. and Reinaldo, L. 2012. Evaluation of Cation Exchange Capacity (CEC) in Tropical Soils Using Four Different Analytical Methods. *Journal of Agricultural Science* 4.6 (2012): 278-289.
- Farlow, S.J. 1984. The GMDH algorithm S.J. Farlow (Ed.), *Self-Organizing Methods in Modeling, GMDH-type Algorithms*, Marcel Dekker, New York (1984), pp. 1–24.
- Field, J.A., J.C. Parker, and N.L. Powell. 1984. Comparison of field and laboratory-measured and predicted hydraulic properties of a soil with macropores *Soil Sci.* 138:385–396.
- Fielding, S.H. (Ed.). 1999. *Machine Learning Methods for Ecological Applications*. Kluwer Academic Publishers.

- Filgueira, R.R., Ruiz, H.A., Schaefer, C.E., and Sarli, G.O. 2006. Specific Surface of Oxisols Determined by Soil-Moisture Potential. The 18th World Congress of Soil Science (July 9 -15. 2006).
- Finke, P.A., Wösten, J.H.M., and Jansen, M.J.W. 1996. Effects of uncertainty in major input variables on simulated functional soil behaviour *Hydrological Processes*, 1(1996), pp. 661–669.
- Flowers, M. D. and Lal, R. 1998. Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a mollic ochraqualf in Orthwest Ohio. *Soil Tillage Research* 48: 21–35.
- Foth, H. D. 1991. *Fundamentals of soil science* (No. Ed. 8). John Wiley and Sons, Inc.
- Franklin, D.H., West, L.T., Radcliffe, D.E., and Hendrix, P.F. 2007. Characteristics and genesis of preferential flow paths in a Piedmont ultisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71, 752–758.
- Dexter, A.R. and Richard, G. 2009. The saturated hydraulic conductivity of soils with n-modal pore size distributions. *Geoderma*. 154, 76–85.
- Frenkel, H., Goertzen, J.O., and Rhoades, J.D. 1978. Effects of clay type and content, exchangeable sodium percentage, and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42, 32-39.
- Gardiner, D.T. and Miller, R.W. 2004. *Soils in our Environment*. Tenth Edition. Pearson Education LTD, Inc., Upper Saddle River, New Jersey 07458.
- Gardner, W.R. 1955. Relation of temperature to moisture tension of soil. *Soil Sci.* 79:257.
- Gee, G.W. and Bauder, J.W. 1986. Particle-size analysis. P.383-411. In: Klute, A. (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr, 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Gijnsman, A.J., Jagtap, S.S., and Jones, J.W. 2002. Wading through a swamp of complete confusion: How to chose a method for estimating soil water retention parameters for crop models. *Eur. J.Agron.* 18:75–105.
- Gimenez, D., Rawls, W.J., Pachepsky, Y. and Watt, J.P.C. 2001. Prediction of a pore distribution factor from soil textural and mechanical parameters. *Soil Sci.* 166:79–88.
- Gray, W.C., and Allbrook, R. 2002. Relationships Between Shrinkkage Indices and Soil Properties In Some New Zealand Soils. *Geoderma*, 108: 287-299.
- Greene-Kelly, R. 1974. Shrinkage of day soil: A statistical correlation with other soil properties. *Geoderma*, 2, 243-257.
- Gregory, P.J. 2006. *Plant Roots: Growth, Activity and Interactions with Soil*. Blackwell Scientific, Oxford.
- Grossman, R.B., Brasher, B.R., Franzrcnier, D.P. and Walker, J.C. 1968. Linear extensibility as calculafated from natural clod b-ulk density measurements. *Soil Sci. Sac. Amer. Proc.*, 32, 570-573.
- Guber, A.K. and Pachepsky, Y.A. 2010. Multimodeling with pedotransfer functions. Documentation and user manual for PTF calculator (CalcPTF), Version, 2.
- Gupta, S.C. and Larson, W.E. 1979. Estimating Soil Water Characteristics from Particle Size Distribution, Organic Matter Percent and Bulk Density. *Water Resour Res* 15 :1633–1635.
- Grunwald S (2001). Profile cone penetrometer data used to distinguish between soil materials. *Soil and Tillage Research* 62(1-2): 27-40.

- Gülser, C. ve Candemir, F. 2006. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kurupelit Kampüs Topraklarının Bazı Mekaniksel Özellikleri Ve İşlenebilirlikleri. *Omü Zir. Fak. Dergisi*, 2006, 21(2):213-217. *J. Of Fac. Of Agric., Omu*, 2006,21(2): 213-217.
- Günel, H. 2006. Ardışık İki Topografya'da Yer Alan Toprakların Oluşumları ve Sınıflamaları GOÜ. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2006, 23 (2), 59-68.
- Hakansson, I. and Voorhees, W.B. 1998. Soil Compaction. In: *Methods of Assessment of Soil Degradation*, Lal, R. (Eds.). CRS Press, Boca Raton, FL., pp: 167-179.
- Hall, D.G., Reeve, M.J., Thomasson, A.J. and Wright, V.F. 1977. *Water Retention, Porosity and Density of Field Soils*. Technical Monograph No. 9. Soil Survey of England and Wales, Harpenden.
- Hamza, M. and Anderson, W. 2005. Soil compaction in cropping systems a review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research* 82(2): 121-145.
- Harichane, K. and Ghrici, M. 2009. Effect of combination of lime and natural pozzolana on the plasticity of soft clayey soils. 2nd International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, s. xx-yy, North Cyprus.
- Hartemink, A.E. and McBratney, A. 2008. A soil science renaissance. *Geoderma*, 148, 123-129.
- Hastie, T., Tibshirani, R., and Friedman, J., 2001. *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference and Prediction*. Springer Series in Statistics. Springer-Verlag, New York.
- Haverkamp, R. and Parlange, J.Y. 1986. Predicting the water retention curve from particle-size distribution, 1. Sandy soils without organic matter *Soil Sci.*, 142 (1986), pp. 325–339.
- Haverkamp, R., Debionne, S., Viallet, P., Angulo-Jaramillo, R., and de Condappa, D. 2006. *Soil Properties and Moisture Movement in the Unsaturated zone*, in: *Handbook of Groundwater Engineering*, The Second Edition, edited by: Delleur, J. W., Springer, Heidelberg, Germany.
- Haynes, R.J., Swift, R.S., and Stephen, R.C. 1991. Influence of mixed cropping rotations (pasture-arable) on organic matter content, water stable aggregation and clod porosity in a group of soils. *Soil Tillage Res* 19: 77–87,
- Haynes, R.J., and Naidu, R. 1998. Influence of limer, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 51 (2): 123-137.
- Hecht-Nielsen, R. 1990. *Neurocomputing* Addison-Wesley, Reading, MA (1990),
- Heuvelink, G.B.M. 1998. *Error Propagation in Environmental Modelling with GIS*. Taylor & Francis, London, Bristol.
- Hillel, D. 1982. *Introduction to Soil Physics*. Academic Press Limited, 24-28 Oval Road, London.
- Hillel, D. 1982. *Introduction to Soil Physics*, Academic Pres, Inc., 364 s., California, ABD.
- Hillel, D. 1998. *Environmental Soil Physics*. Academic Press, New York.
- Hjorth, J.S.U. 1994. *Computer Intensive Statistical Method, Validation, Model Selection and Bootstrap* Chapman and Hall, London.

- Hodnett, M.G. and Tomasella, J. 2002. Marked differences between van Genuchten soil water-retention parameters for temperate and tropical soils: a new water retention ped transfer functions developed for tropical soils. *Geoderma* 108, 155-180.
- Holtz, W.Q. 1965. Volume change. *Methods of soil analysis*. Amer. Soc. Of Agronomy, Inc., Part I Agronomy 9: 448-465.
- Horn, R. and Lebert, M. 1994. Soil Compactability and Compressibility. In: *Soil Compaction in Crop Production*, Soane, B.D. and E. Van-Ouwerkerk (Eds.). Elsevier, Amsterdam, pp: 45-69.
- Horn, R. and Baumgartl, T. 1999. Dynamic properties of soils. p. A19–A50. In M.E. Sumner (ed.) *Handbook of soil science*. CRC cause those parameters reflect soil basic properties that Press, Boca Raton, FL.
- Horn, R. and Smucker, A. 2005. Structure formation and its consequences for gas and water transport in unsaturated arable and forest soils. *Soil & Till. Res.* 82: 5-14.
- Horn, R., Fleige, H., Richter, F.H., Czyz, E.A., Dexter, A., Diaz-Pereim, E., Dumitru, E., Enarehe, R., Mayol, F., and Rajkai, K. 2005. SIDASS project: Part 5: Prediction of mechanical strength of arable soils and its effects on physical properties at various map scales. *Soil and Tillage Research*, 82, 47-56.
- Houskova, B. 2005. 3. European Summer School on Soil Survey Co-organized by Taiex, Jrc And Sziu Visual Soil Assessment 18 – 22 July, 2005.
- Hoyt, P.B. 1981. Improvement in soil tillage and rape seed emergence by lime application on acid soils in the Peace River region. *Can J Soil Sci* 61: 91–98
- Huang, G.H., Zhang, R.D., and Huang, Q.Z. 2006. Modeling Soil Water Retention Curve with a Fractal Method. Volume 16, Issue 2, April 2006, Pages 137–146, *Pedosphere*. doi: 10.1016/S1002-0160(06)60036-2.
- Hudson, B. D. 1994. Soil organic matter and available water capacity. *Journal of Soil and Water Conservation*, 49(2), 189–194. Staff Soil Survey, 1951. *Soil Survey Manual Agric. Handb. No.18 USDA.U.S.Government Printing Office, Wash.*
- Huang, Y., Lan, Y., Thomson, S.J., Fang, A., Hoffmann, W.C., and Lacey, R.E. 2010. Development of soft computing and applications in agricultural and biological engineering. *Comp. Electr. Agric.*, 71, 107-127.
- Hunt, A.G. 2004a. Continuum percolation theory for water retention and hydraulic conductivity of fractal soils: 2. Extension to non-equilibrium. *Adv. Water Resour.* 27:245–257. doi:10.1016/j.advwatres.2004.01.002.
- Hunt, A.G., and Skinner, T.E. 2005. Hydraulic conductivity limited equilibration: Effect on water retention characteristics. *Vadose Zone J.* 4:145–150. doi:10.2113/4.1.145.
- Hunt, A.G., Ewing, R.P., and Horton, R. 2013. What's Wrong with Soil Physics? *Soil Sci. Soc. Am. J.* 77:1877–1887 doi:10.2136/sssaj2013.01.0020.
- Hussain, M. and Dash, S.K. 2010. Influence of lime on plasticity behaviour of soils. *Indian Geotechnical Conference – 2010*, s. GEOTrendz, IGS Mumbai Chapter & IIT Bombay.
- Ibanga, I.J., Bridwell, O.W., Powers, W.L., Feyerherm, A.M. and Williams, W.W. 1980. Soil consistence: effect of particle size. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:1124–1126.
- Imhoff, S., da Silva, A.P., and Fallow, D. 2004. Susceptibility to compaction, load support capacity and soil compressibility of Hapludox. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68: 17-24.

- Ingelmo, F., Molina, M.J., de Paz, J.M., and Visconti, F. 2011. Soil saturated hydraulic conductivity assessment from expert evaluation of field characteristics using an ordered logistic regression model. *Soil & Tillage Research* 115–116 (2011) 27–38 doi:10.1016/j.still.2011.06.004
- Inskip, W.P., Wraith, J.M., Wilson, J.P., Snyder, R.D., Macur, R.E., Gaber, H.M. 1996. Input parameter and model resolution effects on predictions of solute transport *J Environ Qual*, 25, pp. 453–462.
- Isaacs, E. H. and Srivastava, R. M. 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York.
- Isbell, R.F. 1996. *The Australian Soil Classification*. (CSIRO Publishing: Melbourne, Vic.).
- Iwata, S., Tabuchi, T., and Warkentin, B.P. 1995. *Soil-Water Interactions*. Marcel Dekker Inc. 2nd edn. N.Y.
- Jarvis, N.J. 2007. A review of non-equilibrium water flow and solute transport in soil macropores: principles, controlling factors and consequences for water quality. *Eur. J. Soil Sci.* 58, 523–546.
- Jaynes, D.B. and Tyler, E.J. 1984. -Using soil physical properties to estimate hydraulic conductivity. *Soil Sci.* 138 (1984), pp. 298–305.
- Jury, W.A., Gardner, W.R., and Gardner, W.H. 1991. *Soil Physics*. 5th ed. John Wiley & Sons, N.Y.
- Kaçar, B. 1996. Bitki ve toprağın kimyasal analizleri: III. toprak analizleri. A.Ü. Ziraat Fak. Eğitim Araş. ve Geliştirme Vak. Yay. No:3. Ankara.
- Kara, E.E., Apan, M., Korkmaz, A., Gülser, C., ve Kara, T. 1993. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yerleşim Sahası Topraklarının Etüt ve Haritalanması, Sulama Yönünden Özelliklerini Belirlenmesi. O.M.Ü. Proje Sonuç Raporu (Z-073), Samsun.
- Karahan, G., Erşahin, S., ve Öztürk, H.S. 2014. Toprak Koşullarına Bağlı Olarak Tarla Kapasitesi Dinamiği. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. JAFAG ISSN: 1300-2910 E-ISSN: 2147-8848 (2014) 30 (1), 1-11 doi:10.13002/jafag177
- Kashi, H., Emamgholizadeh, S., and Ghorbani, H. 2014. Estimation of Soil Infiltration and Cation Exchange Capacity Based on Multiple Regression, ANN (RBF, MLP), and ANFIS Models. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 45(9), 1195-1213.
- Kaur, R., Kumar, S., and Gurung, H.P. 2002. A pedo-transfer function (PTF) for estimating soil bulk density from basic soil data and its comparison with existing PTFs. *Australian Journal of Soil Research* 40, 847-857. doi: 10.1071/SR01023
- Kay, R.D. 1990. Rates of change of soil structure under different cropping systems. *Advances in Soil Sci.* 12: 1-41.
- Kay, B.D., da Silva, A.P., and Baldock, A.P. 1997. Sensitivity of soil structure to changes in organic carbon content, predictions using pedotransfer functions *Can. J. Soil Sci.*, 77 (1997), pp. 655–667.
- Kemper, W. D. and R. C. Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution. pp. 425 – 442 in A. Klute, ed. *Methods of soil analysis*. Part 1 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison, WI
- Keng, J.C., and C.S. Lin. 1982. A two-line approximation of hydraulic conductivity for structured soils. *Can. Agri. Eng.* 24:77–80.

- Kern, J.S. 1995. Evaluation of soil water retention models based on basic soil physical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59:1134-1141.
- Kırda, C. ve Sariyev, A. 2002. Toprak Fiziği. ÇÜ Ziraat Fakültesi Genel Yayın, (245).
- King, J.J. and Franzmeier, D.P. 1981. Morphology, hydroşogy, and management of Clermont soils. *Proc. Ind. Acad. Sci.* 90 (in press).
- Klute, A., 1965. Laboratory Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Soil. In. C. A. Black Methods of soils. *Analys Part 1., Agronomy Series.* No:9Wisconsin USA.
- Klute, A, 1969. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. *Agron.*, 9: 21.
- Klute, A. 1982. Tillage effect on the hydraulic properties of soil, A review. In: *Am. Soc. Agron. Spec. Publ. No. 44. Predicting Tillage Effects on Soil Physical Properties and Processes.* ASA, SSA, Madison, WI.
- Klute, A. 1986. Methods of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods, 2nd edn. *Monogr. 9. ASA and SSSA.* Madison, WI, 1188 pp.
- Klute, A. and Dirksen, C. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. In. Klute, A (ed), *Methods of soil analysis, Part 1.* Madison, pp. 687-734; *Am Soc Agron.*
- Kohonen, T. 1998. An introduction to neural computing, *Neural Networks*, 1, 3-6.
- Kosugi, K., Nakayama, Y. 1997. A method for estimating unsaturated hydraulic properties of vertically heterogeneous soils from transient capillary pressure profiles. *Agricultural and Forest Meteorology*, 84: 37-50.
- Krogh, L., Breuning-Madsen, H., and Greve, M.H. 2000. Cation Exchange Capacity Pedo Transfer Function for Danish Soils. *Acta Agric. Scand. Sect. B Soil Plant Sci.*, 50: 1-12.
- Kutilek, M. 1966. *Soil Science in Water Management (In Czech: Vodohospodarska Pedologie).* SNTL, State Publisher of Technical Literature, Prague; 1966. p. 275.
- Kutilek, M. and Nielsen, D.R. 1994. *Soil Hydrology.* Cremlingen-Destedt: Catena-Verl., Germany 1994. ISBN 3-923381-26-3.
- Lal, R. 1979. Physical characteristics of soils in the tropics: determination and management. In: Lal, R., Greenland, D.J.(eds.), *Soil physical properties and crop production in the Tropics.* Wiley, Chichester, pp.7-44.
- Landini, A., Martínez, D., Dias, H., Soza, E., Agnes, D., and Sainato, C. 2007. Modelos de infiltración y funciones de pedotransferencia aplicados a suelos de diferente textura. *Ciencia del Suelo (Argentina)*. 25, 123–131
- Lamorski, K., Pachepsky, Y., Slawinski, C., and Walczak, R.T. 2008. Using Support Vector machines to develop Pedotransfer functions for water retention of soils in Poland. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 72, 1243-1247.
- Lamorski, K., Bawinski, C.S., Moreno, F., Barna, G., Skierucha, W., and Arrue, J.K.L. 2014. Modelling Soil Water Retention Using Support Vector Machines with Genetic Algorithm Optimisation *Hindawi Publishing Corporation eScientific World Journal Volume 2014, Article ID 740521, 10 pages* <http://dx.doi.org/10.1155/2014/740521>.
- Lamp, J. and Kneib, W. 1981. Zur Quantitative Erfassung und Bewertung von Pedofunktionen. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 32, 695-711.
- Leenhardt, D. 1995. Errors in the estimation of soil water properties and their propagation through a hydrological model. *Soil Use and Management*, 11, 15–21.

- Lees, B.G., and K. Ritman. 1991. Decision-tree and rule-induction approach to integration of remotely sensed and GIS data in mapping vegetation in disturbed or hilly environments. *Environ. Man age.* 15:823–831.
- Li, H., Liang, Y., and Xu, Q. 2009. Support Vector machines and its applications in chemistry. *Chemometrics Intell. Lab. Sys.*, 95, 188-198.
- Lilly, A., 2000. The relationship between field-saturated hydraulic conductivity and soil structure: development of class pedotranfer functions. *Soil Use Manag.* 16, 56–60.
- Lilly, A., Nemes, A., Rawls, W.J., Pachepsky, Y.A. 2008. Probabilistic approach to the identification of input variables to estimate hydraulic conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, 72, 16–24.
- Lin, H.S., K.J. McInnes, L.P. Wilding, and C.T. Hallmark. 1998. Macroporosity and initial moisture effects on infiltration rates in Vertisols and vertic intergrades. *Soil Sci.* 163:2–8.
- Lin, H.S., McInnes, K.J., Wilding, L.P., Hallmark, C.T. 1999. Effects of soil morphology on hydraulic properties: II. Hydraulic pedotransfer functions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63, 955– 961.
- Linsley, R.K. and Franzini, J.B. 1972. *Water resources engineering.* McGraw-Hill Inc., NY.
- Lipsius, K. 2002. Estimating Available Water Capacity from basic Soil physical Properties A comparison of common Pedotransfer Functions.
- Locat, J., Lefebvre, G., and Ballivy, G. 1984. Mineralogy, chemistry, and physical properties interrelationships of some sensitive clays from eastern Canada. *Canadian Geotechnical Journal* 21, 530–540.
- Luxmoore, R. J. 1981. Micro-, meso-, and macroporosity of soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45, 671-672.
- MacLean, A.H., Yager, T.U. 1972. Available water capacities of Zambian soils in relation to pressure plate measurements and particle size analysis *Soil Sci.*, 113 (1972), pp. 23–29.
- McNabb, D.H. and Boersma, L. 1996. Non-linear model for compressibility of partly saturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:333-41.
- MacRae, R.J., G.R. Mehuys, 1985. The Effect of Green Manuring on the Physical Properties of Temperate-Area Soils. *Advances in Soil Science*, 3: 71-94.
- Maren, A.J., Harston, C.T., Pap, R.M. 1990. *Handbook of Neural Computing . Applications* Academic Press, San Diego.
- Mathsoft. 1999. *SPLUS 2000 Professional—User’s Manual.* Mathsoft, Seattle, WA.
- Mayr, T. and Jarvis, N.J. 1999. Pedotransfer functions to estimate soil water retention parameters for a modified Brooks–Corey type model *Geoderma*, 91 (1999), pp. 1–9
- Mbagwu, J.S.C. 1995. Saturated hydraulic conductivity in relation to physical properties of soils in the Nsukka Plains, Southeastern Nigeria. *Geoderma.* 68, 51–66.
- McBratney, A.B., Pringle, M.J. 1997. Spatial variability in soil: Implications for precision agriculture. P.3-31. In: J.V., Stafford (ed). *Precision agriculture’97.* Volume I: Spatial variability in soil and crop. BIOS Scientific Publishers Ltd., Oxford, UK.
- McBratney, A.B., Minasny, B., Cattle, S.R., and Vervoort, R.W., 2002. From pedotransfer functions to soil inference systems. *Geo-derma* 109, 41– 73.

- McBride, R.A. 1989. Estimation of density-moisture stress functions from uniaxial compression of unsaturated, structured soils. *Soil Tillage Res.*, 1: 383-397.
- McBride, R.A. and G.C. Watson. 1990. An investigation of re-expansion of unsaturated, structured soils during cyclic static loading. *Soil Tillage Res.*, 17: 241-253.
- McBride, R.A. and P.J. Joose, 1996. Over consolidation in agricultural soils. 11. Pedotransfer functions for estimating preconsolidation stress. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60: 373-380.
- McCord, N.M., Illingworth, W.T. 1990. *A Practical Guide to Neural Nets* Addison-Wesley, Reading, MA (1990)
- S. Mishra, J.C. Parker, N.S. Singhal Estimation of soil hydraulic properties and their uncertainty from particle size distribution data *J. Hydrol.*, 10 (1989), pp. 1-18
- McCullagh, P., Nelder, J.A. 1989. *Generalized Linear Models*, 2nd ed. Chapman and Hall, London.
- McKeague, J.A., Wang, C., and Topp, G.C., 1982. Estimating saturated hydraulic conductivity from soil morphology. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46, 1239-1244.
- McKenzie, N.J., Smettem, K.R.J., and Ringrose-Voise, A.J. 1991. Evaluation of methods for inferring air and water properties of soils from field morphology. *Aust. J. Soil Res.* 29, 587-602.
- McKenzie, N. J. and Jacquier, D. W. 1997. Improving the field estimation of saturated hydraulic conductivity in soil survey. *Aust. J. Soil Res.* 35. 803-825.
- McKenzie, N.J. and Ryan, P.J. 1999. Spatial prediction of soil properties using environmental correlation. *Geoderma* 89:67-94.
- McKenzie, N.J., Jacquier, D.W., Ashton L.J., and Cresswell, H.P. 2000 *Estimation of Soil Properties Using the Atlas of Australian Soils*. CSIRO Land and Water Technical Report 11/00.
- Nalder, I.A. and Wein, R.W. 1998. Spatial interpolation of climatic Normals: test of a new method in the Canadian boreal forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 92: 211-225.
- Moene, A.F. 1990. The Addition Of Retention Data Derived From Pedo-Transfer Functions In One Step Out Flow Optimization. Rapport 11 Oktober 19. Vakgroep Hydrologie, Bodemnatuurkunde En Hydraulica. Nieuwe Kanaal 11,6709 PA Wageningen.
- Munsuz, N. 1985. *Toprak mekaniği ve teknolojisi*. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fak. Yayınları: 922, Ders Kitabı:260, Ankara.
- Nandgiri, L. and Prasad, R. 1996. Field evaluation of unsaturated hydraulic conductivity models and parameter estimation from retention data. *Journal of Hydrology*. 179:197-205.
- Nemes, A., Wösten, J.H.M., Lilly, A., and Oude Voshaar, J.H. 1999. Evaluation of different procedures to interpolate particle-size distributions to achieve compatibility within soil databases *Geoderma*, 90 (1999), pp. 187-202
- Nemes, A. 2002. *Unsaturated Soil Hydraulic Database of Hungary: Hunsoda*. *Agrokémia és Talajtan.* 51. 17-26.
- Nielsen, D.R. and Shaw, R.H. 1958. Estimation of the 15-atmosphere moisture percentage from hydrometer data. *Soil Science*, 86, 103-105.
- Nielsen, D.R., Biggar, J.W., and Erh, K.T. 1973. Spatial variability of field measured soil-water properties. *Hilgardia* 42: 215-259

- Nikiforoff, C.C. 1941. Morphological classification of soil structure. *Soil Science* 1941;52:193–211.
- Nikolaeva, S.A., Pachepsky, Ya., Shcherbakov, R.A., and Shcheglov, A.I. 1986. Modelling moisture regime of ordinary Chernozems *Pochvovedenie*, 6 (1986), pp. 52–59.
- North, G.B. and Nobel, P.S. 1991. Changes in hydraulic conductivity and anatomy caused by drying and rewetting roots of agave desert (agavaceae). *American Journal of Botany*, 78(7), 906–915.
- Paydar, H.P. 1996. Cresswell Water retention in Australian soils, II. Prediction using particle size, bulk density and other properties *Aust. J. Soil Res.*, 34 (1996), pp. 679–693
- Newman, A.C.D. 1983. The specific surface of soils determined by water sorption. *J. Soil Sci.* 34, 23–32.
- Norton, E.A. 1939. *Soil conservation survey handbook*. USDA, Soil Conservation Service, Miscellaneous Publication No. 352. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Oades, J. M. 1984. Soil organic matter and structural stability: Mechanisms and implications for management. *Plant Soil* 76, 319–337.
- O’Connell, D.A. and Ryan, P.J. 2002. Prediction of three key hydraulic properties in a soil survey of a small forested catchment. *Aust. J. Soil Res.*, 40, 191– 206.
- O’Neal, A.M. 1949. Some characteristics significant in evaluating per- 1987. The effect of bypass flow and internal catchment of rain on meability. *Soil Sci.* 67:403±409.
- O’Neal, A.M. 1952. A key for evaluating soil permeability by means Wang, C., J.A. McKeague, and G.C. Topp. 1985. Comparison of of certain field clues. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 16:312–315
- Onweremadu, E.U. 2006. Application of Geographic Information System (GIS) on soils and soil- related environmental problems in Southeastern Nigeria. Ph.D. Thesis. University of Nigeria, Nsukka, Nigeria, pp: 472.
- Onweremadu, E.U., Akamigbo, F.O.R., and Igwe, C.A. 2007. Physical Shrinkage Relationship in Soils of Lithologies in Central Southeastern Nigeria. *J. Applied Sci.*, 7: 2495-2499. doi: 10.3923/Jas. 2007. 2495.2499. url: <http://Sciealert.Net/Abstract/>
- Oosterbaan, R.J. and Nijland, H.J. 1994. Determining The Saturated Hydraulic Conductivity, Chapter 12 in: H.P. Ritzema (Ed.), *Drainage Principles and Applications*. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Publication 16, second revised edition, 1994, Wageningen, The Netherlands. ISBN 90 70754 3 39. www.waterlog.info.
- Orr, F.M., Scriven, L.E., and Rivas, A.P. 1975. Pendular rings between solids: Meniscus properties and capillary force. *J. Fluid Mech.* 67:723–742. doi:10.1017/S0022112075000572f.
- Özdemir, N. 1998. *Toprak Fiziği*. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitabı No: 30 Samsun.
- Özer, A. ve Çoban, Y. 2014. Yapay sinir ağları öğrenme kılavuzu. www.yapaysiniraglari.com/Dersler/IcerikId/34. Erişim tarihi 01.09.2014.
- Öztaş, T ve Fayetorbay, F. 2003. Effect of Freezing and Thawing Processes on Soil Aggregate Stability. *Catena*. Vol: 52, 1-8.
- Öztaş, T. 2014. *Toprak strüktürü ve yönetimi*. Toprak Amenajmanı. Basılmamış kitap bölümü (Ed) Sabit Erşahin.

- Öztekin, T., Cemek, B., and Brown, L.C. 2007. Pedotransfer Functions for the Hydraulic Properties of Layered Soils GOÜ. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2007, 24 (2), 77-86.
- Quisenberry, V.L., Smith, B.R., Phillips, R.E., Scott, H.D., and Nort-cliff, S. 1993. A soil classification system for describing water and chemical transport. *Soil Sci.* 156:306–315.
- Pachepsky, Ya.A., Shcherbakov, R.A., Várallyay, G., and Rajkai, K. 1982a. Soil water retention as related to other soil physical properties *Pochvovedenie*, 2, pp. 42–52 (in Russian).
- Pachepsky, Y.A, Timlin, D., and Varallyay, G. 1996. Artificial neural networks to estimate soil water retention from easily measurable data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 727-733.
- Pachepsky, Y.A. and Rawls, W.J. 1999. Accuracy and reliability of pedotransfer function as affected by grouping soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63: 1748-1759.
- Pachepsky, Ya.A., Rawls, W.J., Gimenez, D., and Watt, J.P.C. 1998. Use of soil penetration resistance and group method of data handling to improve soil water retention estimates. *Soil Till. Res.* 49, 117-128.
- Pachepsky, Y.A., Rawls, W.J., and Timlin, D. 1999. The current status of pedotransfer functions: their accuracy, reliability, and utility in field- and regional-scale modeling ,in: D.L. Corwin, K. Loague, T.R. Ellsworth (Eds.), *Assessment of Non-point Source Pollution in the Vadose Zone*, Geophysical Monograph 108, American Geophysical Union, Washington DC (1999), pp. 223–234.
- Pachepsky, Y.A, Timlin, D. and Rawls, W. J. 2001. Soil water retention as related to topographic variables. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65. 1787–1795.
- Pachepsky, Y.A., Timlin, D.J., and Rawls, W.J. 2001a. Soil water retention as related to topographic variables. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65 in press.
- Pachepsky, Y.A., Radcliffe, D.E., and Selim, H.M. 2003. *Scaling Methods In Soil Physics*. Crc Press. 2003.
- Pachepsky, Y. A. and Rawls, W. J. 2004. *Development of Pedotransfer Functions in Soil Hydrology*. Elsevier, Amsterdam.
- Pachepsky, Y.A., and W.J. Rawls (ed.). 2005. *Development of pedotransfer functions in soil hydrology*. Elsevier. *Development in Soil Science*, V 30.m Amsterdam, The Netherlands.
- Pachepsky, Y.A, Rawls, W.J, and Lin, H.S. 2006. *Hydropedology and Pedotransfer Functions*. *Geoderma* 131:308–316.
- Pachepsky, Y., Nez, D.G., Lilly, A., and Nemes, A. 2008. *Promises of hydropedology*. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 3(40).
- Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.K. 1982. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. ASA, SSSA, Agronomy Series No: 9, Madison, USA.
- Pagliai, M., Marsili, A., Servadio, P., Vignozzi, N., and Pellegrini, S. 2003. Changes in some physical properties of a clay soil in central italy following the passage of rubber tracked and wheeled tractors of medium power. *Soil and Tillage Research* 73: 119–129.
- Panayiotopoulos, K. P., Papadopoulou, C. P., and Hatjioannidou, A. 1994. Compaction and penetration resistance of an alfisol and entisol and their influence on root growth of maize seedlings. *Soil and Tillage Research* 31: 323-337

- Park, C.S., G.A. O'Connor, 1980. Salinity effect on hydraulic properties of soils. *Soil Sci.*, 130 (3): 167-174.
- Park, S.J. and Vlek, P.L.G. 2002. Environmental correlation of three-dimensional soil spatial variability: a comparison of three adaptive techniques. *Geoderma*, 109, 117– 140.
- Parker, J.C., Amos, D.F. and Zelazny, L.W. 1982. Water adsorption and swelling of clay minerals in soil systems. *Soil Science Society of America Journal*, 46, 450-456.
- Radford, B. J., Bridge, B. J., Davis, R. J., McGarry, D., Pillai, U. P., Rickman, J.F., Walsh, P. A., and Yule, D. F. 2000. Changes in the properties of vertisol and responses of wheat after compaction with harvester traffic. *Soil and Tillage Research* 54: 155–170.
- Rajkai, K. and Várallyay, G.Y. 1992. Estimating soil water retention from simpler properties by regression techniques. In M. Th. van Genuchten, F.J. Leij, and L.J. Lund (eds.) *Proc Int. Workshop on Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils*. University of California, Riverside, CA. 417-426.
- Rawls, W.J., Brakensiek, D.L., and Saxton, K.E. 1982. Estimation of soil water properties. *Trans. ASAE*. 25, 1316–1320, 1328.
- Rawls, W.J. 1983. Estimating soil bulk density from particle size analysis and organic matter content. *Soil Science*, 135, 123-125.
- Rawls, W.J. and Brakensiek, D.L. 1983. A procedure to predict Green and Ampt infiltration parameters. p. 102–112. In *Adv. in Infiltration*. ASAE, St. Joseph, MI.
- Rawls, W.J., Brakensiek, D.L. 1985. Prediction of soil water properties for hydrologic modelling, in: E. Jones, T.J. Ward (Eds.), *Watershed Manag. Eighties, Proceedings of Symposium ASCE*, Denver, CO, 30 April–2 May 1985, ASCE, New York (1985), pp. 293–299
- Rawls, W.J., Gish, T.J., and Brakensiek, D.L. 1991. Estimating soil water retention from soil physical properties and characteristics *Adv. Soil Sci.*, 16 (1991), pp. 213–234
- Rawls, W.J., Brakensiek, D.L., and Logsdon, S.D. 1993b. Predicting saturated hydraulic conductivity utilizing fractal principles. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:1193–1197.
- Rawls, W.J., Gimenez, D., and Grossmann, R. 1998. Use of soil texture, bulk density and slope of the water retention curve to predict saturated hydraulic conductivity. *Trans. ASAE* 414, 983–988.
- Rawls, W. and Pachepsky, Y. 2000. Status of Pedotransfer Functions: American Geophysical Union. March 2, 2000.
- Rawls, W.J. and Pachepsky, Y.A. 2002. Soil consistence and structure as predictors of water retention. *Soil Science Society of America Journal*, 66, 1115–1126.
- Reeve, R.C. 1957. Factors which affect permeability. *Agron.*, 7: 404-413.
- Regalado, C.M. and Carpena, R.M. 2004. Estimating the saturated hydraulic conductivity in a spatially variable soil with different permeameters: a stochastic Kozeny–Carman relation. *Soil & Tillage Research* 77 (2004) 189–202.
- Rhodenburg, H., Diekrügger, B., and Bork, H.R. 1986. Deterministic hydrological site and catchment models for the analysis of agroecosystems *Catena*, 13 (1986), pp. 119–137.
- Rhoades, J.D. 1990b. Determining soil salinity measurement of electrical conductivity. *Commun Soil Sci. Plant Anal.* 21:861-901.
- Richards, S.J. and Weeks, L.V. 1953. Capillary conductivity values from moisture yield and tension measurements on soil columns. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 17:206.

- Richards, L.A (ed.) 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. Agriculture Handbook 60. USDA, Washington, 160 p.
- Richard, G., Cousin, I., Sillon, J. F., Bruand, A., and Guerif, J. 2001. Effect of compaction on the porosity of a silty soil: influence on unsaturated hydraulic properties. *European Journal of Soil Science* 52: 49–58
- Rose, W. 1958. Volumes and surface areas of pendular rings. *Appl. Phys.* 29:687–692.
- Ross, G. J. 1978. Relationships of specific surface area and clay content to shrink-swell potential of soils having different clay mineralogical compositions. *Can. J. Soil Sci.*, 58, 159-166.
- Roth, C.H, Pavan ,M.A, Chaves, J.C.D, Meyer, B and Frede, H.G. 1986. Efeitos das aplicacoes de calcario e gesso sobre a estabilidade ´de agregados e infiltrabilidade de agua em un Latossolo Roxo ´cultivado com cafeeiros. *Rev Bras Ci Solo* 10: 163–166.
- Kohn, W. 1975. The influence of long-term soil cultivation, fertilization and rotation on the chemical and physical properties and yielding ability of a sandy loam soil. I. Soil chemical and physical properties. *Bayer Landwirtsch Jahrb* 52: 928–955.
- Roth, C.H. and Pavan, M.A. 1991. The effect of lime and gypsum on clay dispersion and infiltrability of a Typic Haplorthox. *Geoderma* 48:351-361.
- Rowel, D.L. 1981. Oxidation and reduction. Pp. 401-461. In D.J.Greenland and M.H.B.Hayes (eds). *The Chemistry of Soil Processes*. John Wiley&Sons, New York, NY.
- Russo, D. 1988. Stochastic analysis of flow and transport in unsaturate heterogeneous porous formation: effects of variability in water saturation. *Water Resources Research*, 34. 569-581.
- Salter, P.J. and Williams, J.B. 1965. The influence of texture on the moisture characteristics of soils: I. A critical comparison for determining the available water capacity and moisture characteristics curve of a soil *Journal of Soil Science*, 16 (1965), pp. 1–15.
- Salter, P.J., Berry,G., and Williams, J.B. 1966. The influence of texture on the moisture characteristics of soils: III. Quantitative relationships between particle size, composition and available water capacity *Journal of Soil Science*, 17 (1966), pp. 93–98
- Salter, P.J. and Williams, J.B. 1965b. The Influence of Texture on the Moisture Characteristics of Soils: II Available Water Capacity and Moisture Release Characteristics. *Journal of Soil Science* 16, 310-317.
- Salter, P.J. and Williams, J.B. 1967. The influence of texture on the moisture characteristics of soils: IV. A method of estimating available water capacities of profiles in the field *Journal of Soil Science*, 18 (1967), pp. 174–181
- Salter, P.J. and Williams, J.B. 1969. The influence of texture on the moisture characteristics of soils: V. Relationships between particle-size composition and moisture contents at the upper and lower limits of available water *Journal of Soil Science*, 20 (1969), pp. 126–131
- Sanchez, G., Andreu, V.E., and Hernanz, J.L. 1998. Response of five type of soil to simulated compaction in the form of confined uniaxial compression test. *Soil Tillage Res.*, 48: 37-50.
- Saxton, K.E., Rawls, W.J., Romberger, J.S., and Papendick, R.I. 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil Sci. Soc. Am. 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. Am. J.*, Vol. 70, September–October 2006.
- Schaap, M.G. and Bouten, W. 1996. Modelling water retention curves of sandy soils using neural networks *Water Resour. Res.*, 32 (1996), pp. 3033–3040
- Schaap, M.G. and Leij, F.J. 1998a. Database related accuracy and uncertainty of pedotransfer functions. *Soil Sci.* 163: 165-779.
- Schaap, M.G. and Leij, F.J. 1998b. Using neural networks to predict soil water retention and soil hydraulic conductivity. *Soil and Tillage Research.* 47: 37-42.
- Schaap, M.G., Leij, F.J., and Van Genuchten, M.T.H. 1998. Neural network analysis for hierarchical prediction of soil hydraulic properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 847-855.
- Schaap, M.G. and Leij, F.J. 2000. Improved prediction of unsaturated hydraulic conductivity within the Mualem-van Genuchten model. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 843-851.
- Schaap, M.G., Leij, F.J., and Van Genuchten, M.T.H. 2001. Rosetta: A computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. *J. Hydrol. (Amsterdam:)* 251: 163-176.
- Schachtschabel, P., Blume, H.P., Brümmer, G., Hartge, K.H., and Schwertmann, U. 1989. *Toprak Bilimi. Ç.Ü Ziraat Fak. Genel yayın no: 73. Çeviri: Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M., Kaptan, H.* 1993.
- Schafer, W.M. and Singer, M.J. 1976. A new method of measuring shrink-swell potential using soil pastes. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40, 805-806,
- Scheltema, W. and Boons, H.Ch.P.M. 1973. Al-clay, a solution to mechanical stability problems in a heavy clay soil? In: H.Dost (ed.), *Acid sulphate soils: proceeding of the international symposium on acid sulphate soils. Vol. II. ILRI Publication 18, Wageningen*, pp. 319-342.
- Scheinost, A.C., Sinowski, W., and Auerswald, K. 1997b. Regionalization of soil water retention curves in a highly variable soilscape, I. Developing a new pedotransfer function. *Geoderma* 78, 129-143.
- Schoeneberger, P.J., Wysocki, D.A., Benham, E.C., and Broderick, W.D. 2002. *Field Book for Describing and Sampling Soils.* National Soil Survey Center, Natural Resources Conservation Service U.S. Department of Agriculture, September 2002.
- Schuh, W.M. and Bauder, J.W. 1986. Effect of soil properties on hydraulic conductivity-moisture relationship. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:848–855.
- Schuh, W.M. and Celine, R.L. 1990. Effect of soil properties on unsaturated hydraulic conductivity pore interaction factors. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54, 1509-1519.
- Schwertmann, B. 1993 *Book.: Soil Color. SSSA. P51-69. J.M.Bigham and E.J.Ciolkosz (ed) ISBN: 978-0-89118-926-8. doi:10.2136/sssaspecpub31.c4*
- Shainberg, L., Rhoades, J.D., and Pralher, R.J. 1980. Effect of low electrolyte concentration on Clay dispersion and hydraulic conductivity of a sodic soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45: 273- 277.
- Shainberg, L., Rhoades, J.D., Suarez, D.L., and Pralher, R.J. 1981. Effect of mineral Weathering on clay dispersion and hydraulic conductivity of sodic Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45: 287-291.

- Sharma, M.L., Uehara, G. 1967. Influence of Soil Structure on Water Retention in Low Humic Latasol, Agr. Abs. Ann. Meet., ASA, Div.: S-1. Tate, R. L. 1995. Soil Microbiology. John Wiley & Sons, New York.
- Sharma, M.L. and Uehara, G. 1968. Influence of soil structure on water relations in low humic Latosols. I. Water retention. II. Water movement. Soil Sci. Soc. Am. J. 32:765–774.
- Shein, E.V., Pachepsky, Y.A., Guber, A.K., and Checkhova, T.I. 1995. Experimental determination of hydrophysical and hydrochemical parameters in mathematical models for moisture- and salt transfer in soils Pochvovedenie, 11 (1995), pp. 1479–1486
- Skopp, J. 1995. Laboratory Procedures for Soil Physical Determination. Agronomy 458-858, University of Nebraska-Lincoln USA.
- Skoop, J. M. 2000. Physical Properties of Primary Particles. Chapter 1. Handbook of Soil Science (ed) Malcolm E. Sumner.
- Smith, J.L., Papendick, R.I., Bezdicsek, D.F., and Lynch, J.M. 1992. Soil organic matter dynamics and crop residue management. In: Soil Microbial Ecology. F.B. Metting (ed.) Marcel Dekker, Inc, New York. pp. 65-94.
- Smith, C.W., Johnston, M.A., and Lorentis, S. 1997. Assessing the compaction susceptibility of South African forestry soil. 11. Soil properties affecting compactability and compressibility. Soil Tillage Res., 43: 335-354.
- Soil Survey Staff. 1951. Soil Survey Manual Agric. Handb. No.18 USDA. U.S. Government Printing Office, Wash.
- Soil Survey Staff. 1975. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Soil Conserv. Serv., U.S. Dept. Agric., Agriculture Handbook No. 436.
- Soil Survey Staff. 1993. Soil Survey Manual. United States Department of Agriculture Handbook No: 18, USDA, Washington.
- Sönmez, N. 1960. Bitki Yetiştirme ile Solma Yüzdesinin Tayini Üzerinde Bir Araştırma. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi 1960 Yılı. 11.
- Stephens, D.B. 1985. A field method to evaluate determine unsaturated hydraulic conductivity using flow nets. Water Resource Res. 21:45.
- Stephens, D.B. 1996. Vadose Zone Hydrology, ISBN 0-87371-43-6, Lewis Publishers, CRC Press Inc., Boca Raton, Florida.
- Stolte, J., Freijer, J.I., Bouten, W., Dirksen, C., Halbertsma, J.M., Van Dam, J.C., Van den Berg, J.A., Veerman, G.J., and Wösten, J.H.M. 1994. Comparison of six methods to determine unsaturated soil hydraulic conductivity. Soil Sci. Soc. Am. J. 58, 1596–1603.
- Stumpp, C., Engelhardt, S., and Hofmann, M. 2009. Evaluation of pedotransfer functions for estimating soil hydraulic properties of prevalent soils in a catchment of the Bavarian Alps. Eur J Forest Res (2009) 128:609–620. DOI 10.1007/s10342-008-0241-7
- Subba Rao, K.S. and Satyadas, C.G. 1987. Swelling potential with cycles of swelling and partial shrinkage. Proceedings of the 6th International Conference on Expansive Soils, vol. 1, New Delhi, India, pp. 137–142.
- Sumner, M.E. 2000. Handbook of Soil Science (Ed. Chief). CRC Press LLC.
- Şeker, C. 1999. Tr. J. of Agriculture and Forestry 23 (1999) Ek Sayı 3, 583-588 @ TÜBİTAK 583. Penetrasyon Direnci ile Bazı Toprak Özellikleri Arasındaki Özellikler.

- Grunwald, S. 2001. Profile cone penetrometer data used to distinguish between soil materials. *Soil and Tillage Research* 62(1-2): 27-40
- Taboada, MA. 2003. Soil Shrinkage Characteristics in Swelling Soils Lecture given at the College on Soil Physics Trieste, 3-21 March 2003.
- Tamari, S., Wösten, H. M., and Ruiz-Suarez, J. C. 1996. Testing an artificial neural network for predicting soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1996, 60, 1732–1741.
- Tartakovsky, D.M., Lu, Z., and Guadagnino, A. 2003. Unsaturated flow in heterogeneous soils with spatially distributed uncertain hydraulic parameters. *Journal of Hydrology*. 275: 182-193.
- Tawfiq, S. and Nalbantoglu, Z. 2009. Swell-Shrink behavior of expansive clays. In *Proceeding of 2nd International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Nicosia, North Cyprus (pp. 336-341).
- Terzaghi, K. and Black, B.R. 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. Second Edition, John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Tessier, D. 1984. Etude expérimentale de l'organisation des matériaux argileux, Thèse Doctorat d'Etat, Université de Paris 6, France, 247 pp.
- Tessier, D., Lajudie, A., and Petit, J.C. 1992. Relation between the macroscopic behavior of clays and their microstructural properties. *Appl. Geochem. (Suppl. 1)*, 151-161.
- Tessier, D., Bigorre, F., and Bruand, A. 1999. La capacité d'échange : outil de prévision des propriétés physiques des sols. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 85, 37–46.
- Thomas, P.J., Baker, J.C., and Zelazny, L.W. 2000. An expensive soil index for predicting Shrink-swell potential. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64, 268-274.
- Tiarks, A.E., Mazurak, A.P., and Chesnin, L. 1974. Physical Properties of Soil Associated with Heavy Application of Manure from Cattle Feedlots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 38 (5): 826-830.
- Tietje, O. and Tapkenhinrichs, M. 1992. Evaluation of pedo-transfer functions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57: 1088- 1095
- Tietje, O. and Hennings, V. 1993. Bewertung von Pedotransferfunktionen zur Schätzung der Wasserspannungskurve. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.*, 156: 447-455.
- 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.
- Timlin, D.J., Ahuja, L.R., and Williams, R.D. 1996. Methods to estimate soil hydraulic parameters for regional scale applications of mechanistic models, in: D.L. Corwin, K. Loague (Eds.), *Applications of GIS to the Modeling of Non-Point Source Pollutants in the Vadose Zone*, SSSA Special Publication 48 (1996), pp. 185–203.
- Toledo, P.G., Novy, R.A., Davis, H.T., and Scriven, L.E. 1990. Hydraulic conductivity of porous media at low water content. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:673–679. doi:10.2136/sssaj1990.03615995005400030007x
- Tolk, J.A. 2003. *Encyclopedia of Water Science* DOI: 10.1081/E-EWS 120010337
- Tomasella, J. and Hodnett, M.G. 1998. Estimating soil water retention characteristics from limited data in Brazilian. *Soil Science*, 163, 190-202.
- Tomessla, J., Hodnett, M.G., and Rosette, L. 2000. Pedotransfer Functions for Estimation of Soil Water Retention in Brazilian Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64: 327-338.

- Tranter, G., Minasny, B., McBratney, A.B., Murphy, B., Mckenzie, N.J., Grundy, M., and Brough, D. 2007. Building and testing conceptual and empirical models for predicting soil bulk density. *Soil Use and Management*, 23, 437–443.
- TRGM, 2013. <http://www.fao.org/docrep/018/a0541tr/a0541tr.pdf>.
- Tripathy, S., Rao, K. S., and Fredlund, D. G. 2002. Water content-void ratio swell-shrink paths of compacted expansive soils. *Canadian Geotechnical Journal*, 39(4), 938-959.
- Trout, T.J., Sojka, R.E., and Okafor, L.I. 1992. Soil Management, in: *Management of Farm Irrigation Systems.*, Edited by Hoffman *et al.*, ASAE Monograph Number 9, 1040 s., Michigan, ABD.
- Tsatskin, A. and Gendler, T.S. 2002. Further notes on terra rossa and related soils near Kfar HaHoresh archaeological site, Israel. In : Zdruli P. (ed.), Steduto P. (ed.), Kapur S. (ed.).7. *International meeting on Soils with Mediterranean Type of Climate (selected papers)*. Bari : CIHEAM, 2002. p. 109-120 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 50).
- Tuli, A., Kosugi, K., Hopmans, J.W. 2001. Simultaneous scaling of soil water retention and unsaturated hydraulic conductivity functions assuming lognormal pore-size distribution. *Advances in Water Resources*. 24: 677-688.
- Tuller, M., Or, D., and Dudley, L.M. 1999. Adsorption and capillary condensation in porous media: Liquid retention and interfacial configurations in angular pores. *Water Resour. Res.* 35:1949–1964. doi:10.1029/1999WR900098
- Tuller, M. and Or, D. 2003. Hydraulic functions for swelling soils: Pore scale considerations. *J. Hydrol.*, 272: 50-71.
- Turgut, B., Öztaş, T. 2012. Penetrasyon Direncini Etkileyen Bazı Toprak Özelliklerinin Yersel Değişiminin Belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*: www.Agri.Ankara.Edu.Tr/Dergi
- Twarakavi, N.K.C., Šimůnek, J., and Schaap, M.G. 2008. Development of pedotransfer functions for estimation of soil hydraulic parameters using support vector machines. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 73(5), 1443-1452.
- Twarakavi, N.K.C., Simunek, J., and Schaap M.G. 2009. Development of Pedotransfer functions for estimation of soil hydraulic using Support Vector machines. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 73, 1443-1452.
- Ural, Ş. 2003. "Puslu (Fuzzy) Mantık", *Mantık, Matematik ve Felsefe*, I. Ulusal Sempozyumu 26-28 Eylül 2003 Assos-Çanakkale, Ed: Ural, Ş., Özer, M., Koç, A., Şen, A., Hacibekiroğlu, G., T.C. İstanbul Kültür Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 2004, s. 43- 60. [http://www.safakural.com/makaleler/puslu-\(fuzzy\)-mantik](http://www.safakural.com/makaleler/puslu-(fuzzy)-mantik).
- USDA, NRCS. 2008. Natural Resources Conservation Service. Soil Quality Indicators. June 2008. www.nssc.nrcs.usda.gov
- USDA, NRCS 2011. Soil pH. Natural Resources Conservation Service. Soil Quality Indicators. December 2011. www.nssc.nrcs.usda.gov
- USDA, 2014. Soil Survey Manual - Chapter Three. Natural Resources Conservation Service Soils. United States Department of Agriculture. http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/ref/?cid=nrcs142p2_054253
- Vacaud, G., Vauclin, M., and Balabanis, P. 1988. Stochastic approach of soil water flow through the use of scaling factors: measurement and simulation. *Agric. Water Manage.* 13, 249– 261.

- Van Breeman, N. 1988b. Long-term chemical, mineralogical, and morphological effects of iron-redox processes in periodically flooded soils. Pp. 811-823. In: J.W.Stucki, B.A.Goodman, and U.Schwertmann(eds.). *Iron in Soils and Clay Minerals*. D.Reidel Pub. Co., Boston, MA.
- Van Diepen, C.A., Van Keulen, H., Wolf, J., and Berkhout, J.A.A. 1991. Land evaluation: From intuition to quantification. *Adv. Soil Sci.* 15: 139-204.
- Van Genuchten, M. Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 892–898.
- Van Genuchten, M.TH. and Leij, F.J. 1992. On estimating the hydraulic properties of unsaturated soils. In: van Genuchten, M.TH., Leij, F.J., Lund, L.J. (Eds). *Indirect methods for estimating the hydraulic properties of unsaturated soils. Proceedings of international workshop, Riverside, CA, 11-13 October, 1989, University of California, Riverside, CA, PP.1-4.*
- Van Lanen, H. A. J., Van Diepen, C. A., Reinds, G. J., De Koning, G. H. J., Bulens, J. D., and Bregt, A. K. 1992. Physical land evaluation methods and GIS to explore the crop growth potential and its effects within the European Communities. *Agricultural Systems*, 39(3), 307-328.
- Van Schuylenborg, J. 1973. Sesquioxide formation and transformation. *Pseudogley and Gley. Transactions of Commissions V en VI, Int. Soc. Soil Sci., Stuttgart 1971. Verlag Chemie, Weinheim, 1973, pp 93-103.*
- Vapnik, V.N. 1995. *The nature of statistical learning theory*. Springer, New York, 188 p.
- Veihmeyer, F. J. and Hendrickson, A. H. 1927. Soil-moisture conditions in relation to plant growth. *Plant physiology*, 2(1), 71.
- Veneman, P.L.M., Vepraskas, M.J., and Bouma, J. 1976. The physical significance of soil mottling in a Wisconsin toposequence *Original Research Article Geoderma, Volume 15, Issue 2, February 1976, Pages 103-118*
- Veneman, P.L.M. and Bodine, S.M. 1982. Chemical and morphological soil characteristics in a New England drainage toposequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46, 359-363.
- Vepraskas, M. J., Baker, F. G., and Bouma, J. 1974. Soil Mottling and Drainage in a Mollic Hapludalf as Related to Suitability for Septic Tank Construction *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1974. 38:497–501. doi:10.2136/sssaj1974.03615995003800030032x
- Vepraskas, M. J. and Bouma, J. 1976. Model experiments on mottle formation simulating field conditions. *Geoderma*, 15(3), 217-230.
- Vepraskas, M.J., Guertal, W.R., Kleiss, H.J., and Amoozegar, A. 1996. Porosity factors that control the hydraulic conductivity of soil–saprolite transition zones. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60, 192–199.
- Vereecken, H., Feyen, J., Maes, J., and Darius, P. 1989. Estimating the soil moisture retention characteristic from texture, bulk density, and carbon content. *Soil Sci.* 148, 389–403.
- Vereecken, H., Maes, J., and Feyen, J. 1990. Estimating unsaturated hydraulic conductivity from easily measured soil properties. *Soil Sci.* 149, 1–12.
- Vereecken, H. 1995. Estimating the unsaturated hydraulic conductivity from theoretical models using simple soil properties *Geoderma*, 65 (1995), pp. 81–9
- Vervoort, R.W., Minasny, B., and Cattle, S.R. 2006. The hydrology of Vertosols used for cotton production: II. Pedotransfer functions to predict hydraulic properties. *Australian Journal of Soil Research*, 44(5), 479-486.

- Văzitiu, O., Calciu, I., Simota, C., Pănoiu, I., and Manea, A. 2012. A Pedo-Transfer Function For Predicting The Physical Quality Of Agricultural Soils. *Lucrări Științifice – vol. 55 (2) /2012, seria Agronomie* 351.
- Vogel, H.J. and Roth, K. 2003. Moving Through Scales of Flow and Transport in Soil. *J. Hydrol.* 272:95–106.
- Voronin, A. D.1990. An energy-based concept for the physical state of soils. *Journal Soviet Soil Science* 1990 Vol. 22 No. 7 pp. 53-64.
- Yakupoğlu, T., Şişman, A.Ö., Karagöktaş, M., ve Demir, Ö.F. 2013. Toprakların uygun koşullardaki hidrolik iletkenlik değerlerinin pedotransfer eşitlikler ile tahminlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8 (1), 84-92.
- 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(3), 275-297.
- Waisel, Y., Eshel, A., and Kafkafi, U. eds. 2002. *Plant Roots: The Hidden Half*. Marcel Dekker, Inc.
- Arvidsson, J., Keller, T. and Gustafsson, K. 2004. Specific draught for mouldboard plough, chisel plough and disc harrow at different water contents. *Soil Tillage Res.*, 79, 221–231.
- Watson, K.K. 1996. An instantaneous profile method for determining the hydraulic conductivity of unsaturated porous materials. *Water Resour Res.* 2: 709-715.
- Weynants, M., Vereecken, H. and Javaux, M. 2009. Revisiting vereecken pedotransfer functions: Introducing a closed-form hydraulic model. *Vadose Zone Journal*, 8(1), 86-95.
- Williams, J.R., Prebble, W.T., and Williams, C.T. 1983. Hignett The influence of texture, structure and clay mineralogy on the soil moisture characteristic *Aust. J. Soil Res.*, 21 (1983), pp. 15–31.
- Williams, J., Ross, P. J., and Bristow, K. L. 1992. Prediction of the Campbell water retention function from texture, structure and organic matter. In: van Genuchten, M. Th., Leij, F. J., Lund, L. J. (Eds.) *Proceedings of the International Workshop on Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils*. pp. 427-441. University of California, Riverside, CA.
- Wilson, J.P., Inskeep, W.P., Rubright, P.R., Cooksey, D., Jacobsen, J.S., and Snyder, R.D. 1993. Coupling geographic information systems and models for weed control and groundwater protection. *Weed Technol.* 7: 255-265.
- Wilson, J.P., Inskeep, W.P., Wraith, J.M., and Snyder, R.D. 1996. GIS-based solute transport modeling application: Scale effects of soil and climate data input. *J. Environ. Qual.* 25: 445-453.
- Wopereis, M.C.S., Wösten, J.H.M., ten Berge, H.F.M., Woodhead, T., and de San Augustin, E.M. 1993. Comparing the performance of a soil-water balance model using measured and calibrated hydraulic conductivity data, a case study for the dryland rice *Soil Sci.*, 156 (1993), pp. 133–140.
- Workman, S.R., Scaggs, R.W., 1992. Sensitivity of water management models to errors in soil hydraulic properties. Paper presented at the 1992 International Winter Meeting of ASAE, 15–18 December 1992, Nashville, Tennessee. Paper no. 922567.
- Wösten, J.H.M. and van Genuchten, M.Th. 1988. Using texture and other soil properties to predict the unsaturated soil hydraulic functions *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52 (1988), pp. 1762–1770

- Wösten, J.H.M., Schuren, C.H.J.E., Bouma, J., and Stein, A. 1990. Functional sensitivity analysis of four methods to generate soil hydraulic functions. *Soil Sci. Soc. Am.*, J. 54, 832-836.
- Wösten, J.H.M., Schuren, C.H.J.E., Bouma, J., and Stein, A. 1990. Use of practical aspects of soil behavior to evaluate different methods to generate soil hydraulic functions *Hydrol. Process.*, 4 (1990), pp. 299–310.
- Wösten, J. H. M., Finke, P. A., and Jansen, M. J. W. 1995. Comparison of class and continuous pedotransfer functions to generate soil hydraulic characteristics. *Geoderma*. 66. 227–237.
- Wösten, J.H.M. 1997. Pedotransfer functions to evaluate soil quality, in: E.G. Gregorich, M.R. Carter (Eds.), *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health, Developments in Soil Science 25*, Elsevier, Amsterdam (1997), pp. 221–245.
- Wösten, J.H.M., Lilly, A., Nemes, A., and Le Bas, C. 1998. Using existing soil data to derive hydraulic parameters for simulation models in environmental studies and in land use planning. Report 156, Winand Staring Centre, SC-DLO, Wageningen, Netherlands, 106 pp.
- Wösten, J.H.M., Lilly, A., Nemes, A., and Le Bas, C. 1999. Development and use of a database of hydraulic properties of European soils *Geoderma*, 90. pp. 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. Hydrol.*, 251,20 123–150, 2001.
- Wösten, J.H.M., Bannink, M.H., de Gruijter, J.J., and Bouma, J. 1986. A procedure to identify different groups of hydraulic conductivity and moisture retention curves for soil horizons. *Journal of hydrology*, 86(1), 133-145.
- Wu, L., Vomocil, J.A., and Childs, S.W. 1990. Pore size, particle size, aggregate size, and water retention. *Soil Science Society of America Journal*, 54: 952–956.
- Yalçuk, H., Munsuz, N. 1984. İzmir ili Çöplerinin İşlenmesi ile Elde Edilen Gübrenin Toprakların Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri üzerine Etkisi. Ankara Üni. Ziraat Fakültesi Yıllığı, Ankara, 32: 66-73.
- Yeşilsoy, M. Ş. 1976. Toprak Fiziği (Çeviri) Çukurova Üniversitesi Ziraat Fak.Yayınları :116, Ders Kitabı 11, Ankara.
- Yılmaz, K., Hall, N., and Coscan, P.K. 2003. An evaluation of soil compaction on the Narh Plain irrigation area, Kahramanmaraş, Turkey. *Soil Science*, 2003,168(7): 516-528.
- Yılmaz, E., Alagöz, Z., ve Öktüren, F. 2005. Toprakta Agregat Oluşumu ve Stabilitesi. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, No:19 (36), Sayfa 78-86, Konya
- Yılmaz, D. 2007. Toprakların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri ile Spesifik Yüzey Alanları Arasındaki ilişkiler. OMÜ Fen Bil. Enst. Toprak Anabilim Dalı, YLisans tezi. 2007.
- Young, I. M. and Crawford, J. W. 2004. Interactions and self-organization in the soil-microbe complex. *Science*, 304(5677), 1634-1637.
- Zand-Parsa, S. and Sepaskhah, A.R. 2004. Soil hydraulic conductivity function based on specific liquid–vapor interfacial area around the soil particles. *Geoderma*. 119(1– 2):143–157.
- Zeiliger, A.M., Pachepsky, Ya.A., and Rawls, W.J. 2000. Estimating water retention of sandy soils using the additivity hypothesis *Soil Sci.*, 165 (2000), pp. 373–383

- Zhang, S., Grip, H., and Lövdahl, L. 2006. Effect of soil compaction on hydraulic properties of two loess in China. *Soil & Tillage Research* 90: 117-125
- Zhuang, J., Nakayama, K., Yu, G.R., and Miyazaki, T. 2001. Predicting unsaturated hydraulic conductivity of soil based on some basic soil properties. *Soil and Tillage Research*. 59: 143-154.
- Zhuang, J., Yu, G.R., and Nakayama, K. 2001. Scaling of root length density of maize in the field profile. *Plant and Soil*, 235, 135–142.

EKLER

Ek.1 Toprak parametrik ve morfolojik özellikleri ile K_s arasındaki korelasyon değerleri

	K _s	Kil	Kum	Silt	HA	PD	ÖYA	KDK	COLE	TK	SN	pH	ASI	OM	CaCO ₃	Renk	Yapı sınıfı	Yapı tip	Yapı büyüklük	Gözenek büyüklüğü	Gözenek miktarı	Kıvam	Plastiklik	Yapışkanlık	Kök büyüklüğü	Kök miktarı
Kil	-0.928 0.00																									
Kum	0.760 0.00	-0.788 0.00																								
Silt	0.231 0.039	-0.296 0.008	-0.355 0-001																							
HA	0.642 0.00	-0.658 0.00	0.508 0.00	0.211 0.061																						
PD	-0.775 0.00	0.802 0.00	-0.659 0.00	-0.194 0.085	-0.660 0.00																					
ÖYA	-0.711 0.00	0.758 0.00	-0.568 0.00	-0.268 0.016	-0.589 0.00	0.737 0.00																				
KDK	-0.688 0.00	0.667 0.00	-0.476 0.00	-0.274 0.014	-0.591 0.00	0.626 0.00	0.790 0.00																			
COLE	-0.904 0.00	0.941 0.00	-0.753 0.00	-0.261 0.019	-0.688 0.00	0.810 0.00	0.753 0.00	0.692 0.00																		
TK	-0.840 0.00	0.866 0.00	-0.787 0.00	-0.094 0.407	-0.614 0.00	0.756 0.00	0.701 0.00	0.703 0.00	0.861 0.00																	
SN	-0.836 0.00	0.868 0.00	-0.707 0.00	-0.222 0-048	-0.568 0.00	0.688 0.00	0.701 0.00	0.725 0.00	0.839 0.00	0.942 0.00																
pH	0.165 0.144	-0.161 0.153	0.173 0.125	-0.024 0.835	0.014 0.903	-0.164 0.146	-0.267 0.017	-0.131 0.247	-0.140 0.215	-0.180 0.110	-0.211 0.061															
ASI	-0.128 0.257	0.118 0.297	-0.157 0.164	0.064 0.572	0.047 0.680	0.078 0.494	0.097 0.392	0.123 0.279	0.121 0.285	0.097 0.390	0.103 0.366	-0.123 0.279														
OM	0.236 0.035	-0.168 0.137	-0.004 0.973	0.260 0.020	0.137 0.225	-0.237 0.034	-0.275 0.013	-0.322 0.004	-0.233 0.037	-0.185 0.100	-0.179 0.112	0.143 0.207	0.050 0.657													
CaCO₃	-0.220 0.049	0.236 0.0350	-0.508 0.00	0.430 0.00	-0.046 0.686	0.186 0.098	0.117 0.300	0.059 0.603	0.201 0.074	0.328 0.03	0.233 0.038	-0.104 0.359	0.166 0.140	0.122 0.282												
Renk	0.387 0.00	-0.441 0.00	0.351 0.00	0.126 0.267	0.143 0.206	-0.444 0.00	-0.465 0.00	-0.381 0.00	-0.414 0.00	-0.310 0.005	-0.333 0.003	0.304 0.006	-0.223 0.047	0.142 0.208	-0.117 0.301											
Yapı sınıfı	0.948 0.00	-0.925 0.00	0.755 0.00	0.233 0.00	0.648 0.00	-0.814 0.00	-0.753 0.00	-0.711 0.00	-0.915 0.00	-0.860 0.00	-0.855 0.00	0.134 0.236	-0.115 0.310	0.231 0.039	-0.278 0.013	0.377 0.001										
Yapı tip	0.808 0.00	-0.829 0.00	0.667 0.00	0.224 0.046	0.538 0.00	-0.581 0.00	-0.559 0.00	-0.518 0.00	-0.701 0.00	-0.691 0.00	-0.709 0.00	0.185 0.101	-0.12 0.2549	0.063 0.582	-0.216 0.055	0.238 0.033	0.741 0.00									
Yapı büyüklük	0.892 0.00	-0.922 0.00	0.772 0.00	0.202 0.072	0.568 0.00	-0.776 0.00	-0.678 0.00	-0.584 0.00	-0.843 0.00	-0.789 0.00	-0.805 0.00	0.151 0.182	-0.153 0.176	0.136 0.230	-0.274 0.014	0.441 0.00	0.890 0.00	0.798 0.00								
Gözenek büyüklüğü	0.932 0.00	-0.923 0.00	0.807 0.00	0.149 0.188	0.605 0.00	-0.790 0.00	-0.743 0.00	-0.683 0.00	-0.930 0.00	-0.861 0.00	-0.852 0.00	0.150 0.185	-0.092 0.417	0.199 0.077	-0.269 0.016	0.411 0.00	0.934 0.00	0.736 0.00	0.865 0.00							
Gözenek miktarı	0.916 0.00	-0.922 0.00	0.788 0.00	0.178 0.115	0.608 0.00	-0.770 0.00	-0.745 0.00	-0.649 0.00	-0.921 0.00	-0.834 0.00	-0.820 0.00	0.171 0.129	-0.183 0.104	0.190 0.091	-0.311 0.005	0.484 0.00	0.912 0.00	0.732 0.00	0.885 0.00	0.923 0.00						
Kıvam	-0.897 0.00	0.961 0.00	-0.761 0.00	-0.279 0.012	-0.605 0.00	0.759 0.00	0.738 0.00	0.651 0.00	0.916 0.00	0.844 0.00	0.834 0.00	-0.145 0.198	0.134 0.237	-0.197 0.079	0.219 0.051	-0.452 0.00	-0.897 0.00	-0.765 0.00	-0.891 0.00	-0.912 0.00	-0.924 0.00					
Plastiklik	-0.916 0.00	0.981 0.00	-0.799 0.00	-0.250 0.025	-0.657 0.00	0.798 0.00	0.769 0.00	0.662 0.00	0.925 0.00	0.838 0.00	0.842 0.00	-0.171 0.129	0.137 0.225	-0.156 0.166	0.259 0.020	-0.432 0.00	-0.912 0.00	-0.824 0.00	-0.922 0.00	-0.913 0.00	-0.931 0.00	0.953 0.00				
Yapışkanlık	-0.951 0.00	0.972 0.00	-0.775 0.00	-0.273 0.014	-0.682 0.00	0.785 0.00	0.762 0.00	0.704 0.00	0.912 0.00	0.850 0.00	0.851 0.00	-0.145 0.198	0.116 0.308	-0.163 0.149	0.241 0.031	-0.395 0.00	-0.934 0.00	-0.862 0.00	-0.914 0.00	-0.924 0.00	-0.910 0.00	0.941 0.00	0.974 0.00			
Kök büyüklüğü	0.481 0.00	-0.411 0.00	0.214 0.057	0.292 0.009	0.501 0.00	-0.367 0.00	-0.416 0.00	-0.486 0.00	-0.439 0.00	-0.338 0.002	-0.350 0.001	0-098 0.386	0.041 0.717	0.302 0.006	0.054 0.634	-0.030 0.790	0.420 0.00	0.400 0.00	0.292 0.009	0.434 0.00	0.349 0.002	-0.359 0.001	-0.416 0.00	-0.484 0.00		
Kök miktarı	0.473 0.00	-0.438 0.00	0.153 0.174	0.427 0.00	0.500 0.00	-0.381 0.00	-0.400 0.00	-0.484 0.00	-0.466 0.00	-0.334 0.002	-0.375 0.001	0.044 0.699	0.046 0.688	0.302 0.007	0.137 0.225	-0.029 0.795	0.427 0.00	0.413 0.00	0.310 0.005	0.421 0.00	0.330 0.003	-0.369 0.001	-0.423 0.00	-0.492 0.00	0.942 0.00	
Benek	0.157 0.164	-0.135 0.234	-0.038 0.739	0.263 0.018	0.069 0.545	-0.066 0.559	-0.174 0.122	-0.288 0.010	-0.112 0.321	-0.177 0.116	-0.200 0.075	0.029 0.797	-0.095 0.401	0.057 0.613	-0.071 0.533	-0.006 0.959	0.180 0.111	0.180 0.109	0.091 0.423	0.110 0.330	0.104 0.358	-0.110 0.332	-0.163 0.149	-0.198 0.079	0.314 0.005	0.293 0.008

K_s: Doygun hidrolik iletkenlik, HA; Hacim ağırlığı, PD; Penetrasyon direnci, ÖYA; Özgül yüzey alanı, KDK; Katyon değişim kapasitesi, COLE; Toprak uzama katsayısı, TK; Tarla kapasitesi, SN; Solma noktası, ASI; Agregat stabilite indeksi, OM; Organik madde, CaCO₃; Kireç

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gülay KARAHAN

Doğum Yeri : Tokat/Merkez

Doğum Tarihi : 1970

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Adres : Çankırı Karatekin Üniversitesi Orman Fakültesi

Tel : 0 535 304 44 79

E-posta : gkarahan03@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Tokat Gaziosmanpaşa Lisesi

Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Mühendisliği

Yüksek Lisans : Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü

Doktora : Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı Toprak İlimi ve Ekoloji Bölümü (2010-2014)