

**ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**YARI-KURAK ORTA ANADOLU KOŞULLARINDA (ÇANKIRI) TEPE-EĞİM
HİDROPEDOLOJİSİ**

SEVAL SÜNAL

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ÇANKIRI
2018**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

YARI- KURAK ORTA ANADOLU KOŞULLARINDA (ÇANKIRI) TEPE-EĞİM HİDROPEDOLOJİSİ

Seval SÜNAL

Çankırı Karatekin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sabit ERŞAHİN

Sürdürülebilir toprak ve su amenajmanı stratejilerinin oluşturulabilmesi için topografya ve hidropedolojik süreçler arasındaki ilişkilerin yeterince anlaşılması gerekmektedir. Hidropedoloji toprak oluşumunu, toprakta taşınma ve birikme, su hareketi ve depolanmasını ve toprak matriksinin su ile olan etkileşimlerini inceler. Tepe-eğim ölçeğinde toprak hidropedolojisinin araştırılması henüz yeni bir konu olup, karmaşık süreçler ve bunlar arasındaki çoklu etkileşimleri incelemektedir. Bu çalışmada, tipik yarı kurak özellik gösteren ve jips ve kireç depozitleri üzerinde yer alan dalgalı tepeciklerin (lakustrin side slopes) hidropedolojisi çalışılmıştır. Bu bağlamda; toprak morfolojik ve parametrik özelliklerinin tepe-eğim (hillslope) eğim pozisyonu, bakı ve toprak derinliği (horizonlaşma) ile ilişkileri çoklu istatistiksel yöntemler (multivariate ANOVA), faktör analizi ve jeoistatistik yöntemler kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla, farklı eğim, bakı ve tepe-eğim (hillslope) pozisyonlarında (zirve, omuz eğim, arka eğim, ayak eğim ve parmak eğim) toprak profilleri açılarak Toprak Taksonomisi (Soil Taxonomy) rehberliğinde tanımlanmıştır. Aynı noktalardan (her bir profil etrafında belirlenen beş noktadan) horizon derinliği esas alınarak toprak örnekleri alınmış ve bu örneklerde temel toprak özellikleri (parametrik özellikler) belirlenmiştir. Yine aynı noktalarda yüzeyde infiltrasyon ve horizon derinliği esas alınarak doymuş hidrolik iletkenlik (Ks) ölçülmüştür. Sonuçlar çoklu karşılaştırma ve faktör analizine tabi tutulmuş ve bakı, eğim pozisyonu ve horizonlaşmanın değişkenler üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Ayrıca, arazide gözlenen yüzey üstü ve yüzey altı akış yolları ve tercihi akış ağlarının topografya ile ilişkisi hidropedoloji bağlamında yorumlanmıştır. Sonuçlar, bakı, horizonlaşma ve eğim pozisyonu ile bunların çoklu etkileşiminin toprak parametrik ve morfolojik özelliklerinin birçoğu üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Jeostatistiksel analiz sonuçları ise çalışılan toprak özelliklerinin uzaysal yapısının A, Bw ve C horizonlarında oldukça farklı olduğunu göstermiştir. Çıktılar, çalışma alanında topografyanın değişkenliği nedeniyle toprak özellikleri arasında oldukça karmaşık bir etkileşimin olduğu, bunun sonucunda suyun toprak altındaki hareket ve tutulmasını kontrol eden faktörlerin de uzaysal ve zamansal olarak değişken olduğunu göstermiştir. Çalışma alanı ve benzeri koşullarda toprak ve su amenajmanında toprak suyunun yüzey altındaki davranışının mutlaka dikkate alınması, hem yağış suyunun daha etkin değerlendirilmesi hem de besin elementi ve su kaybının azaltılması açısından son derece önemlidir.

2018, 259 Sayfa

ANAHTAR KELİMELELER: Hidropedoloji, Tepe-eğim modeli, Uzaysal yapı, İnfiltrasyon hızı, Hidrolik iletkenlik, Yarı-kurak koşullar

ABSTRACT

Ph.D Thesis

HILLSLOPE HYDROPEDOLOGY IN SEMI-ARID CENTRAL ANATOLIAN CONDITIONS (ÇANKIRI)

Seval SÜNAL

Cankırı Karatekin University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Forest Engineering

Supervisors: Prof. Dr. Sabit ERŞAHİN

Relations between topography and hydrogeological processes should be understood adequately for developing sustainable soil and water management strategies. The hydrogeology investigates relations among soil formation, transportation and translocation, and interaction between water and soil matrix within soil profile. Study of hydrogeology at hillslope scale is a relatively new subject, which comprises multiple processes interacting one to another. In this study, hydrogeology of a typical semi-arid undulating topography, located over gypsum and CaCO₃ deposits, was studied. In this regard, relationships among soil morphological and parametric properties and topographic variables of hillslope position, aspect, and soil horizonation were analyzed by multivariate statistics, factor analysis, and geostatistics. Representative soil profiles were open at different slope aspect, slope positions (summit, shoulder, backslope, footslope and toeslope) and described based on Soil Taxonomy. Soil samples were taken from the same soil depths of soil horizons around the soil profiles (five points around each of 31 soil profiles), taken to laboratory and analyzed for basic soil properties. In addition, soil infiltration rate and saturated hydraulic conductivity were measured around the soil profiles. The data were analyzed using multivariate ANOVA, factor analysis, and geostatistical means. In addition, the morphologic data were interpreted in regard to hydrogeology. The results showed that topographical variables of slope aspect and slope position had a significant effect on majority of the soil parametric and morphologic variables, and soil horizonation affected significantly most of those variables, including their spatial structure and spatial distribution pattern in the study area. The results further showed that complexity and high variability of topography resulted in a highly complicated multiple interactions among hydrogeology-related soil properties that control undersurface water flow in the study area. The results suggest that undersurface water flow must be considered to mitigate water and nutrient loss and to increase efficient use of precipitation water in the study area.

2018, 259 pages

KEY WORDS: Hydrogeology, Hillslope, Semivariograms, Geostatistics, Infiltration rate, saturated hydraulic conductivity, Semi-arid condition

TEŞEKKÜRLER

Tez çalışmamın konusu, hazırlanması ve bitimine kadar her aşamasında değerli bilgi, deneyim, sabır ve emeklerini esirgemeyen; bana geniş bir bakış açısı ile yol gösteren, öneri sunan; yoğun temposuna rağmen lisans, yüksek lisans ve doktora eğitimim boyunca beni büyük bir sabır ve fedakârlıkla destekleyen; her zaman örnek aldığım ve yolundan gittiğim danışmanım Sayın Prof. Dr. Sabit ERŞAHİN hocama sonsuz minnettarlığımı ve teşekkürlerimi ifade etmek istiyorum. Doktora çalışmamın hem arazi, hem laboratuvar hem de yazım aşamasında beni yalnız bırakmayan, her zaman desteğini gördüğüm sevgili arkadaşım Arş Gör. Ülkü Dikmen'e teşekkürü bir borç bilirim. Doç. Dr. Turgut Kutlu hocama aramızda mesafeler olmasına rağmen telefon ve e-posta ile çalışmalarımı takip ederek, bana yardım ettiği için ayrıca teşekkür ederim. Arazi çalışmasında göstermiş oldukları yakın ilgi ve arazilerinde bu çalışmayı yapmamıza müsaade ederek vermiş oldukları destek için arazi sahipleri Kenan Özdemir'e teşekkür ederim. Ayrıca bu aşamaya gelmemde her zaman ve her koşulda desteklerini hissettiğim canım aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bu tez projesi OF090316D01 nolu BAP projesi kapsamında yürütülmüştür. Verdiği destek için akademik personeli olduğum Çankırı Karatekin Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

Seval SÜNAL

Çankırı, Aralık 2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜRLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLOLAR DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
2.1 Hidropedoloji	5
2.2. Hidropedolojik Çalışmalarda Pedolojinin Önemi	16
2.2.1 Toprak Oluşum Faktörleri	16
2.2.1.1 Ana Materyal.....	17
2.2.1.2 İklim	20
2.2.1.3 Topografya	24
2.2.1.4 Canlılar	28
2.2.1.5 Zaman	29
2.3 Hillslope (Tepe-eğim) Hidropedolojisi	29
2.4 Hidropedoloji-Toprak Özellikleri Etkileşimi	38
2.4.1 Toprak Morfolojik Özellikleri	38
2.4.2 Toprak Tekstürü	54
2.4.3 Toprak Suyu	54
2.4.4 Doymuş Akış.....	59
2.4.5 Doymamış Hidrolik İletkenlik	65
2.4.6 Su Buharı Hareketi	66
2.4.7 Tercihi Akı.....	67
2.4.8 Makropor Akı.....	70
2.4.9 İnfiltrasyon Hızı	74
2.4.10 Hidropedoloji-Vadoz Bölge Etkileşimi	82
2.5 Hidropedoloji-Hidroloji İlişkileri	83
2.5.1 Yüzey Akış.....	84
2.5.2 Yüzey altı Akış.....	85
2.5.3 Anakayadan Akış (Bedrock Flow).....	86
3. MATERYAL VE YÖNTEM	89
3.1 Materyal	89
3.1.1 Çalışma Alanının İklimi.....	93
3.2 Yöntem	94
3.2.1 Profillerin Tanımlanması.....	94
3.2.2 İnfiltrasyon Hızı ve Hidrolik İletkenliğin Ölçülmesi	96
3.2.2.1 Tansiyon İnfiltrometresi	97
3.2.3 Sorptivite	98
3.2.4 Doymuş Hidrolik İletkenlik	98
3.2.5 Temel Toprak Analizleri.....	99
3.2.6 İstatistiksel Analizler.....	100
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	103
4.1 Tanımsal İstatistikler	104

4.1.1 Çalışma Alanı Topraklarının Parametrik ve Morfolojik Özelliklerine İlişkin Tanımsal İstatistik Sonuçları.....	104
4.1.2 Toprak Parametrik ve Morfolojik Özelliklerine İlişkin Korelasyon Analizi	121
4.1.3 Toprak Parametrik ve Morfolojik Özelliklerine İlişkin Çoklu Karşılaştırma Testleri.....	126
4.1.4 Bakı-Toprak Parametrik ve Morfolojik Özellikleri İlişkileri.....	129
4.1.5 Eğim Pozisyonu- Toprak Parametrik ve Morfolojik Özellikleri İlişkileri ..	149
4.1.6 Horizon- Toprak Parametrik ve Morfolojik Özellikleri İlişkileri	161
4.1.7 Toprak Parametrik Özelliklerine İlişkin Faktör Analizi	172
4.1.8 Toprak Morfolojik Özelliklerine İlişkin Faktör Analizi	176
4.1.9 Tüm Toprak Özelliklerine İlişkin Faktör Analizi.....	178
4.1.10 Topografik Özelliklerin Faktörler Üzerindeki Etkisi	181
4.1.10.1 Toprak Parametrik Özellikleri	181
4.1.10.2 Toprak Morfolojik Özellikleri	182
4.1.10.3 Toprak Parametrik ve Morfolojik Özellikleri.....	183
4.1.11 Toprak Parametrik Özelliklerine İlişkin Uzaysal Değişkenliğin Jeoistatistiksel Analizi	185
4.1.11.1 Jeoistatistiksel Modelleme Sonuçları.....	185
4.1.11.2 Krigleme Sonuçları.....	188
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	208
6. KAYNAKLAR	214
7.EKLER.....	243
ÖZGEÇMİŞ	257

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1	Çalışma alanı topraklarının parametrik ve morfolojik özelliklerine ilişkin tanımsal istatistik sonuçları.....	109
Çizelge 4.2	Bazı toprak özelliklerine ait varyasyon katsayısı ve değişkenlik derecesi..	107
Çizelge 4.3	Normalite test sonuçları.....	120
Çizelge 4.4	Çalışma alanında toprak parametrik özelliklerine ilişkin korelasyon analiz.....	122
Çizelge 4.5	Çalışma alanında toprak parametrik ve morfolojik özelliklerine ilişkin korelasyon analizi.....	125
Çizelge 4.6	Çalışma alanında toprak parametrik ve morfolojik özelliklerine ilişkin çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	127
Çizelge 4.7	Çoklu karşılaştırma testi sonucunda toprak parametrik ve morfolojik özelliklerine ilişkin P değerleri.....	128
Çizelge 4.8	Toprak parametrik özelliklerinin bakılara göre tanımsal istatistik analiz sonuçları.....	130
Çizelge 4.9	Toprak parametrik özelliklerinin bakılara göre tanımsal istatistik analiz sonuçları.....	138
Çizelge 4.10	Toprak parametrik ve morfolojik özellikleri için bakılara göre oluşturulmuş alt gruplar (Duncan sınıflaması).....	141
Çizelge 4.11	Toprak parametrik özelliklerinin eğim pozisyonuna göre tanımsal istatistik analiz sonuçları.....	151
Çizelge 4.12	Toprak morfolojik özelliklerinin eğim pozisyonuna göre tanımsal istatistik analiz sonuçları.....	155
Çizelge 4.13	Toprak parametrik ve morfolojik özellikleri için eğim pozisyonlarına göre oluşturulmuş alt gruplar (Duncan sınıflaması).....	159
Çizelge 4.14	Toprak parametrik özelliklerinin horizonlara göre tanımsal istatistik analiz sonuçları.....	162
Çizelge 4.15	Toprak morfolojik özelliklerinin horizonlara göre tanımsal istatistik analiz sonuçları.....	166
Çizelge 4.16	Toprak parametrik ve morfolojik özellikleri için horizonlara göre oluşturulmuş alt gruplar (Duncan sınıflaması).....	171
Çizelge 4.17	Toprak parametrik özelliklerine ilişkin dönüştürülmüş bileşenler matrisi...	173
Çizelge 4.18	Toprak parametrik özelliklerine ilişkin ortak varyans.....	174
Çizelge 4.19	Toprak parametrik özelliklerine ilişkin faktör analizi.....	175
Çizelge 4.20	Toprak morfolojik özelliklerine ilişkin dönüştürülmüş bileşenler matrisi...	176
Çizelge 4.21	Toprak morfolojik özelliklerine ilişkin ortak varyans.....	177
Çizelge 4.22	Toprak morfolojik özelliklerine ilişkin faktör analizi.....	177
Çizelge 4.23	Toprak parametrik ve morfolojik özelliklerine ilişkin dönüştürülmüş bileşenler matrisi.....	178
Çizelge 4.24	Toprak parametrik ve morfolojik özelliklerine ilişkin ortak varyans.....	179
Çizelge 4.25	Toprak parametrik ve morfolojik özelliklerine ilişkin faktör analizi.....	180
Çizelge 4.26	Çalışma alanında bağımsız değişkenlerin faktörlere ilişkin P ve ETA değerleri.....	184
Çizelge 4.27	Horizonlara ilişkin toprak parametrik özelliklerine ait semivaryogram modeli, model parametreleri ve çapraz değerlendirme sonuçları.....	186

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1	Hidropedolojinin bileşenleri	6
Şekil 2.2	Uzaysal ve zamansal ölçekte hidrolojik, pedolojik ve jeomorfolojik süreçlerin bir araya gelmesiyle oluşan bütünsel model.....	8
Şekil 2.3	Hidropedoloji için bir kavramsal model.....	13
Şekil 2.4	Ölçüm ölçeği ile parametre değerlerinin değişimi	16
Şekil 2.5	Düz ve tepe-eğim arazide topografyanın toprak nemine etkisi	26
Şekil 2.6	Tipik bir tepe-eğim modeli	30
Şekil 2.7	Tipik bir tepe-eğim modelinde horizonlar	30
Şekil 2.8	Tipik bir tepe-eğim modelinde meydana gelen akışlar	32
Şekil 2.9	Temel eğim şekilleri ve yüzey akış hatları	34
Şekil 2.10	Tepe-eğim model elementleri ve eğimlerin arazideki durumları	35
Şekil 2.11	Tepe-eğim modelinde su hareketinin yolları	36
Şekil 2.12	Farklı tercihi akıların şematik gösterimi	71
Şekil 2.13	İnfiltrasyon kapasitesinin mevsimlere göre değişimi	78
Şekil 2.14	İnfiltrasyon kapasitesinin zamana bağlı değişimi	79
Şekil 2.15	Yüzey ve yüzey altı akış süreçleri	87
Şekil 2.16	Üst toprak, alt toprak ve jeolojinin özelliklerinden baskın akış süreçlerini çıkaran bir karar akış şeması	88
Şekil 3.1	Çalışma alanının konumunu ve toprak profillerini ve örnekleme noktalarının alandaki konumları.....	89
Şekil 3.2	Çalışma alanının jeoloji haritası.....	90
Şekil 3.3	Çalışma alanına ait sayısal yükselti (DEM) ve eğim haritası	92
Şekil 3.4	Çalışma alanından bazı görüntüler.....	92
Şekil 3.5	Çalışma alanına ait su akış yolları haritası	93
Şekil 3.6	Arazide açılan profil tanımlama çalışmaları.....	96
Şekil 3.7	Arazide yapılan hidrolik iletkenlik ve infiltrasyon testleri.....	97
Şekil 3.8	Tansiyon infiltrometresinin genel görünümü	98
Şekil 3.9	Guelph permeametrosunun genel görünümü.....	99
Şekil 4.1	Çalışma alanına ilişkin bakı haritası.....	103
Şekil 4.2	Doymuş hidrolik iletkenlik sınıflandırması.....	106
Şekil 4.3	Çalışma alanında parmak eğimde (toeslope) taban suyu ve bunun neden olduğu benekler	112
Şekil 4.4	Çalışma alanında 31 numaralı profilde kireç birikimini gösteren benekler ..	114
Şekil 4.5	Çalışma alanında 17 numaralı profilde gözlenen kökler ve pas lekeleri.....	116
Şekil 4.6	Çalışma alanında tipik bir $A_p-B_{w1}-B_{w2}-C$ horizonu (1 nolu profil).....	117
Şekil 4.7	Çalışma alanında 11 numaralı profilde tanımlanan jipsik horizon	118
Şekil 4.8	Bazı toprak özelliklerinin bakılara göre değişimi.....	133
Şekil 4.9	Toprak fiziksel özelliklerinin bakılara göre değişimi	135
Şekil 4.10	Toprak morfolojik özelliklerinin bakılara göre değişimi	136
Şekil 4.11	Kuzeybatı bakıda açılan profillerin genel görünümü	142
Şekil 4.12	Güneybatı bakıda açılan profillerin genel görünümü ve arazi yüzeyinden genel görünüm	143
Şekil 4.13	Güneydoğu bakıda açılan profillerin genel görünümü.....	144
Şekil 4.14	Doğu bakıda açılan profillerin genel görünümü	145
Şekil 4.15	Doğu bakıda yüzey akış.....	145

Şekil 4.16 Kuzey bakıda açılan profillerin genel görünümü ve 22 nolu profilde tanımlanan petrojipsik horizon	145
Şekil 4.17 Kuzeydoğu bakıda açılan profillerin genel görünümü	147
Şekil 4.18 Düzlukte açılan profillerin genel görünümü	148
Şekil 4.19 Toprak fiziksel özelliklerinin eğim pozisyonlarına göre değişimi.....	152
Şekil 4.20 Bazı toprak özelliklerinin eğim pozisyonlarına göre değişimi	154
Şekil 4.21 Eğim pozisyonlarına göre en yüksek değişkenlik gösteren toprak özellikleri.....	154
Şekil 4.22 Toprak morfolojik özelliklerinin pozisyonlara göre değişimi	156
Şekil 4.23 Çalışma alanında açılan 12 numaralı profilde tanımlanan petrojipsik horizon	163
Şekil 4.24 Çalışma alanı depresyon bölgelerindeki horizonlarda görülen nodüller.....	163
Şekil 4.25 Bazı toprak özelliklerinin horizonlara göre değişimi	164
Şekil 4.26 Toprak fiziksel özelliklerinin horizonlara göre değişimi	165
Şekil 4.27 Çalışma alanında 17 nolu profilde görülen pedalite	168
Şekil 4.28 Çalışma alanında B _w horizonunda görülen jips birikimleri	169
Şekil 4.29 Toprak morfolojik özelliklerinin horizonlara göre değişimi	169
Şekil 4.30 Toprak parametrik özelliklerine ilişkin faktör analizi çizgi grafiği	172
Şekil 4.31 Toprak morfolojik özelliklerine ilişkin faktör analizi çizgi grafiği	176
Şekil 4.32 Toprak parametrik ve morfolojik özelliklerine ilişkin faktör analizi çizgi grafiği	178
Şekil 4.33 Çalışma alanında toprak organik maddesinin (TOM) A, B _w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni	188
Şekil 4.34 Çalışma alanında hacim ağırlığının A, B _w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni	189
Şekil 4.35 Çalışma alanında örnekleme anındaki su içeriği A, B _w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni	191
Şekil 4.36 Çalışma alanında CaCO ₃ içeriğinin A, B _w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni	192
Şekil 4.37 Çalışma alanında EC'nin A, B _w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni	193
Şekil 4.38 Çalışma alanında toprak pH'sının A, B _w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni	195
Şekil 4.39 Çalışma alanında toprakların kum miktarının A, B _w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni	196
Şekil 4.40 Çalışma alanında toprakların kil miktarının A, B _w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni.....	197
Şekil 4.41 Çalışma alanında toprakların silt miktarının A, B _w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni	198
Şekil 4.42 Çalışma alanında toprakların tarla kapasitesi ve solma noktası değişimlerinin A, B _w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni	200
Şekil 4.43 Çalışma alanında bitkiye yarayışı su içeriği değişimlerinin A, B _w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni	201
Şekil 4.44 Çalışma alanında toprakların doymuş hidrolik iletkenlik değişimlerinin A, B _w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni.....	202
Şekil 4.45 Çalışma alanında toprakların infiltrasyon hızı değişimlerinin A horizonunda uzaysal dağılım deseni.....	204
Şekil 4.46 Çalışma alanında toprakların sorptivite değişiminin A, horizonunda uzaysal dağılım deseni.....	205

Şekil 4.47 Çalışma alanında toprakların agregat stabilitesi değişimlerinin A, B _w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni.....	206
Şekil 4.48 Çalışma alanında toprakların KDK değişimlerinin A, B _w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni.....	207



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3.1 Çalışma alanına ait 1929-2016 yılları arasındaki iklimsel veriler	94
Tablo 4.1 İnfiltrasyon hızı sınıfları	110
Tablo 4.2 Çalışma alanında bulunan bakı ve eğim pozisyonları.....	126



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

m	Metre
cm	Santimetre
kg	Kilogram
da	Dekar
ha	Hektar
mm	Milimetre
sn	Saniye
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat Derece
$^{\circ}$	Derece
%	Yüzde
θ	Hacimsel Su İçeriği
K(h)	Toprak Suyu Yükü
ψ	Su Potansiyeli
q	Akış
d	Etkili Gözenek Çapı
dh/dz	Hidrolik Yük Derecesi
v	Akış Hızı
p	Sıvının Yoğunluğu
η	Vizkozite
I	Birikimli İnfiltrasyon
t	Birikimli Zaman
r_0	Disk infiltrometre yarıçapı
h	Birikimli Yükseklik
mPa	Megapaskal
S	Sorptivite
i	İnfiltrasyon Hızı
VK	Varyasyon Katsayısı
Db	Hacim Ağırlığı
TOM	Toprak Organik Maddesi
AS	Agregat Stabilitesi
EC	Elektriksel İletkenlik
TK	Tarla Kapasitesi
SN	Solma Noktası
BYSİ	Bitkiye Yrayışlı Su İçeriği
KDK	Kasyon Değişim Kapasitesi
CaCO_3	Kireç
Ks	Doymuş Hidrolik İletkenlik
İH	İnfiltrasyon Hızı
K	Kuzey
Kb	Kuzeybatı
Kd	Kuzeydoğu
D	Doğu
Gd	Güneydoğu
P	Profil

Z	Zirve
O	Omuz Eğim
Ar	Arka Eğim
A	Ayak Eğim
P	Parmak Eğim
ETA	Kısmi Kareler Ortalaması
UB	Uzaysal Bağımlılık
RSS	Hata Kareler Toplamı
C_0	Nugget
C_0+C	Sill



1. GİRİŞ

Yarı-kurak bölgelerde toprakların gelişmesinde su önemli bir sınırlayıcı faktördür. Toprakların ekolojik işlevlerinin yerine getirilmesinde ve bitki gelişmesinde suyun anahtar önemi vardır. Toprak-su rejimi, tarım ve orman ekosistemlerinin üretkenliğinin temel belirleyicisidir. Su ana materyalin ayrışması ve toprak oluşumu için şarttır. Toprak oluşumunun tam olarak gerçekleşebilmesi için suyun regolit içinde hareketi yeterli değildir. Suyun profil içine sızması ve çözeltiliye geçen ayrışma ürünlerini profil içinde taşıyarak yer değiştirmelerini sağlaması gerekmektedir (Brady and Weil, 2000).

Toprak suyunun hidrolojik döngüdeki payı oldukça düşük, fakat birçok hidrolojik, biyolojik ve biyokimyasal süreçte önemi oldukça büyüktür (Brady and Weil, 2000). Özellikle yarı kurak bölgelerde toprağa düşen yağışın toprakta tutulması toprakta cereyan eden süreçler için son derece önemlidir. Toprak suyunun hidrolojik döngüdeki yerini tayin eden yegane faktör ise toprak hidrolik özelliklerinin bir fonksiyonu olan toprak suyu davranışıdır. Toprakta besin elementi alınımı, besin elementlerinin ve kirleticilerin yıkanması gibi süreçlerin tamamı toprak hidrolik özellikleri tarafından kontrol edilir (Erşahin, 2001).

Toprak hidrolik özelliklerinin işleyişini anlamadan başarılı bir toprak amenajmanı neredeyse imkansızdır. Doymuş ve doymamış hidrolik iletkenlik, hacimsel su içeriği, infiltrasyon hızı gibi dinamik özellikler toprak suyunun davranışını doğrudan etkilerken, toprak tekstürü, toprak strüktürü ve toprak organik maddesi gibi statik özellikler ise dolaylı etkiler. Toprak suyu davranışının anlaşılabilmesi için bu statik ve dinamik özellikler arasındaki etkileşimin çok iyi bilinmesi gerekmektedir (Erşahin, 2001). Wilding (1985)'e göre toprak dinamik özellikleri yüksek derecede değişkenlik gösterirken statik özellikleri daha az değişkenlik göstermektedir (Akbaş, 2004).

Toprak suyu, toprak ve atmosfer arasında meydana gelen süreçleri kontrol eder. Yüzey akış, yüzey altı akış ve tercihi akışın topografyadan etkilenmesi nedeniyle su toprakta eşit olarak (uniform) dağılmaz. Bu sebeple toprak suyunun uzaysal dağılımı önemli değişkenlik gösterir (Owe et al., 1982). Toprak özellikleri doğal süreçler, çevresel etmenler ve farklı amenajman

uygulamaları sonucu dikey ve yatay yönde değişmektedir. Doğal süreçler birçok pedolojik ve jeolojik faktörlerden kaynaklanmaktadır. Jeostatistiksel olarak bu faktörlerin bazıları kısa bazıları ise daha uzun uzaysal mesafelerde etki göstermektedir (Castrignanò et al., 2000). Sadece yüzey topografyasına bakılarak toprak hakkında detaylı bilgi elde etmek zordur. Bu sebeple ana materyal ve toprak arasındaki ilişki son derece önemlidir. Topraklar jeolojik, pedolojik, biyolojik ve morfolojik süreçlerin etkisi altında oluşurlar. Fakat toprakları oluşturan bu süreçler toprağın oluştuğu ana materyalin etkisinden oldukça etkilenmektedirler (Lambert, 2007).

Farklı ana materyaller üzerinde oluşan toprakların her biri kendine özgü ve teşhis edici özellikleri olan toprak horizonlarını içermektedir. Topraklar bu horizonların fiziksel, kimyasal ve morfolojik özelliklerin farklılık göstermesinden dolayı dikey yönde değişiklik göstermektedir (Trangmar et al., 1985). Toprakların yatay yönde değişkenlik göstermesi ana materyal, iklim ve arazi değişkenliğinden kaynaklanmaktadır. Ordo düzeyinde toprak değişkenliği genellikle geniş ölçeklerde olmaktadır. Buna rağmen toprak özellikleri tek bir seri içerisinde bile bazen değişkenlik göstermektedir. Toprak serisindeki toprak özelliklerinin değişkenliği topografyadaki küçük farklılıklardan kaynaklanmaktadır (Trangmar et al., 1985). Son yapılan çalışmalar bakı, eğim, eğim derecesi ve eğim şeklinin toprak su içeriğini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir (Qiu et al., 2001; Salve and Allen-Diaz, 2001).

Wilding (1985)'e göre toprak özellikleri arasında en fazla değişkenliğe sahip özellikler, toprak kalınlığı, organik madde içeriği, plastiklik, değişebilir katyonlar ve hidrolik iletkenliktir. Toprak özelliklerinin değişkenliği, toprak hidrolojik süreçleri ve bu süreçlerin etkileri hakkında bilgi verebilir. Yarı-kurak bölgelerde infiltrasyon hızı ve hidrolik iletkenlik gibi hidrolojik süreçler zamansal ve mekansal olarak fazla değişkenlik gösterirler. Bu bölgelerde hidrolojik süreçler ve etki mekanizmaları bilindiği takdirde bu süreçlerin modellenmesi ve kontrol edilmesi daha kolay olur (Mayor et al., 2009). Hidrolojik süreçlerin toprak oluşumundaki etkileri karmaşık olduğundan, bunların sayısal olarak hesaba katılması, zor ve zaman alıcıdır (Tartakovsky et al., 2003; Wilding, 1985).

Yarı-kurak bölgelerde etkili bir su ve toprak amenajmanına yönelik yöntemlerin belirlenmesinde toprak derinliği, toprak oluşum süreçleri, hidrolojik ve hidropedolojik süreçlerin doğru analiz edilmesi oldukça önemlidir.

Hidropedoloji; toprak, su, iklim ve topografyanın karşılıklı etkileşimini inceler. Toprak özellikleri hidropedolojik süreçleri etkilerken, hidropedolojik süreçler de toprak özelliklerini etkiler ve neticede her iki faktörün ortak etkisinin bir sonucu olarak toprak fonksiyonu oluşur. Hidropedolojik süreçler toprak oluşumunu, toprakta taşınma ve birikme, su hareketi ve depolanmasını ve toprak matrisinin su ile olan etkileşimlerini inceler. Toprak hidropedolojisinin tepe-eğim ve su toplama alanlarında çalışılması zordur. Ancak bu süreçlerin farklı iklim, arazi ve coğrafik koşullarda çalışılması hem konunun daha iyi anlaşılması hem de bu alanların daha iyi kullanılması için elzemdir. Bu yönden bakıldığında başarılı bir arazi kullanımı, arazinin hidrolojik hassasiyeti, kirlilik ve akış mekanizmalarının anlaşılabilmesi için hidropedolojik modeller esastır.

Arazi ölçeğinde toprak hidropedolojisinin araştırılması oldukça yeni bir konu olup karmaşık süreçleri içermektedir. Hidropedolojik süreçlerin analizini zorlaştıran iki husus vardır; 1) bu süreçlerin zamansal ve uzaysal değişkenliği ve 2) bu süreçlerin anlaşılmasındaki güncel bilgi ve kaynakların eksikliği (Uhlenbrook et al., 2005). Bu süreçler üzerine farklı iklim, topografya ve ölçeklerde çok sayıda çalışma yapılmış olmasına rağmen, konunun karmaşık olması ve farklı disiplinlerden oluşan bir ekip çalışması gerektirmesi nedeni ile yeni çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Lin, 2003a).

Yarı-kurak ekosistemlerde hidropedolojik süreçlerin modellenmesi ve analizinde infiltrasyon ve akış (runoff) süreçlerinin kaynağı, akış yolları ve kontrolleri, toprak oluşumu, toprak yüzey özellikleri, topografya, toprak-ana kaya ya da -ana materyal etkileşimi, yüzey altı tercihi akış ağları ve bu ağların yapısı ve sürekliliği, bitki örtüsü ve yağış karakteristikleri son derece önemlidir. Bu yönden bakıldığında, etkin bir su ve toprak amenajmanı için arazinin hidropedolojik yapısı ve akış mekanizmalarının anlaşılması şarttır. Kurak ve yarı-kurak alanlarda suyun korunması, yağış suyundan maksimum fayda elde edilmesi ve toprak

erozyonunun önlenmesi için hidropedolojiye yönelik çalışmalar yapılmalı ve bu çalışmalardan elde edilecek sonuçlar pratikte uygulanmalıdır.

Bu çalışmada, tipik yarı-kurak özellik gösteren, jips ve kireç depozitleri üzerinde yer alan dalgalı bir arazinin (lakustrin side slopes) hidropedolojisinin çalışılması amaçlanmıştır. Bu bağlamda; toprak morfolojik, fiziksel ve kimyasal özellikleri, bitki örtüsü, infiltrasyon, doymuş ve doymamış hidrolik iletkenlik gibi birbirleriyle etkileşim halindeki özelliklerin çalışma alanındaki uzaysal yapısı ve etkileşimleri incelenmiştir. Hidropedolojik değişkenlerin arazi üzerindeki uzaysal değişimi jeostatistiksel yöntemlerle analiz edilmiş, farklı eğim pozisyonu, bakı ve horizonlardaki hidropedolojik özelliklerin farklılığı ise ANOVA yöntemi ile test edilmiştir. Aynı zamanda farklılığın nereden kaynaklandığının tespit edilebilmesi amacıyla faktörler (bakı, eğim pozisyonu ve horizon) ve bu faktörlerin birbiri ile etkileşimleri arasında çoklu karşılaştırma testleri yapılmıştır. Çalışmamızda birbiriyle ilişkili çok değişkenin olması sebebiyle, bu değişkenleri kullanarak daha az sayıda, anlamlı ve birbirinden bağımsız faktörler elde edebilmek için faktör analizi de yapılmıştır. Elde edilen veriler topografya, yüzey ve yüzey altı akış yolları, tercihi akış ağları ve toprak hidropedolojisini kontrol eden başlıca faktörleri belirlemek üzere analiz edilmiştir.

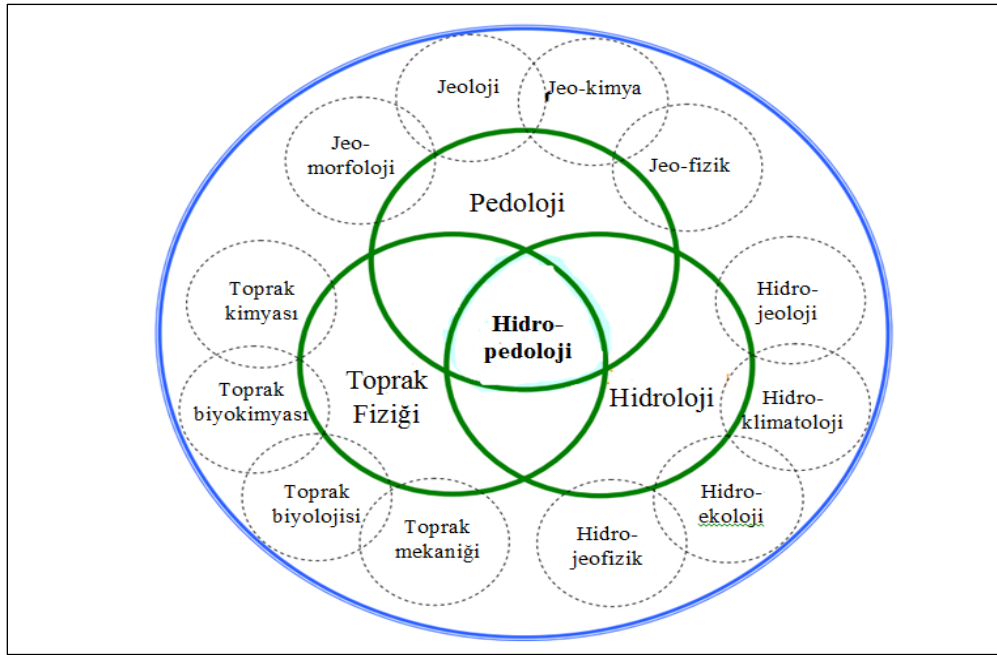
2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Hidropedoloji

Sürdürülebilir kaynakların kullanılmasında toprak, su, bitki ve hava temel özelliklerdir. Son zamanlarda Dünya’da yapılan birçok çalışmada bu kaynakların etkin kullanılmasında kritik bölgenin (Earth’s Critical Zone) önemine vurgu yapılmıştır. Kritik bölge kök bölgesi, derin vadoz bölge, yer altı ve yüzey suyu ve iklimin etkisinin de görüldüğü bölgeyi kapsar (Lin, 2010a). Bu bölgede toprak ve su en önemli iki etmendir. Toprakların ekolojik işlevlerinin gerçekleştirilmesinde suyun yaşamsal bir önemi vardır. Geleneksel pedolojide toprak-su ilişkileri her zaman birlikte algılanıp kullanılmasına rağmen toprak ve suyun konu itibari ile ayrıldığı noktalar vardır (Pachepsky et al., 2008). Genellikle pedologlar arazide pedon ölçeğinde toprak profilinde gözlem ve tanımlamalar yaparak verileri sayısal olarak değerlendirir, toprak fizikçileri çok daha küçük ölçekli (kolon çalışmaları) teorik ve laboratuvar çalışmaları yapar ve hidrologlar ise toprak ve su da meydana gelen süreçleri havza ya da bölgesel ölçekte değerlendirirler (Lin, 2003a). Rabenhorst et al. (1998)’a göre toprak fizikçileri yüzey hidrolojisi, hillslope (tepe-eğim) dinamikleri, catena dağılımları ve toprak hidromorfolojisi gibi konuları pedologlar ile birlikte çalışırlar (Lin, 2003a). Bazı toprak bilimcileri ve hidrologlar arasında pedoloji teriminin kullanılmasında farklı yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Pedoloji terimi toprak biliminde özellikle toprak oluşumu, toprak morfolojisi ve sınıflandırılmasında bütünleştirici bir anlamı işaret eder (Minasny et al., 2008).

Toprak oluşumunda meydana gelen süreçlerin daha iyi anlaşılabilmesi için pedosfer ve hidrosfer arasındaki kritik bölgede bütünleştirici çalışmalara ihtiyaç vardır. Jury (1999)’e göre bu süreçlerin ele alınmasında disiplinlerarası çalışmalar zor fakat bir o kadar da önemlidir. Bouma et al. (1999) ekolojik çalışmalarda disiplinlerarası çalışmaların zorlukları, konuları ve süreçler arasındaki etkileşimlere neden olan faktörleri ele almışlardır (Lin, 2003a). Özellikle bitki kök bölgesindeki toprakta su akışı, kimyasal kirleticilerin taşınması ve gübrelerin yarattığı sorunlar nedeniyle vadoz bölgenin önemi giderek artmıştır. Bu bölgede meydana gelen hidrolojik süreçlerin anlaşılmasında toprak fiziği, toprak kimyası, toprak hidrolojisi ve toprak oluşum süreçlerinin birlikte ele alınması gerekmektedir.

Hidropedoloji terimi ilk kez 1966 yılında M. Kutilek tarafından önerilmiştir. Araştırmacılara göre hidropedoloji doymamış bölgede hidrolojik süreçler ve bu süreçlerin özelliklerini toprak bilimi ve hidroloji ile ortak çalışarak tanımlaya çalışan bir bilim dalıdır (Kutilek and Nielsen, 2007). Hidropedoloji pedosfer ve hidrosfer arasında pedolojik ve hidrolojik süreçleri kapsayan çalışmalardır (Lin, 2011). Hidropedoloji toprak fiziği, pedoloji ve toprak hidrolojisi arasında iyi bir köprü oluşturarak kritik bölgedeki hidrolojik süreçleri anlamamıza yardımcı olur (Şekil 2.1) (Lin, 2003a).



Şekil 2.1 Hidropedolojinin bileşenleri. Lin (2003a)'den uyarlanmıştır.

Lin et al. (2008)'a göre hidropedoloji 2 temel soruyu yanıtlamaya çalışır. Bunlar;

- (1) Toprak mimarisi (soil architecture) ve toprağın arazi üzerindeki dağılımı farklı zamansal ve mekansal ölçeklerde toprak suyu ve hidrolojik süreçler üzerinde nasıl bir kontrol oluşturur?
- (2) Arazinin hidrolojik süreçleri toprak oluşumu, gelişimi ve değişkenliğini nasıl etkiler?

Hidropedoloji bu iki temel sorunun içermekte olduğu değişken ve parametrelerin karşılıklı etkileşim ve geri beslemeler üzerine kurulmuştur. Daha geniş bir tanımlamayla toprak statik özellikleri toprak dinamik özelliklerini etkiler ve sonra da dinamik özellikler statik özellikleri

etkilemeye başlar. Burada karşılıklı etkileşim ve geri beslemeler söz konusu olup, hidropedoloji tam bu noktada bu karşılıklı süreçlerin etki mekanizmalarını açıklamada yardımcı olur. Lin (2011)'e göre ilk soru toprak mimarisi ve farklı ölçekler arasındaki fonksiyonu tanımlar. Burada toprak mimarisi (soil architecture) mikroskopik ölçekten makroskopik ölçeğe kadar toprak tekstürü, strüktürü, gözenek büyüklük dağılımı, hidrolik iletkenliği, su ve kimyasalların akış yolları ve ağları, gözenek morfolojisi, pedler, mikro ve makroporları kapsayan bir terimdir. Bu bağlamda hidropedoloji; toprak suyu doymuş/doymamış yüzey ve yeraltı su kaynağını, suyun depolanmasını, kullanılabilirliğini, akış ve akış ağlarını, ikamet süresini ve uzaysal dağılımını kapsar (Lin et al., 2006b).

Geçmişte su kaynağı, depolanması, kullanılabilirliği ve su akışı kapsamlı olarak incelenmiş olsa bile, su akış yolları, suyun toprakta kalış/hareket süresi ve akış dinamiklerinin uzaysal ve zamansal değişimi mutlaka dikkate alınmalıdır (McDonnell et al., 2007). Bu bağlamda toprağın yapısı ve hidrolojik özelliklerinin etkileşiminin tam olarak anlaşılabilmesi ve ölçekler arasındaki karmaşıklığın giderilebilmesi için yerinde ölçümlere ihtiyaç vardır (Lin, 2011). Araştırmacıların net bir sonuç alabilmesi için çalışmaların arazide yerinde yürütülmesi, uygun verilerin toplanması ve farklı ölçeklerde toprak hidrolojik değişkenlerinin yeterince yorumlanması gerekmektedir.

Lin (2011)'e göre ikinci soru, geleneksel pedoloji toprak hidrolojisi çalışmalarında göz ardı edilirken, hidropedoloji çalışmalarında yer almaktadır. Bu açıdan bakıldığında hidropedoloji, hidrolojik ve pedolojik çalışmaların eksik yönlerini kapatmaktadır. Toprak hidropedolojisi klasik pedoloji ve hidroloji çalışmalarının aksine sınırlara bağlı kalmaksızın farklı alanlar arasında bir köprü görevi üstlenerek süreçler arasındaki geri besleme ve etkileşimi tam olarak açıklayabilmektedir. Hidropedolojinin toprak hidrolojisinden (vadoz bölge hidrolojisi) farklı yönleri vardır. Bunlar;

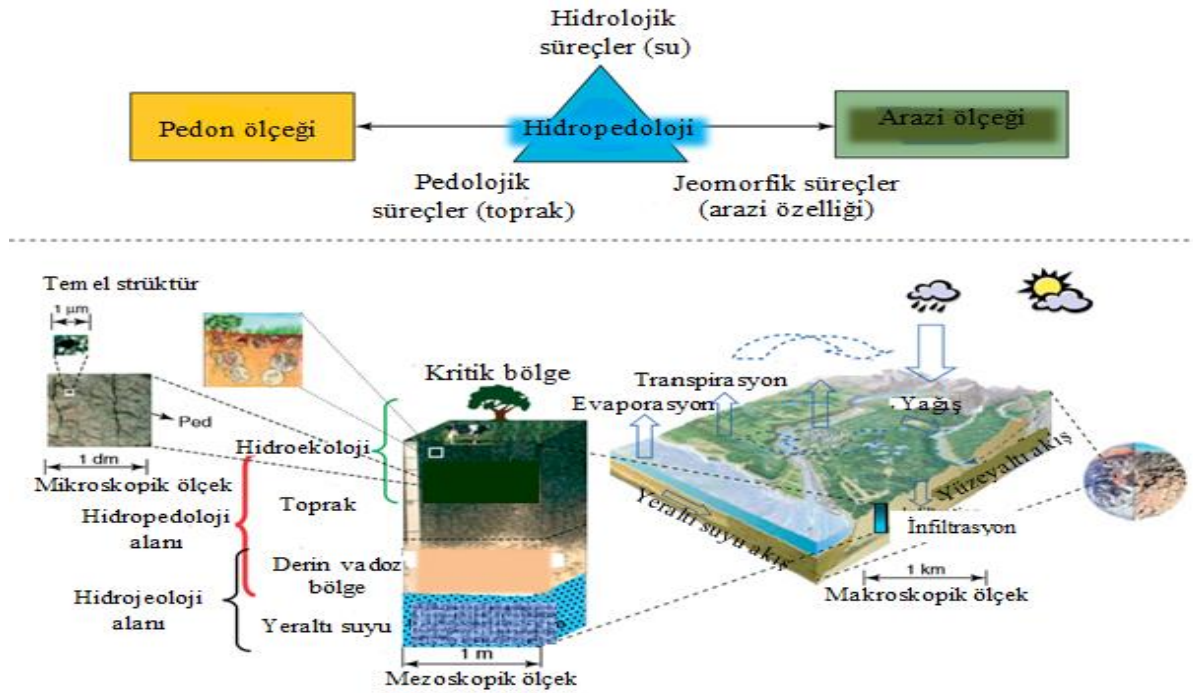
- i) Hidropedoloji, araziye yerinde inceler yani interaktif pedolojik/hidrolojik süreçlerin önemli olduğu yerlerde arazi-toprak ilişkilerini iyi anlayabilmek için toprak mimarisi, horizonlaşma, toprak morfolojisi, toprak jeomorfolojisi ve toprak oluşum ve sınıflama ile ilgili bilgilere ihtiyaç duyar.

ii) Hidropedoloji, doymuş ve doymamış yüzeyler ve yarı-doygun çevre ile ilgilidir. Ayrıca kök bölgesi, derin vadoz bölge, doymun bölge, kapillar bölge, ıslak alanlar hatta sulak alanları da kapsar.

iii) Hidropedoloji, sadece hidrolojinin topraklar üzerindeki etkisine değil, pedogenesisisteki hidrolojik geri beslemeler, yeraltı bölge heterojenliğinin var oluş nedeni ve bunun toprak değişkenliği ve toprak özellikleri üzerindeki etkisine de bakar (Lin et al., 2008).

Hidropedoloji de toprak-hidroloji-pedoloji arasındaki ilişkileri ölçeklendirerek incelemek önemlidir. Birbirine etkileşim halindeki bu süreçlerin hangi ölçekte ve hangi derecede etki yaptığı bu ilişkilerin anlaşılmasında oldukça önemlidir. Hidropedoloji dört farklı ölçekte incelenebilir (Şekil 2.2). Bunlar;

- Mikroskopik ölçek: gözenek ve agregat düzeyinde,
- Mezoskopik ölçek: horizon ve pedon düzeyinde,
- Makroskopik ölçek: katena, havza ve tepe-eğim (hillslope) düzeyinde,
- Megaskopik ölçek: bölgesel ve küresel düzeyde.



Şekil 2.2 Uzaysal ve zamansal ölçekte hidrolojik, pedolojik ve jeomorfolojik süreçlerin biraraya gelmesiyle oluşan bütünsel model. Lin et al. (2008)'den uyarlanmıştır.

Hidropedoloji, hidrojeoloji ile birlikte yer altında toprak ve ana materyal ile suyun etkileşimini incelemek için bütünsel bir yaklaşım sunar. Toprak üstünde ise hidropedoloji, iklim, bitki örtüsü ve toprak arasındaki etkileşimi anlamak için hidroekoloji ve hidrometeoroloji ile bütünsel bir yaklaşım sunar. Aynı zamanda hidropedoloji, toprağın makro/mikromorfolojisi ve pedogenesi ile etkileşime giren süreçleri de içerir (Lin et al., 2008).

Hidrolojik modeller için bütünsel yaklaşımdaki kısıtlama, haritalama veya modellemede kullanılan ölçekler arasındaki boşluktur. Noktasal gözlemlerden elde edilen verilerden alansal dağılımı tahmin etmede veya küçük alanlar için elde edilen parametrelerin büyük alanlara uyarlanmasında önemli belirsizlikler bulunmaktadır (Lin et al., 2008). Farklı ölçeklerdeki baskın süreçler farklıdır ve ölçek değişimi yeni varsayımların yapılmasını gerektirebilir. Hiyerarşik bir model seti ve toprak ve hidrolojik süreçleri birbirine bağlayan bir çatı oluşturularak buradaki karmaşıklık belirli ölçüde giderilebilir (Sivapalan, 2003). Bu model makro ölçekte yapılan çalışmalar için uygun olurken, mikro ölçekte artan karmaşıklığı gidermek için yeni bağlantıların olmasını gerektirebilir (McDonnell et al., 2007).

Toprak oluşum faktörlerinin ve toprak hidrolik özelliklerin uzaysal ve zamansal ölçekte karşılıklı etkileşiminden dolayı toprak değişkenliği ölçeğe bağlıdır. Toprak özelliklerinin değişkenliği yapılan çalışmanın ölçeğine, araştırılan özelliğe ve kullanılan yöntemlere göre farklılık göstermektedir (Trangmar et al., 1985). Ölçeklendirme, hidropedolojik çalışmalarda önemli bir faktördür. Herbir ölçekteki toprağın özellikleri uzaysal farklılıklara ve farklı ünitelerin geometrik özelliklerine göre tanımlanır. Örneğin agregat/ped ölçeğinde toprak strüktürü birincil toprak parçacıklarının geometrik özellikleri ve uzaysal dağılımına göre belirlenir. Horizon/pedon ölçeğinde toprak strüktürü agregat veya pedlerin geometrik özellikleri ve uzaysal dağılımına göre belirlenir. Hillslope (tepe-eğim) ölçeğinde toprak strüktürü ise bitki örtüsü ve toprak horizonları tarafından belirlenir. En son olarak da bir su toplama bölgesinde toprak strüktürü toprak ana materyali tarafından belirlenir (Pachepsky et al., 2008).

Toprak hidrolik özellikleri de farklı ölçeklerde tanımlanmaktadır. Agregat/ped ölçeğinde toprak hidrolik özelliklerinin fonksiyonu bitki köklerine su ve besin sağlayarak mikroorganizmalar için yaşam alanı oluşturmaktır. Horizon/pedon ölçeğinde toprak hidrolik özelliklerinin fonksiyonu toprak erozyonu ve yüzey akışını önlemek ve bitkilere destek sağlamaktır. Arazi ölçeğinde toprak hidrolik fonksiyonları ise yeraltı suyunun zenginleşmesi (recharge), kimyasallar ve partiküllerin su yüzeyinden filtrelenmesi gibi süreçlerdir (Pachepsky et al., 2008).

Hidropedoloji çalışmalarında herbir ölçekte farklı toprak hidrolik özelliklerine bakılır. Örneğin, agregat/ped ölçeğinde toprak hidrolik özelliklerinden doymamış hidrolik iletkenlik etkiliyken, horizon/pedon ölçeğinde doymuş hidrolik iletkenlik ve su tutma kapasitesi etkilidir. Arazi ve su toplama alanı ölçeğinde ise yer altı ve yüzey akış dinamikleri etkili olmaktadır (Pachepsky et al., 2008). Toprak hidropedolojisindeki bu farklılıkları ölçek bazında irdelemek, tanımlamak ve sınırlarını belli etmek için toprak haritalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Hidropedolojik tanımlamalardan yola çıkılarak oluşturulan bir toprak haritası, toprakların sahip oldukları potansiyele uygun olarak kullanılmalara olanak sağlar. Ölçek kavramı toprak haritalarının çıkarılmasında ve toprak süreçlerinin modellenmesinde farklıdır. Örneğin, toprak haritalamada ölçek haritanın gerçekliğe oranını belirtirken modellemede belirli bir belirteci yoktur (Lin et al., 2008). Standart bir toprak haritasının minimum boyutu ~ 1.6 ha'dır ve bu birim birçok tepe-eğim ölçeğinde de kullanılır. Birçok toprak haritası belirli bir ölçekte planlanarak ve farklı toprak tipleri ile birlikte haritalandırılmalıdır. Dijital toprak haritaları uzaysal değişkenlik ve yüksek çözünürlüklü olmalıdır bunun için hidrolojik özelliklerin uzaysal değişimi toprak haritalarına eklenmelidir (Lin et al., 2008).

Geleneksel toprak haritalarında 3D blok diyagramları toprak/arazi ilişkilerini açıklamakta kullanılmaktadır. Bu 3D blok diyagramına ek olarak su akış yolları, toprak hidrolojik özellikleri ve suyu engelleyen katmanlar ek olarak konulabilir. Hidropedolojik fonksiyonel ünitelerin eklenmesi toprak/arazi kartoğrafyasında oldukça önemlidir. Bu üniteler geleneksel toprak araştırmaları, dijital yükseklik modeli (DEM) ve jeofiziksel araştırmalar ile birlikte kullanılabilir (Lin et al., 2008). Toprak haritalaması yapılırken hidropedolojik fonksiyonlara örnek olarak toprak tekstürü, kil tipi ve miktarı ve hidrolik iletkenlik verilebilir. Lin et al. (2008) tarım arazisi haritası için hidropedolojik fonksiyonlardan tekstür ve kil tabakası

derinliğini haritaya eklemişler ve bunu toprak nem dinamikleri için test etmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda araştırmacılar; toprak serisi, toprak tekstürü ve kil tabakası derinliğinin haritalamaya dahil edilmesiyle toprak neminde önemli farklılıklar olduğunu bildirmişlerdir.

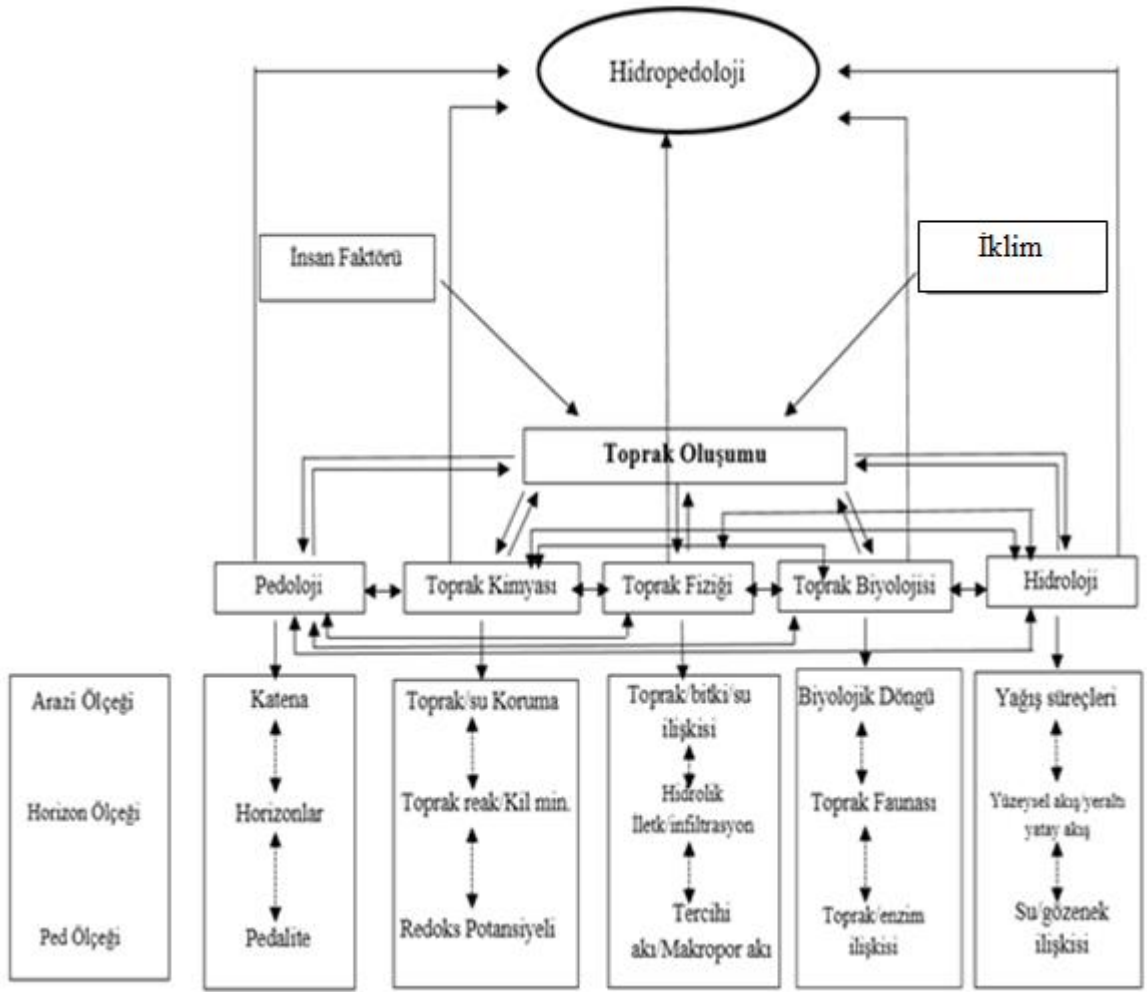
Tepe-eğim ölçeğinde ya da su toplama alanları hidrolojisinde mevcut modeller Darcy yasası ya da Richard eşitliğine dayanmaktadır (McDonnell et al., 2007). Oysa ki gözenek ölçeğinden pedon ölçeğine geçerken topraktaki doymamış akışın baskın olduğu süreçlerde, farklı koşullar altında matriks akış tercihi akışa dönüşebilir (Hendrickx and Flury, 2001). Pedon ölçeğinden arazi ölçeğine geçerken ise Darcy-Buckingham yasası ve Richard eşitliği heterojen ortamlarda yetersiz kalmaktadır (Weiler and Naef, 2003). Toprak hidropedolojisi, toprak profili boyunca su hareketinin nasıl değiştiğini, büzülme, şişme, yağış ve kimyasal süreçlerin etkisini de hesaba katarak açıklamaya çalışır (Lin, 2011). Toprak oluşumunun açıklanabilmesi için su dinamiklerinin örneğin akış yolları, tercihi akış ağları, makroporlar ve eğer varsa arazide çatlak ve yarıkların mutlaka hesaba katılması gerekmektedir. Yeraltı akış ağları ve yağış dinamikleri de çalışılan bölgenin hidropedolojisi hakkında bilgi verebilir (Tromp-van Meerveld and McDonnell, 2006).

Hidropedoloji kısa ve uzun vadede meydana gelen süreçlerin toprak özelliklerine etkisinin belirlenmesinde bir köprüdür. Birçok toprak özelliği zamansal olarak değişmektedir. Uzun zaman periyodlarında meydana gelen değişim jeolojik süreçlerin etkisi altında iken, kısa zaman periyodunda meydana gelen değişimler genellikle pedolojik süreçler tarafından kontrol edilir. Aynı zamanda toprak özellikleri mevsimsel olarak da değişmektedir. Sıcaklık ve nem gibi değişkenler toprakta cereyan eden kimyasal ve biyolojik süreçleri etkiler. Bu süreçler de rizosferde meydana gelen diğer süreçleri etkiler ve dolayısıyla toprak özellikleri de etkilenmiş olur (Dick et al., 1996). Bu şekilde kısa ve uzun vadedeki değişimler tek taraflı olarak değil de, birbiri ile etkileşim halinde oldukları düşünülerek çalışılmalıdır. Örneğin toprakta suyun hareketi incelenirken, suyun toprak oluşum süreçlerinde (pedolojik süreç) etkisi ve karşılıklı etkileşimleri göz ardı edilmemelidir (Targulian and Goryachkin, 2004). Quisenberry et al. (1993), Güney Carolina'da toprakta su ve kimyasal taşınması üzerine yaptıkları bir çalışmada çıkan sonuçların yorumlanmasında toprak fiziği bilgilerinin yetersiz kalması nedeniyle hidropedolojik çalışmaların yapılmasına karar vermişlerdir (Lin, 2003b). Hidropedoloji, zamansal olarak değişen bu süreçler arasında karşılıklı etkileşim olmasından dolayı bu

süreçleri de ele alarak yorum yapılmasına olanak verir. Toprak oluşumunda pedogenesisin arkasındaki güç toprak hidrolojisi, toprak morfolojisi ve toprağın uzaysal değişkenliğidir. Bu özellikler toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerinin karşılıklı etkileşimleri ile kontrol edilir. Toprak nemi ve sıcaklığı toprak sınıflamasında önemli bir rol oynar ve haritalama yapılırken toprak değişkenliğinin uzaysal ve zamansal ölçekte farklılaşmasına bakılır (Lin, 2003b).

Klasik pedoloji ile toprak-su dinamikleri yeterince açıklanamaz iken hidropedoloji, farklı ölçeklerde toprak yapısı ve hidrolojik fonksiyonlar arasındaki ilişkilerin tanımlanabilmesi için geliştirilmiştir. Klasik pedoloji toprağın birkaç metre altı ve toprak yüzeyini çalışırken, hidropedoloji yer altı suyu tablasına kadar uzanan derin vadoz bölge ve kök bölgesini de içine alır (Lin, 2003b). Hidropedolojide akış yollarının etki mekanizmasının bilinmesi kurak ve yarı-kurak bölgelerde tarımsal uygulamaların sürdürülebilirliği açısından giderek daha da önem kazanmıştır (Ticehurst et al., 2007). Özellikle yarı-kurak koşullarda doğal kaynakların yönetiminde birbirleriyle etkileşim halindeki süreçlerin etki şekli ve sonuçlarının bilinmesi önemli bir husustur. Oysa ki yarı-kurak bölgelerde akış olaylarının nasıl gerçekleştiği çok az bilinmektedir (Wilcox et al., 2007).

Kavramsal diyagramlar, karmaşık ve birbiriyle etkileşim halindeki sistemlerin daha kolay anlaşılabilmesi için kavramların bileşiminden oluşan sistemlerin temsilidir. Hidropedoloji birbiriyle sürekli etkileşim halindeki sistemlerin bir bütünüdür (Şekil 2.3). Hidropedolojik bir diyagramın oluşturulması ile sistem dinamiklerinin anlaşılması ve açıklanması daha kolay olacaktır. Kavramsal diyagramlar yalnızca durum değişkenlerinin bir listesi değil, ekosistemdeki bileşenlerin birbiri ile nasıl bağlandığını da göstermektedir. Kavramsal diyagramlar oluşturulurken gereksiz süreç ve bileşenler çıkarılarak genel hatlar halinde oluşturmak daha iyi sonuç verir (Jørgensen and Bendricchio, 2001). Bir sistemin belirli davranışını anlamak için system bileşenleri arasında hiyerarşik bir düzen oluşturulmalıdır.



Şekil 2.3. Hidropedoloji için bir kavramsal model

Hidropedoloji de en önemli dar boğazlardan birisi akış ve taşınma süreçlerinin uzaysal ve zamansal ölçekler arasında ilişkilendirilememesidir. Bunlara neden olan etkiler; i) toprak özelliklerinin uzaysal ve zamansal değişkenliklerinin ölçekler arası geçiş yapılırken belirsizlikleri ve ii) jeofizik ve vadoz bölge hidrolojisinde akış ve taşınma süreçlerinin son derece değişken olmasıdır (Hopmans et al., 2002). Son yıllarda büyük ölçekli heterojen vadoz bölgede meydana gelen akış ve taşınma süreçlerini karakterize edebilmek için, genellikle daha küçük ölçeklerde elde edilen veriler ve sonuçlar kullanılmıştır. Tipik olarak, toprak hidrolik özellikleri için ölçüm aralığı 10 cm, büyük alanlar için ise 100 m ve daha fazladır (Hopmans et al., 2002).

Toprak hidrolik özelliklerinin rutin ölçümleri, genellikle bir bölgeden belirli sayıda ve rasgele alınan toprak örnekleri (Harter and Hopmans, 2004) veya doğrudan arazide yapılabilen (Green et al., 1986) ölçümleri kapsamaktadır. Laboratuvar ölçekli (cm) ölçümlerden elde edilen toprak parametreleri 10 kat veya daha büyük bir grid boyutunu içerir ve sayısal analizler ile alan ölçeğine tahmin yapılır (extrapolated). Fakat doymamış hidrolik iletkenlik ve su tutma kapasitesi gibi bazı hidrolik özellikler fazla heterojen olmaları nedeniyle, bu özelliklerin ölçeklendirilmesi zordur ve küçük ölçeklerden elde edilen verilerin ortalaması daha büyük uzaysal ölçeklerde geçerli olmayabilir. Ayrıca, matematiksel modelleme sonuçları ve bu sonuçları tahmin etmede kullanılan değişken ve parametreler ölçekler arasında değişebilmektedir (Hopmans et al., 2002). Örneğin, Dooge (1997) Richard eşitliği ile ifade edilen doymamış su akışının, havza ölçeğindeki doymamış su akışını tanımlayabilmek için yeterli olmayacağını belirtmiştir.

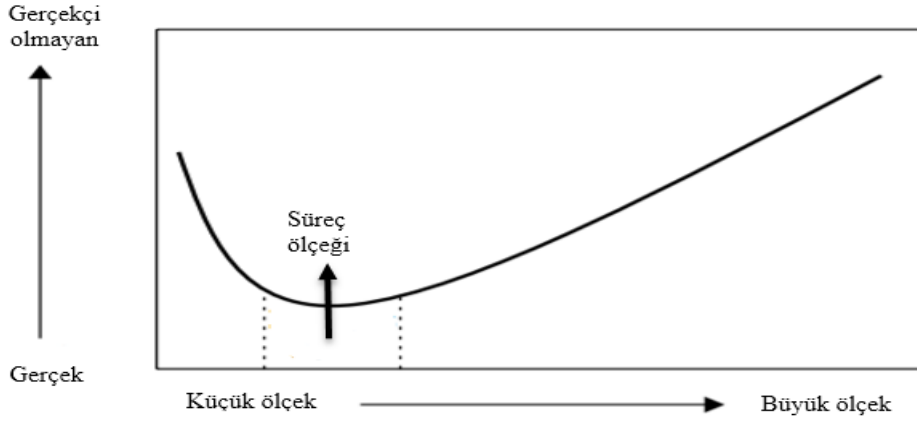
Havza ölçeğinde yüzeyin hidrolojisinin modellenmesinde hidrolojik süreçlerin uzaysal dağılımı bazı anahtar toprak özelliklerinin uzaysal dağılımı tarafından kontrol edilir (Blöschl and Sivapalan, 1995). Bunun yanında arazinin topografyası ve arazi kullanımı da toprak hidrolojik süreçlerini önemli derecede etkiler. Ayrıca her ölçeğin akış süreçleri farklı olacağı için her bir ölçek için fiziksel süreci destekleyen farklı matematiksel bağlantılar kullanılmalıdır (Hopmans and Schoups, 2005). Heuvelink (1998)'e göre büyük ölçekli çalışmalarda çevresel süreçler önemli olurken, küçük ölçekli modelleme çalışmalarında süreçlerin önemi azalmaktadır (Zhang et al., 2004). Ölçeklendirmede en büyük sorunlardan biri, çevresel parametrelerin küçük ölçek koşullarında ölçüldükten sonra elde edilen değerlerin geçerliğinin bölgesel veya global ölçekte kabul edilmesidir. Küçük ölçeklerde iyi sonuç veren modellerin büyük ölçekte zayıf kaldığı belirtilmiştir (Zhang et al., 2004).

Modelleme ölçeği çevresel bir model oluşturmak, belli bir ölçüdeki süreçler ve belli bir ölçüdeki uygulama modeli ile ilgilidir. Uzaysal olarak hidrolojik modellerin ölçekleri; arazi ölçeği (1-m), tepe-eğim ölçeği (100-m), su toplama alanı ölçeği (10-km), ve bölgesel ölçeği (1000-km) içerir. Biyosferik ekosistem fonksiyonunun değerlendirilmesinde küçük ölçekli fizyoloji modelleri için veriler yaprak ölçeğinde ve saniye bazında ölçülür. Ormancılık çalışmaları için bitki fotosentez tahmini, günlük iklim bilgileri ve 1-10 ha arası uzaysal bir ölçekte olmalıdır. Bunların aksine kaba ölçekli biyojeokimyasal modeller bölgesel ölçekte

biyosfer süreçlerini aylık iklim verileri ile 10-100 km²'lik bir uzaysal çözünürlükte kullanılmak üzere tasarlanmıştır (Zhang et al., 2004)

Ölçeklendirme problemlerinin en temel nedeni hem uzaysal heterojenlik hem de doğrusal olmayan süreçlerin varlığıdır. Çevresel modeller yağış, sıcaklık, topografya, toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri, bitki örtüsü, arazi kullanımı ve hidrolojik özellikler dahil olmak üzere, iklim değerlerini gerektirir. Bu özellikler hem mekansal hem de zamansal olarak oldukça değişkendir ve yerel (lokal) davranışların büyük ölçekli davranışlara ölçeklendirilmesinde zorluklar yaşanmaktadır (Zhang et al., 2004). Bir ölçekte elde edilen ilişkiler, diğer ölçeğe uyarlanamaz çünkü her ölçekte baskın olan süreçler farklıdır. Ölçek büyüdükçe baskın süreçler değişeceğinden, ölçeklendirme çalışmalarında ilave süreçlerin etkileri dahil edilmelidir. Bir sistemin küçük ölçekli değişkenleri ile büyük ölçekli değişkenler arasında bir etkileşim vardır ki bu geri beslemedir. Geri besleme mekanizmasında farklı ölçekteki süreçler birbirini etkilemektedir. Ahl and Allen (1996) 'e göre küçük ve kısa süreli ölçeklerde meydana gelen süreçler uzun süreli ve büyük ölçekli süreçler tarafından sınırlandırılırken büyük ve yavaş süreçler birçok küçük ve hızlı süreçlerin etkileşimi ile meydana gelirler (Zhang et al., 2004).

Curran and Atkinson (1999)'a göre bir değişkenin geçerliliği ona karşılık gelen süreçler ile ilişkilidir. Bir değişken süreç ölçeğinde ölçülürse değer gerçekliğe yaklaşır. Aksi takdirde ölçme ölçeği süreç ölçeğinden büyük ya da küçükse değişkenin değeri anlamsızlaşır (Şekil 2.4). Örneğin, arazi örtüsünü sınıflandırmak için uzaktan algılama tekniği ile elde edilen veriler kullanılır ve sonuçta ortaya çıkan arazi örtüsü haritası alanın yaklaşık büyüklüğündeki pikselleri kullanıldığı zaman en doğru olur. Çalışma alanından daha büyük veya küçük pikseller kullanıldığında sınıflandırmanın doğruluğu (geçerliliği) azalacaktır (Zhang et al., 2004).



Şekil 2.4 Ölçüm ölçeği ile parametre değerlerinin değişimi. Zhang et al. (2004)'dan uyarlanmıştır.

Pedoloji ve hidrolojide çözüm beklemekte olan birçok problem vardır ve bu problemlerden bazıları oldukça önemlidir. Arazideki su akış ve kimyasal taşınma yollarının bilinmesi, ölçülmesi, tahmin edilmesi ve modellenmesi gibi temel konulara pedoloji ya da hidroloji tek başına çözüm üretilmediğinden dolayı bu konularda hidropedoloji devreye girmektedir (Lin et al., 2006a). Bu bağlamda hidropedoloji dört ana başlık (pedoloji, toprak morfolojisi, toprak fiziği ve hidroloji) altında toplanmış ve her bir ana başlık terimler, yapılan çalışmalar ve sonuçlar olmak üzere detaylı olarak incelenmiştir.

2.2.Hidropedolojik Çalışmalarda Pedolojinin Önemi

2.2.1 Toprak Oluşum Faktörleri

Topraklar doğal süreçler ve amenajman uygulamalarının etkisiyle farklılaşmışlardır. Doğal süreçler pedolojik ve jeolojik olaylardan kaynaklanmaktadır. Toprak oluşum faktörlerinden ana materyal, iklim, canlılar ve topografyadan gelen farklılık değişkenliğinin ana sebebi olmasına karşın, amenajman uygulamaları da toprakların değişkenlik göstermesinde etkilidir (Castrignanò et al., 2000). Bir bölgedeki toprak oluşumu, o bölgedeki iklim ve canlıların farklı topografik koşullar ve belirli bir zaman içerisinde ana materyal üzerinde etkisinin bir fonksiyonudur. Aynı zamanda topraklar, belirtilen beş oluşum faktörü ile birlikte toprak profilinde meydana gelen ayrışma, taşınma, yıkanma, yer değiştirme gibi fiziksel, kimyasal ve

biyolojik süreçlerin etkileri ile kendilerine özgü karakter kazanırlar (Dengiz and Gülser, 2014).

Tanju (1996)'ya göre toprak oluşumunun çok yavaş olmasından dolayı toprak gelişiminin gözlenmesi özellikle yüzey veya yüzeye yakın kısımlar dışında oldukça zordur. Fakat toprak oluşum faktörlerinin bir sonucu olarak meydana gelen farklılıkların incelenmesi ve bunlar arasında bir ilişki bulmak mümkündür (Dengiz et al., 2006). Bu bağlamda toprak oluşum faktörleri ve bunların toprak özellikleri ile karşılıklı etkileşiminin anlaşılabilmesi için, kritik bölgede hidropedolojik çalışmalara ihtiyaç vardır.

2.2.1.1 Ana Materyal

Toprak oluşumu üzerine yapılan ilk ve önemli çalışmalar ana materyal üzerinden yapılmıştır, fakat zamanla toprakların oluştukları ana materyalden farklı olabildiği ve ana materyalin toprak oluşumunda zamanla etkisinin azaldığı görülmüştür (Schaetzl and Anderson, 2005). Jenny (1994)'e göre ana materyal toprak oluşum süreçlerinin başlangıç safhasını oluşturmaktadır. Doğal süreçlerin etkisiyle arazide ani bir kayma sonucu alt katmandaki ana materyal yüzeye doğru çıkar ve burada toprak oluşumu başlar. Bu yaklaşıma 'sıfır zamanlı yaklaşım' adı verilmektedir (Schaetzl and Anderson, 2005).

Toprak oluşumunda pedojenik süreçler ana materyalin ayrışması ve profil boyunca ayrışma ürünlerinin su ile taşınması süreçleri olarak adlandırılabilir. Birden fazla pedojenik sürecin etkili olduğu topraklar birden çok sıfır zamana sahiptirler. Birbirini takip eden farklı ana materyallerin oluşumu ise 'litolojik kesiklik' olarak adlandırılmaktadır (Schaetzl and Anderson, 2005). Şimşek (1973)'e göre litolojik kesiklik, horizonları meydana getiren materyalin, minerolojik yapının ve küçük materyallerin dağılımında görülen önemli farklılıktır. Litolojik kesikliğin tanımlanmasında horizonlar arasındaki farklılıkların pedogenesis veya jeolojiden kaynaklanıp kaynaklanmadığını belirlemek hidropedolojide önemli bir husustur.

Ana materyal hakkında ayrıntılı bilgi elde edebilmek için sıfır zamanına gidilmesi gerekmektedir. Bu bilgiler bize toprağın başlangıçtan itibaren neyin üzerinde oluştuğunu

anlamamıza yardımcı olur. Toprak ne kadar genç olursa ana materyalin toprak üzerindeki etkisi o kadar fazla olur. Ayrışma süreçleri ve pedojenik süreçler ilerledikçe ana materyalin etkisi zamanla azalır. Yaşlı ve çok fazla ayrışmaya maruz kalmış topraklarda ana materyalin etkisi neredeyse yok denecek kadar azdır (Dinç et al., 1987). Ayrıca benzer ana materyalden oluşan topraklar ortak özelliklere sahip olsalar bile zamansal ve mekansal olarak değişiklik gösterirler. Bunu birçok çalışma desteklemektedir (Goderya, 1998).

Regolit terimi ilk başta coğrafya biliminde kullanılmış olsa da, daha sonra jeoloji, jeomorfoloji ve toprak biliminde de kullanılmaya başlanmıştır (Eggleton, 2001). Birçok alanda yüzeye çıkmış ana materyalin ayrılmış ve parçalanmış parçacıklarının ayrılmamış ana materyal üzerini dağınık ve gevşek formda kaplamış haline 'regolit' adı verilmektedir (Schaetzl and Anderson, 2005). Butt and Zeegers (1992)'e göre regolit, derinlerde meydana gelen ayrışma sonucu, nemin de etkisi ile özellik kazanmış ve yerinde olduğu kabul edilen materyaldir (Glassford and Semeniuk, 1995).

Kurak ve yarı-kurak alanlarda kuvars, kaolinit ve soluk beneklerin (mottles) olduğu bölgelerin varlığı granit kayanın yerinde olduğuna dair bir işaret olabilir ve bu bölgelerde regolitin olduğu varsayılmıştır (Glassford and Semeniuk, 1995). Yapılan bir çalışmada sıcak ve nemli bölgelerde Ni içeriğinin artmasına bağlı olarak Ni-zenginleşmesi içeren regolitlerin kısmen de olsa daha önceki materyalden bir kalıntı olduğu bildirilmiştir (Tufan, 2014). Bu tip bilgilerin varlığı çalışılan alanine hidropedolojisi hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır.

Regolitin kalınlığı, üzerinde yeralan toprakların bazı özelliklerini etkileyebilmektedir. İspanya'da yapılan bir çalışmada, (Desir and Marín, 2007), araştırmacılar eğimin 34-dereceden fazla olduğu bölgelerde regolit kalınlığının 2-5 cm ile sınırlı kaldığını ve bu bölgenin altında infiltrasyon hızında bir ilerleme olmadığını rapor etmişlerdir. Ayrıca bu araştırmacılar evapotranspirasyonun düşük olduğu bölgelerde regolitin bir örtü görevi görerek nemi hapsettiğini gözlemlemişlerdir İspanya'da yapılan bir diğer çalışmada regolitin erozyon ile ilişkisine bakılmıştır. Araştırmacılar sıg topraklar üzerinde meydana gelen regolitlerde erozyon hızının daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir (Cantón et al., 2001).

Regolitin altında bulunan ana kayanın yerinde ayrışarak, kazılabilecek gevşeklikte bir yapıya sahip olan materyale 'saprolit' adı verilir (Brady and Weil, 2000). Saprolit diğer bir ifade ile anakayanın çürümüş/ayrışmış halidir. Saprolit, erozyonla taşınmış olabilir veya yerinde oluşmuş materyalden gelebilir. Kurak ve yarı-kurak iklimlerde yeterli su olmadığından ayrışma hızı oldukça düşüktür. Yarı-kurak bir iklimde oluşan saprolitlerde, var olan saprolitin ayrışması tamamlanmadan diğer bir saprolit takabası oluşmaya başlar (Schaetzl and Anderson, 2005). Killi bir saprolite sahip bölgelerde, düşük geçirgenlik ve yüksek gözeneklilik vardır. Yapılan bir çalışmada saprolitin içindeki 2:1 tipi killerin varlığının özellikle potasyumun davranışını önemli ölçüde etkilediği rapor edilmiştir (Bétard et al., 2009). Yarı-kurak bölgelerde özellikle Çankırı, Sivas ve Şebinkarahisar civarında bulunan jipsli materyaller üzerinde genellikle aşırı alkali topraklar yer alır. Bu tip topraklar; kumtaşı, çakıl taşı, killi kireç taşı ve marn tabakalarının ard arda sıralanması ile oluşan ve fizyolojik derinliği fazla olan topraklardır (Atalay, 2015).

Toprak oluşum faktörlerini doğru tahmin edebilmek oldukça güçtür. Çünkü toprak oluşumunda geçen zaman aynı olsa bile toprak morfolojik, fiziksel ve kimyasal özellikleri arasında farklılıklar olabilmektedir. Bu sebeple değişen faktörün toprak özelliklerine olan yansımaya bakılarak toprak oluşum faktörlerinin etkileri hakkında yorum yapılabilir (Usul and Dengiz, 2014). Yapılan bir çalışmada araştırmacılar (Dengiz et al., 2013) aynı iklim koşullarında (yarı-nemli) bir topografik dizilime (toposequence) sahip kireçtaşı ana materyali üzerinde oluşan üç farklı toprağın fizikokimyasal özelliklerine bakmışlardır. Araştırmacılar omuz (shoulder slope) üzerinde yer alan toprakları Regosol, ayak eğim (footslope) üzerinde yer alan toprakları Cambisol ve parmak (toe slope) eğim üzerinde yer alan toprakları ise Vertisol olarak sınıflandırmışlardır. Bu araştırmacılar tepe-eğim arazideki topraklara ait ince materyallerin taşınarak etek arazide birikmesi sonucu kil içeriğinin fazla ve geçirgenliği düşük Vertisol toprakların oluştuğunu belirterek, etek arazilerde yer alan toprakların oluşmasında topografik faktörün önemli olduğunu rapor etmişlerdir.

Toprak oluşumunda etkili olan faktörlerden birinin bile değişimi farklı pedogenetik süreçlerin oluşmasına ve dolayısıyla farklı özelliklere sahip toprakların oluşmasına neden olur. Bir çalışmada aynı iklim (yarı-kurak) ve aynı ana materyal (marn) üzerinde oluşan üç farklı jeomorfolojik birim (basalt-kireçtaşı-marn) üzerinde oluşan 6 adet toprağın pedogenesisine

bakılmıştır (Usul and Dengiz, 2014). Araştırmacılar alüvyal materyal üzerinde oluşan toprakların henüz gelişimini tamamlamaması ve genetik horizonlarının bulunmaması nedeniyle Entisol ordosunda, bazalt üzerinde oluşan toprakların fazlaca kil içermesi nedeniyle Vertisol ordosunda, kireçtaşı-marn üzerinde oluşan toprakları ise kalsik ve kambik horizonlar belirlendiği için İnceptisol ordosuna dahil etmişlerdir. Bu araştırmacılar buradaki farklılığın nedenini jeomorfolojik birimlerde yüzey ve yüzeyaltı su hareketinin farklı olması nedeniyle profil boyunca taşınma ve birikmedeki farklılıklara bağlamışlardır.

Toprak ana materyalinin toprak hidrolojisi ve bitki örtüsü ile yakın ilişkisi bulunmaktadır. Gregory and Walling (1973)'e göre ana materyal ve iklim pedolojik süreçleri etkileyen en önemli iki faktördür (Cerda, 1999). İspanya'da yapılan bir çalışmada, bitki örtüsü, ana materyal ve infiltrasyon hızı arasındaki ilişkiye bakılmıştır. Araştırmacılar farklı ana materyaller üzerinde gelişen bitki örtülerinde farklılıklar olduğunu gözlemlemişlerdir. Aynı araştırmacılar, kireçli topraklarda göllenmenin fazla olduğunu, kumtaşından oluşan topraklarda ise infiltrasyonun daha hızlı olduğunu rapor etmişlerdir. Yine aynı çalışmada ana materyal-bitki örtüsü etkileşiminin fazla olmasının yüzey akışı azalttığı ve kireçli toprakların bitki örtüsünün erozyonu önemli derecede etkilediği fakat kumtaşı ve kireçtaşından oluşan topraklarda ise bu etkileşimin oldukça düşük olduğunu rapor edilmiştir (Cerda, 1999).

2.2.1.2 İklim

İklim toprak oluşumunda geniş coğrafik bölgelerde etki göstermektedir. Bu sebeple iklim ayrışma özelliklerinin ve ayrışma şiddetinin belirleyicisidir. İklim, toprak oluşumunda en etkili faktördür (Brady and Weil, 2000) ve toprakta meydana gelen fiziksel ve kimyasal süreçlerin yanısıra organizma faaliyetlerini ve erozyon süreçlerini de yöneterek toprak oluşumunu etkiler. İklim bir değişkendir ve bu sebepten birçok toprağın oluşum süresi içinde de değişebilir (Dinç et al., 1987).

Toprak oluşumunu etkileyen iklim faktörünün temel değişkenleri; yağış, sıcaklık, rüzgar ve nem olup bunlardan en etkilisi yağış ve sıcaklıktır. Bu iki faktör kimyasal, fiziksel ve biyolojik süreçlerin şiddetlerini ve düzeylerini etkiler (Brady and Weil, 2000). Yağış ve

sıcaklık hem kayaların ayrışmasında hem de toprak profilinin özellik kazanmasında son derece etkilidir. Ayrıca bu iki faktör, toprak çözeltilisine enerji ve nem sağlayarak toprak oluşumunu hızlandırır (Dinç et al., 1987).

Su toprak oluşumu için önemli bir araçtır. Toprak oluşumunun tam olarak gerçekleşebilmesi için suyun toprak profiline girerek ayrışma reaksiyonlarına katılmasının yanısıra, profil içinde süzülmesi ve çözeltiliye geçen ayrışma ürünlerini profil içinde taşınması da sağlanmalıdır (Brady and Weil, 2000). Yağış ve karların erimesinden kaynaklanan su toprak profili içerisine sızmaktadır. Suyun özellikle regolitin içine girmesi toprak oluşumunda en etkili olaylardan birisidir. Suyun regolit içinde süzülme derinliği arttıkça toprak oluşumu için ayrışma ve gelişme derinliği de artar. Toprak profili içinde süzülen suyun fazlası çözülmüş maddeleri profilden uzaklaştırarak yer üstü veya yer altı sularına taşır. Bu nedenle süzülen su ayrışma süreçlerini hızlandırır ve sonuç olarak toprak horizonlarının oluşmasına yardımcı olur (Brady and Weil, 2000).

Toprak oluşumunda sıcaklık, nem ve yağış biyolojik ve kimyasal süreçlerin hızını etkiler. Toprağın morfolojik ve mineralojik özellikleri özellikle iklim, organik madde, kil miktarı, kil tipi, renk, kireç varlığı ve çözülebilir tuzların varlığından önemli derecede etkilenir (Erşahin et al., 1997). Yarı-kurak bölgelerde oluşan toprakların toprak özelliklerinin gelişmesinde suyun eksikliği temel bir faktördür. Bu tip bölgelerde ortamda çözünebilir tuzlar toprak profilinden yıkanma yoluyla uzaklaşamazlar ve sık sık buralarda birikerek bitki gelişimi ve büyümesini engellerler. Aynı zamanda bu bölgelerde karbonatlar ve kil minerallerinin birikimi de gerçekleşir (Brady and Weil, 2000).

İç Anadolu Bölgesinde yıllık yağış miktarının 280-300 mm olduğu yerlerde karbonatlar toprak yüzeyine yakın yerlerde birikerek açık renkli toprakların oluşumunu sonuçlamıştır. Aynı bölgede yıllık yağışın 300-350 mm olduğu yerlerde karbonatlar genellikle B horizonunda birikir ve buralarda kırmızımsı kahve rengi topraklara rastlanmaktadır. Yıllık yağışın 400-500 mm olduğu yerlerde ise karbonatlar daha derinde, B horizonunun altında veya C horizonunda birikerek kestane renkli toprakların oluşmasına neden olurlar (Dinç et al., 1987). Bu tip yarı-kurak bölgelerde nem derin ve alt toprak horizonlarına etki etmediğinden

toprak kurudur ve üst topraktan taşınan maddeler alt toprakta birikir. Bu nedenle yarı-kurak bölgelerde toprak oluşumunda kalsifikasyon süreci hakimdir (Atalay, 2015). Güney Marmara Bölgesinde yapılan bir araştırmada (Efe, 1999), iklimin toprak oluşumunda etkisine bakılmış olup, araştırmacı yağışın fazla olduğu üst bölgelerde toprakların üst horizonunun yıkanmasından dolayı buralarda İnceptisol, yağışın az olduğu bölgeler de ise Mollisol ve İnceptisol'ün oluştuğunu bildirmişlerdir.

Sıcaklık toprak oluşumunda yağış kadar önemli bir faktördür. Belirli bir aralıkta (örneğin 10-30°C) ortam sıcaklığında her 10°C'lik bir artış biyokimyasal tepkimelerin hızında iki kattan daha fazla bir artışa neden olur (Brady and Weil, 2000). Sıcaklık farkları toprakta meydana gelen kimyasal olayların hızını etkileyerek toprak oluşumunu dolaylı bir biçimde etkileyebilir. Yıllık ortalama sıcaklık bu konuda önemli bir bilgi olabilir.

Toprak renginin sıcaklık ile yakından ilişkisi bulunmaktadır. Bunun nedeni ayrışma hızından kaynaklanmaktadır. Eğer toprak kurak bir iklimde oluştuysa semektit başlıca mineraldir. Eğer toprak yağışlı bir iklim bölgesinde oluştu ise kaolinit kil minerali yaygındır ve buralarda daha koyu renkli toprakların oluşumu gözlenir (Schaetzl and Anderson, 2005). Soğuk bölgelerden sıcak bölgelere gidildikçe toprak rengi genellikle griden kırmızı renge doğru değişir. Erşahin et al. (1997), bir iklim hattı boyunca toprak oluşumunu incelemiştir. Araştırmacılar çalışma sonunda toprak kırmızılığının tanımlanmasında sıcaklığın yağıştan daha önemli olduğunu bildirmişler ve sıcaklık, yağış ve bitki örtüsünün birlikte etkisinin, Sweitberg ve Pataha serilerinin A horizonunda düşük kırmızılığa, Vassar serisinde ise yüksek kırmızılığa neden olduğunu belirtmişlerdir.

Toprak nem ve sıcaklık rejimleri farklı derecede toprak oluşumunu etkilemektedir. Örneğin, Aridisollerin sınıflandırılmasında Aridic toprak nem rejimi Ordo seviyesinde sınıflandırmayı etkileyen faktörlerden biridir. Fakat Gelisollerin sınıflandırılmasında hem nem hem de sıcaklık rejimi özel bir sınıflandırma ile değerlendirilmektedir (Başayığıt and Dinç, 2005). Bazı araştırmacılar (Başayığıt and Dinç, 2005), Aridic nem rejiminin çok az bir kısmının yarı-kurak iklimlerde oluştuğunu bildirmişlerdir. Aynı araştırmacılar yarı-kurak iklimde oluşan bazı topraklarda infiltrasyonu sınırlayıcı bir katman olduğunu, bu toprakların oldukça sığ olduğunu

ve tuzca zengin bir ana materyale sahip olduğunu belirtmişlerdir. Aynı zamanda bu araştırmacılar yarı-kurak iklimde oluşan bu toprakları susuz şartlara sahip anlamında 'Anyhdrous' olarak adlandırmışlardır.

Toprak sıcaklığının profil içindeki değişimi toprağın termal özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Nitekim Samsun-Çarşamba'da yapılan bir çalışmada alüviyal depozitler üzerinde oluşmuş İnceptisol ve Entisol ordosuna ait toprakların üst horizonlarında sıcaklık farkının fazla olduğu alt horizonlara inildikçe ise bu farkın azaldığı görülmüştür. Araştırmacılar bunu alt horizonlarda sabitleşme süreçlerinin başlamasına ve ısı yayılım katsayısının aşağı horizonlarda fazla olmasına bağlamışlardır. Bu araştırmacılar aynı çalışmada Typic Ustifluent olarak sınıflandırılan bir toprağın ısı yayılım katsayısının düşük, Typic Haplusteps olarak sınıflandırılan toprakta ise bu katsayının yüksek olduğunu bildirmişlerdir (Ekberli and Dengiz, 2016). Toprak sıcaklığı toprak oluşumunda önemli bir faktör olmasının yanında, toprak morfolojik özellikleri açısından da göz önüne alınması gereken önemli bir faktördür.

Nichols (1998)'e göre sıcaklığın toprak profili boyunca mevsimsel ve günlük değişimi toprakta cereyan eden fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin oluşumunda oldukça etkilidir (Gülser and Ekberli, 2002). Toprak sıcaklığının değişmesi, toprak hidrofiziksel özelliklerine, hidrolik iletkenliğe ve toprak oluşum süreçlerine önemli etkiler yapar (Ekberli and Sarılar, 2015). Yapılan bir çalışmada araştırmacılar (Usovicz et al., 1996), toprağın termal özelliklerinin değişimi ile diğer toprak özellikleri arasındaki ilişkiye bakmışlar, hacim ağırlığı ile toprak su içeriğinin ısısal yayıma önemli bir etkisi olduğunu bildirmişlerdir.

Bitki örtüsü toprak sıcaklığı ve nemi doğrudan etkilemektedir. Toprak yüzeyindeki mikro-iklimin değişmesi ile toprak sıcaklığı ve toprak nemi değişir ve dolayısıyla toprak hidrolik özellikleri de sınırlanmış olur (Tanaka and Hashimoto, 2006). Sıcaklık ve yağışın birlikte etkisi toprak oluşum süreçlerini önemli derecede etkilemektedir. Sıcak kuşaklardan soğuk kuşaklara doğru gidildikçe, genellikle toprak profil kalınlığının azalması, yani toprak oluşumu ve ayrışmanın yavaşlaması sıcaklık ve yağışın birlikte olan etkisinden kaynaklanmaktadır.

Sadece sıcaklık faktörünün olduğu çöl bölgesinde yeterli yağış olmaması sebebiyle toprak oluşumu yok denecek kadar azdır (Dinç et al., 1987).

Toprak morfolojik, kimyasal ve fiziksel özellikleri geçmiş iklim koşulları hakkında bilgiler verebilir. Toprak özelliklerinin oluşumu genetik olabileceğinden iklimin bunları açıklamakta iyi bir araç olabileceği belirtilmiştir (Birkeland, 1984). Bazı toprak özellikleri üzerinden paleoklimatik yorumlar çıkarılabilirken, çevresel etmenlerden etkilenen bazı özellikler üzerinden (örneğin pH) geçmiş koşullar hakkında yorumlar yapılamaz. Pedolojik olarak meydana gelen özelliklerin sonraki koşullar için yorum yapılabilmesi için değişen çevre koşullarına dirençli olması gerekmektedir. Morfolojik özellikler değişen çevre koşullarına daha dirençli özellikler olabilir (Birkeland, 1984). McFadden (1982)'e göre Xeric nem rejimine sahip bölgelerde oluşan topraklarda iklimdeki değişimlerin anlaşılabilmesi için kanıtlar çok azdır. Bunun tam tersine yarı-kurak iklimlerde oluşan topraklarda iklim değişikliğine kanıt oldukça fazladır (Birkeland, 1984).

2.2.1.3 Topografya

Topografya; yükseklik, eğim ve arazinin yüzey durumundaki farklılıklarla tanımlanır (Brady and Weil, 2000). Topografyanın etkisi; mikroiklim, pedolojik ve jeolojik süreçlerin bazı kombinasyonlarının ortak etkilerinin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır ve bunların her birinin toprak özelliklerine etkilerini belirlemek oldukça zordur. Pedolojik ve jeomorfolojik süreçlerin etkileri topografya üzerinde daha fazladır (Birkeland, 1984). Aynı zamanda toprakların pedolojik özellikleri ve toprak profilinin özelliklerinin oluşmasında topografyanın etkisinin önemli olduğu bildirilmiştir (Ovalles and Collins, 1986).

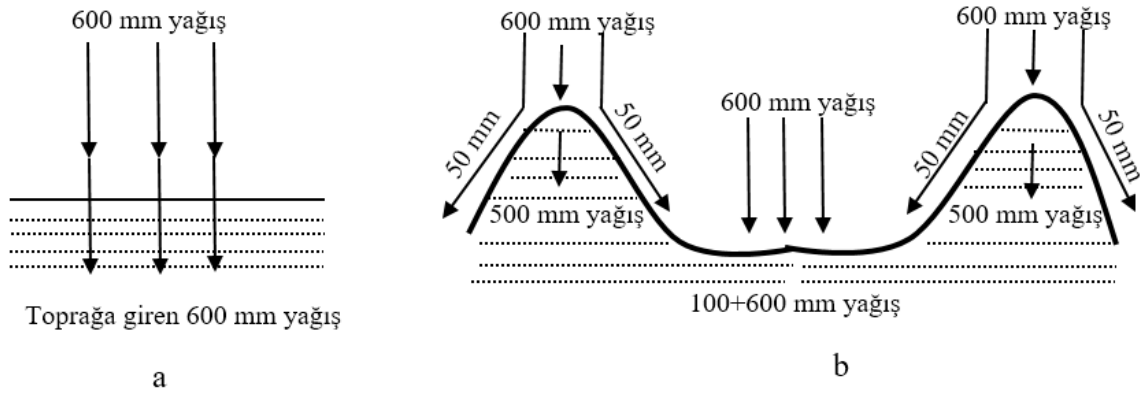
Topografya iklim değişkenlerinin toprak oluşumu üzerindeki etkilerini kontrol eder. Özellikle eğim, bakı ve yüzey şekilleri ile toprak oluşumu arasında önemli ilişkiler vardır (Atalay, 2015). Topografya aynı zamanda toprak oluşumunun drenaj, erozyon, bitki örtüsü ve toprak sıcaklığı üzerine olan etkilerini değiştirebilmektedir (Dinç et al., 1987). Dik eğimli arazilerde genellikle yüzey erozyonu hızlıdır. Dik eğimlerde suyun önemli bir kısmı genellikle yüzey akışa geçer ve erozyona neden olarak toprak oluşum hızını düşürür (Brady and Weil, 2000).

Topografya bitki örtüsü ile etkileşime girerek toprak oluşumunu etkiler. Yarı-kurak bölgelerin dik eğimli alanlarında nemin düşük olması bitki çeşitliliğini azaltır. Bu sebeple dik eğimli arazilerde topraklar daha sıg ve toprak profillerinde horizonlaşma zayıftır (Brady and Weil, 2000). Gül et al. (2012), Çankırı ilinde topografya, bitki örtüsü ve toprak özellikleri arasındaki ilişkiye bakmışlardır. Araştırmacılar yamaçların üst kısmında bitki örtüsü ve çeşitliliğin düşük olduğunu, toprağın biriktiği alt kısımlarda ise bunun tam tersinin olduğunu bildirmişlerdir. Eğimli alanlarda yüzey akışı sebebiyle bitki örtüsü nispeten zayıftır. Kuzeye bakan yamaçlarda karın güney yamaçlara göre daha yavaş erimesi nedeniyle daha fazla suyun yüzey akışa geçmeden toprağa sızması sonucu kuzey yamaçlarda daha derin toprakların oluşmasına zemin oluşturmaktadır (Birkeland, 1984). Ayrıca kuzeye bakan yamaçların daha fazla nem içermesinden dolayı toprağa katılan organik madde ayrışması daha yavaştır ve bu sebepten toprakta daha fazla organik karbon depolanır (Erşahin, 2010).

Topografya ve rölyef toprak özelliklerinin şekillenmesinde önemli bir faktördür. Toprak özellikleri pedolojik ve jeolojik olarak farklılık gösterirler. Özellikle tepe-eğim (hillslope) oluşumlarında eğim durumu, toprak oluşumu ve toprak özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir faktördür (Erşahin et al., 1997). Buol et al. (1997)'a göre bazı toprak özellikleri (A horizonunun kalınlığı, profilin nem oranı, profilin rengi, toprak reaksiyonu, eriyebilir tuz miktarı, sıcaklık) topografya ile ilgilidir (Dinç et al., 1987). Kuzey yarımkürede güneye bakan yamaç araziler güneş ışınlarını daha fazla aldıklarından bu araziler genellikle daha sıcak olur ve güneye bakan yamaçlar kuzeye bakan yamaçlara göre nem yönünden daha düşüktür (Brady and Weil, 2000). Saskatchewan'da (Kanada) yapılan bir çalışmada (Donald et al., 1993) kuzey rüzgarlara dik olan Gri Luvisol topraklarının pedojenik süreçleri ile konumları arasındaki ilişkileri araştırılmıştır. Araştırmacılar toprak süreçlerinin farklılığı ve çeşidinin nem rejiminin ve arazi morfolojisinin bir fonksiyonu olduğunu ve örneğin alandaki konumundaki yer şekillerinin, profil ve çevresinin topografyasındaki değişim derecesinden de etkilendiği sonucuna varmışlardır.

Toprak özellikleri, topografya ile birlikte yatay olarak değişir. Bunun sebeplerinden biri tepe-eğim üzerinde oluşan toprakların mikroklimaya bağlı olarak değişmesidir. Bir diğer önemli sebep ise eğim ve eğimin dikliğidir. Bu sebep toprak özelliklerinde oldukça etkilidir, çünkü yüzey akışı ve erozyon eğime göre değişkenlik gösterir (Birkeland, 1984). Eğimde meydana

gelen en ufak bir değişimde yüzey akışa geçen yağış sularının miktarı değişerek toprak profiline giren su miktarı da değişmektedir. Tepe-eğim arazilerde toprak özellikleri toprağa sızan su miktarının farklı olmasına bağlı olarak farklılık gösterir. Eğimin giderek azaldığı etek arazilerde yukarıdan gelen suların birikmesi ve daha fazla suyun toprağa sızması nedeniyle daha farklı topraklar oluşabilmektedir. Tepe-eğim arazilerde toprak-topografya etkileşimi toprak oluşumunda topografyanın etkisinin anlaşılmasında önemli bir faktördür (Birkeland, 1984). Suyun toprak profili içerisinde hareketi ve eğime göre su akış yollarının olması toprak peyzajındaki farklılıkların temel nedenidir (Dinç et al., 1987).



Şekil 2. 5 Düz (a) ve tepe-eğim (b) arazide topografyanın toprak nemine etkisi (Dijkerman, 1974). Dinç et al. (1987)'den uyarlanmıştır.

Dijkerman (1974)'e göre büyük tepe-eğim arazilerin yanısıra arazide meydana gelen yerel tepelikler, kısa eğimler ve çöküntüler bile yüzey akışı ve toprak neminde önemli farklılıklar oluşturmaktadır. Örneğin, düz bir araziye 600 mm'lik yağış olduğu varsayılımsın (Şekil 2. 5 a), eğim olmaması sebebiyle toprak yüzeyine gelen yağış yüzey akışa geçemez ve yağış sularının hemen hemen tamamı toprak profiline sızar (şayet infiltrasyon hızında bir problem yoksa). Oysaki tepe-eğim bir arazide (Şekil 2. 5 b) tepelerde meydana gelen yüzey akış sonucu 600 mm'lik yağışın 500 mm'den daha azı toprak profiline girecek ve tepelikler arasında kalan kısımlarda ise yüzey akışla gelen sulara hesaba katıldığında toprak profiline $100+600=700$ mm su sızacaktır (Dinç et al., 1987). Ayrışma, yıkanma, organik madde birikimi ve gleyleşme gibi süreçler bundan fazlaca etkilenir. Neticede farklı topografik konumlarda oluşan topraklar kısa mesafelerde dahi belirgin farklılıklar gösterebilmektedir (Dinç et al., 1987).

Taban suyunun toprak profilini tamamen kapladığı durumlarda topografya faktörü çok önemli hale gelmektedir. Toprakların su ile doymuş olması durumunda toprakta meydana gelen birçok fiziksel ve kimyasal süreç değişmektedir. Örneğin, oksijenin sınırlı olması durumunda redüksiyon koşulları baskın olmaktadır ve toprak rengi bu koşullardan oldukça etkilenir. Yarı-kurak bölgelerde taban suları oldukça derinde bulunmaktadır. Taban suyunun yüzeye yakın olması halinde taban suyundaki tuzlar suyun kapillar (kılcal) hareketi ile taşınarak yüzey ve yüzeyin altında birikerek tuzlulaşmaya neden olur (Dinç et al., 1987). Benzer iklimlerde toprakta meydana gelen bu gibi süreçler hidropedolojik olayların açıklanmasında oldukça önemlidir.

Yarı-kurak bölgelerde topografyanın toprak oluşumunda en önemli etkisi çözünmüş haldeki maddelerin yüksek alanlardan alçak alanlara olan yatay hareketidir. Bu hareket sonucunda bu bölge topraklarında bitki yetiştirilmesini önleyecek düzeyde eriyebilir tuzlar birikmektedir. Tuzlu suyun toprak yüzeyine doğru hareketi ve burada meydana gelen evapotranspirasyon topraklarda tuz birikimine neden olmaktadır (Donma et al., 2005). Aynı zamanda etek arazilerde biriken sular sebebiyle suyla doymuş anaerob koşullar bitki artıklarının yeterince ayrışmadan depolanmasını sonuçlamaktadır (Dinç et al., 1987).

Toprakta meydana gelen yüzey ve yüzey altı akış topografya tarafından kontrol edilir ve bu nedenle su toprakta eşit olarak dağılmaz. Toprak suyunun uzaysal dağılımında önemli değişiklikler görülmektedir (Owe et al., 1982). Toprak su içeriğinin eğim, bakı, eğim şekli, eğim derecesi ve yükseltiden önemli derecede etkilendiği son zamanlarda yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur (Chen et al., 2011; Salve and Allen-Diaz, 2001).

Topografya toprakların kısa mesafelerde farklılaşmasının önemli nedenlerinden biridir. Bir bölgedeki farklı topraklar arasındaki ilişkinin daha kolay anlaşılabilmesi için toprağı topografyaya göre katenalara ayırmak gerekir. Toprak katenası ana materyalleri ve iklim koşulları aynı olan toprakların topografyadaki farklarına göre gruplandırılmasıdır. Topografik şekillerdeki önemli değişimler farklı toprakların varlığına işaret etmektedir. Bu sebeple bir bölgedeki katenaların bilinmesi ve jeolojik bilgilerin de eklenerek arazinin incelenmesi toprağın tipi hakkında bilgi verebilir. Toprak katenası bu sebeple toprakların sınıflandırılması,

haritalandırılmasında ve bir bölgedeki farklı topraklar arasındaki ilişkinin anlaşılmasında oldukça önemlidir (Dinç et al., 1987). Katena tepe-eğim ölçeğinde meydana gelir ancak drenaj ve toprak kalınlığındaki farklılıkta kendini gösterir. Katenalardaki toprak gelişimi genelde suyun akışına bir tepki olarak ortaya çıkar ve toprak ile jeomorfolojik süreçler arasındaki ilişkiyi tanımlar (Hopmans and Schoups, 2005).

2.2.1.4 Canlılar

Toprakta organik madde birikimi, biyokimyasal ayrışma, biyoturbasyon, besin döngüsü ve agregat dayanıklılığı gibi birçok toprak özelliği canlıların aktiviteleri sonucunda değişmektedir (Brady and Weil, 2002).

Yarı-kurak alanlarda toprak suyunun sınırlı olması toprak yüzeyini örtebilecek yoğun bitki örtüsü oluşumu engellemektedir. Bu tip bölgelerde, zayıf ve dağınık çalı formundaki bitkilerin yetersiz olması nedeniyle toprak yüzeyinin önemli bir kısmı çıplak kalır. Yarı-kurak alanlarda dağınık ve zayıf bitki örtüsü toprak özelliklerini de etkilemektedir. Bitki kökleri azot, fosfor ve potasyum gibi besin elementlerini bitki kümeleri arasındaki alanlardan alabilirler ve bu elementler bitki taçları altında yaprak artıkları şeklinde birikirler. Daha sonra ayrışan bu artıklar toprağa organik asit takviyesi yapmak suretiyle toprak pH'sının düşmesine neden olurlar. Zaman geçtikçe bu tip toprakların verimliliği azalır, çıplak toprakların genişliği artar ve çoğunlukla daha derinlere yıkanmış kalsiyum karbonat birikimi meydana gelir (Brady and Weil, 2000).

Hayvanlar toprak oluşumuna doğrudan etki etmezler, fakat toprakları kazarak çeşitli horizonları birbirine karıştırarak toprak profilini bozarlar. Bu şekilde suyun ve havanın alt horizonlara hareketini sağlamış olurlar (Dinç et al., 1987). Toprakta yaşayan solucanlar bir yandan toprağa düşen bitki artıklarını midelerinden geçirerek fiziksel ve kimyasal ayrışmayı sağlarken, bir yandan da toprak profilinin 1-1.5 m derinlerine inerek kanalların açılmasına neden olur ve bu kanallardan suyun toprağa geçmesini ve havalandırmayı artırır (Dinç et al., 1987). Bir horizontta toprak canlılarının açtığı ve daha sonra terk ettiği kanalcıkların bir başka horizonttan gelmiş bir toprak materyali ile doldurulması ile oluşan oluşumlara

krotovina adı verilmektedir. Krotovinalar, toprak profilinde üstten yıkanarak taşınan kireç veya organik maddelerin biriktiği kese şeklindeki yapılardır (Brady and Weil, 2000).

2.2.1.5 Zaman

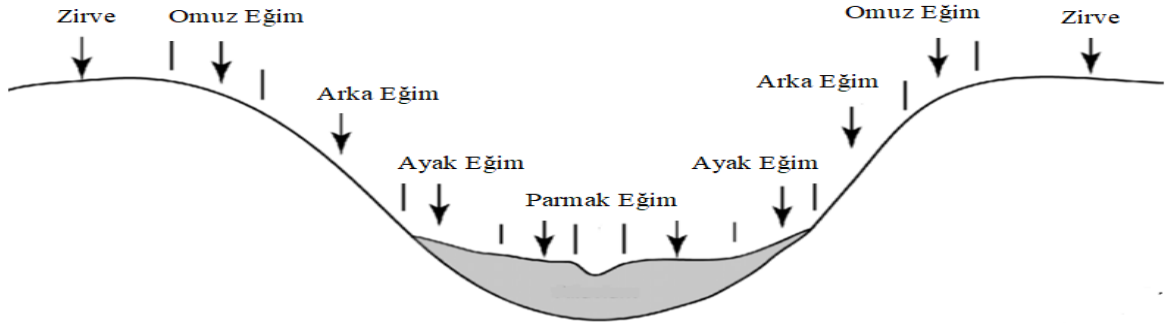
Toprak oluşum faktörlerinin aktif olarak etkilediği sürenin uzunluğu zaman faktörü olarak açıklanmaktadır. Toprak oluşum faktörleri zaman ilerledikçe etkisini göstermektedir. Toprağın yaşı ile toprağın oluşması için geçen süre her zaman aynı değildir. Toprak oluşumu için gerçek ölçüt geçen zaman değil, toprağın karakteristik bir profil kazanmasıdır (Dinç et al., 1987). Genç ve yaşlı bir topraktan bahsedildiğinde, ayrışma ve profil oluşumu ile ilgili olarak toprağın yaşından yıl olarak söz edilemez. Zaman toprak formasyonu veya toprak oluşum faktörleri ile etkileşime girer. Bir toprağın bütün karakteristiklerini kazanması için belirli bir sürenin geçmesi gerekmektedir. Serin ve kurak bir iklimde ayrışmaya karşı dayanıklı bir ana materyalin bulunduğu yere göre, sıcak ve nemli bir iklimde ayrışabilen maddelerin olduğu bir bölgede ayrışma ve toprak profilinin oluşumu veya horizonlaşma çok daha hızlı olarak gelişmektedir (Brady and Weil, 2000).

2.3 Hillslope (Tepe-Eğim) Hidropedolojisi

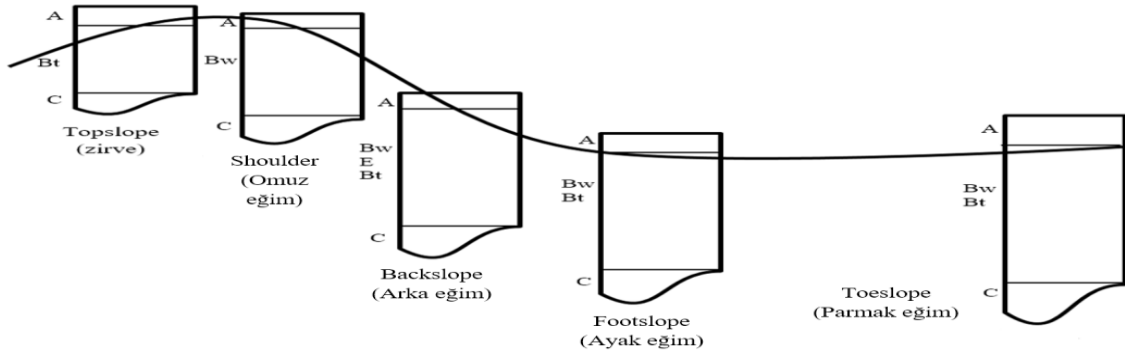
Tepe-eğim (hillslope) modeli farklı topografik birimler arasında akış süreçlerini ve araziyi temsil edebilen en küçük birimdir (McGuire et al., 2005). Tepe-eğim araziler genellikle temel peyzaj birimi olarak kabul edilir (Lin et al., 2006b) ve küçük ölçekleri bütünsel olarak anlayabilmek ve simüle (benzeştirme) edebilmek için kullanılırlar (Tromp-van Meerveld and Weiler, 2008). Tepe-eğim ölçeği bir nevi havzaların mikro kümeleridir. Tepe-eğim modelinin anlaşılması akış mekanizmaları, besinlerin taşınması ve sedimentlerin toprak suyuna karışması, eğim stabilitesi ve toprak-atmosfer-bitki etkileşim süreçleri açısından son derece önemlidir (Bachmair and Weiler, 2011). Tepe-eğim modelinin ilk ayrıntılı çalışmaları Wood (1942) ve King (1953) tarafından yapılmıştır (Hall and Olson, 1991). Ruhe (1960), ise toprak özellikleri ile birlikte tepe-eğim modelinin elementlerini geliştirmiştir. Bunlar; zirve (top

slope), omuz eğim (shoulder), arka eğim (backslope), ayak eğim (footslope) ve parmak eğim (toeslope)'dür.

Tepe-eğim modeli farklı ünitelerden (birimlerden) meydana gelmektedir. Tipik bir tepe-eğim modelinde 5 farklı birim vardır (Şekil 2.6 ve 2.7). Üst eğim; bu birimde eğim düşüktür ve genellikle buralarda A, Bt ve C horizonlarına rastlanır. Omuz eğim (shoulder), zirve ve arka eğim (backslope) arasındaki dış bükey birimdir. Omuz eğimde A, Bw ve C horizonlarına sık sık rastlanır. Arka eğim (backslope); eğimin en dik olduğu kesimdir. Buralarda A, Bw, E, Bt ve C horizonlarına sık sık rastlanır. Ayak eğim (footslope); tepe-eğim modelinin konkav kısmıdır ve genelde A, Bw, Bt ve C horizonları bulunmaktadır. Parmak eğim (toeslope); tepe tabanının düzleştiği ve uzağa uzanan bölgesidir. Buralardaki profiller genelde A, Bw, Bt ve C horizonlarını içermektedir.



Şekil 2.6 Tipik bir tepe-eğim modeli



Şekil 2.7 Tipik bir tepe-eğim modelinde horizonlar

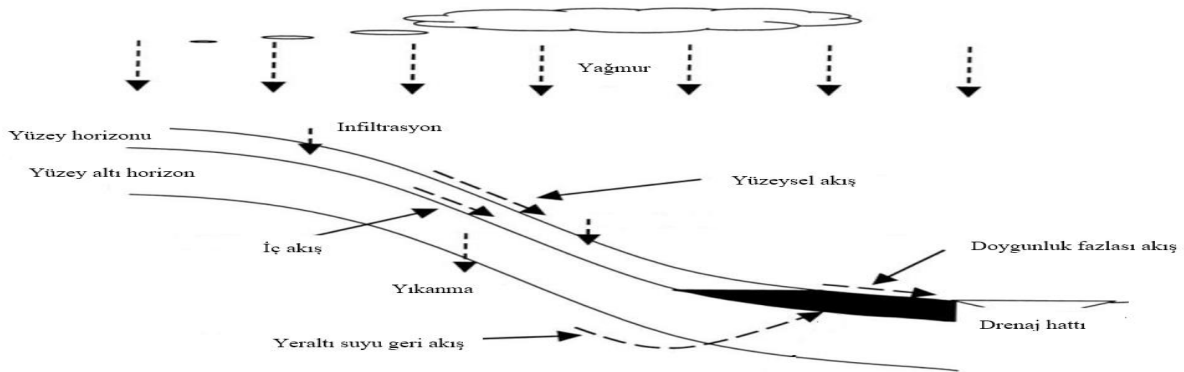
Arazi-toprak ilişkisinin anlaşılması ve arazinin uygun şekilde yönetimi için arazi morfolojisinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Arazi morfolojisinin anlaşılabilmesi için eğim, baki, yatay ve dikey kavislerin dikkate alınması gerekmektedir. Toprak özellikleri ve hidrolojik süreçler toprak su içeriğini önemli ölçüde etkiler. Toprak suyunun hidrolojik döngüdeki yerini tayin eden faktör toprak hidrolik özelliklerinin ortak bir fonksiyonu olan toprak suyu davranışdır. Toprak hidrolik özelliklerinin işleyişini anlamadan başarılı bir toprak yönetimi imkansızdır. Doymuş ve doymamış hidrolik iletkenlik, tarla kapasitesi ve solma noktası su içeriği, infiltrasyon hızı gibi dinamik özellikler toprak suyunun davranışını doğrudan etkiler. Toprak suyu davranışının anlaşılabilmesi için bu özellikler arasındaki etkileşimin bilinmesi gerekmektedir (Erşahin, 2001). Bu sebeplerden dolayı ekolojik çalışmalarda tepe-eğim ölçeğinde bitki ve toprak arasındaki ilişkilerin belirlenmesi önemlidir (Miller and Schaetzl, 2015).

Miller and Schaetzl (2015)'e göre toprakların uzaysal değişkenliğini açıklamada tepe-eğim ölçeğinde meydana gelen süreçler önemlidir. Tepe-eğim ölçeğinde arazi birimlerinin daha gerçekçi tanımlanabilmesi için hidropedolojik özelliklerin daha fazla uygulamasının yapılması ve topografyayı da içeren jeografik teknolojilerin ve toprak haritalama sistemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Yarı-kurak tepe-eğim modelinde bitki ve hidroloji bağlantısında en büyük faktör sudur (d'Herbès et al., 2001). Bu tip modellerde su kaynaklarının heterojen olması farklı bitki örtüsünü yapılandırmıştır (Ludwig et al., 2000). Yarı-kurak alanlarda akış yolları yamalı gibi davranır ve akış iklime bağlıdır (Calvo-Cases et al., 2003). Bu tip yarı-kurak tepe-eğim modellerinde yüzey akışı vejetasyon dinamikleri için önemli bir güçtür ve bu birçok çalışmada belirtilmiştir (Hancock and Willgoose, 2004; Moreno-de Las Heras et al., 2008). Tepe-eğim modelinde baskın bitki türlerinin uzaysal dağılımı ve toprak nem dağılımı arasında bir ilişki vardır. Merino-Martín et al. (2011) doğal tepe-eğim modellerinde baskın bitki türü ve hidroloji arasındaki güçlü ilişkilerin olduğu yerlerde eko-hidrolojik ünitelerin de geliştiğini bildirmişlerdir.

Yarı-kurak tepe-eğim modellerinde vejetasyon ve hidroloji arasındaki geri besleme mekanizmaları bazı modeller ile açıklanabilir (Ludwig and Tongway, 1997). Bu tip modellerde yoğun bitkiyle kaplanan bölgelerde akış engellenir ve buralarda bitki büyümesi teşvik edilir. Bu sebeple bitki yamaları toprağın infiltrasyon kapasitesini artırır ve bu süreçler

önemli bir geri besleme mekanizmasıdır (Ludwig et al., 2005). Nitekim tepe-eğim ölçeğinde yamalı arazilerde bitki ve hidrolojik süreçler arasındaki ilişkinin incelenmesi amacıyla üç farklı tepe-eğim modelinde çok yıllık bitki türleri kullanılmıştır (Merino-Martín et al., 2015). Araştırmacılar, tepe-eğim modelinde Genista bitkisinin olduğu en üst bölgelerde su akışına karşı bir direncin olduğunu ve bu bitkiler tarafından infiltrasyonun oldukça etkilendiğini bildirmişler ve bunun sebebini mikro-çevre koşullarının değişmesine bağlı olarak toprak nem dağılımındaki farklılıklara bağlamışlardır. Bitki örtüsünün yüzeysel akış ve infiltrasyon için önemli bir faktör olduğu birçok araştırmacı tarafından da rapor edilmiştir (Eldridge and Freudenberger, 2005). Aynı zamanda araştırmacılar yüzey toprağının neminden ziyade daha derindeki toprak neminin bitki yapılanması, kontrolü ve bitkiye etkisinin daha önemli olduğunu bildirmişler, bunun nedenini de toprak yüzeyinin ilk 5 cm'deki nemin buharlaşma ile kaybolmasına bağlamışlardır.

Whipkey and Kirkby (1978)'e göre aşırı yağışın olduğu nemli iklim bölgelerinde yıl boyunca evapotransprasyon gerçekleşir ve bu bölgelerdeki tepe-eğimlerde işleyen süreçler hidropedolojik döngülere bağlı kalır. Bu iklimlerde meydana gelen aşırı infiltrasyon, yüzeysel akış, doymuş ve doymamış yeraltı akış, suyun eğim (tepe) aşağı hareketini daha da teşvik eder (Puigdefabregas et al., 1998). Yerçekimi etkisiyle meydana gelen bu akışlar hidrolojik etkileşimlere neden olarak bu bölgedeki tepe-eğimlerde suyun uzaysal değişkenliğine sebep olurlar. Moore and Burch (1986)'a göre eğim aşağı akışlar eğimin bittiği yerde (toe slope) doymunluğun artmasına sebep olur ve buralarda bir depresyon bölgesi oluşarak hem yüzey altı hem de yüzey akışa neden olurlar (Puigdefabregas et al., 1998). (Şekil 2.8)

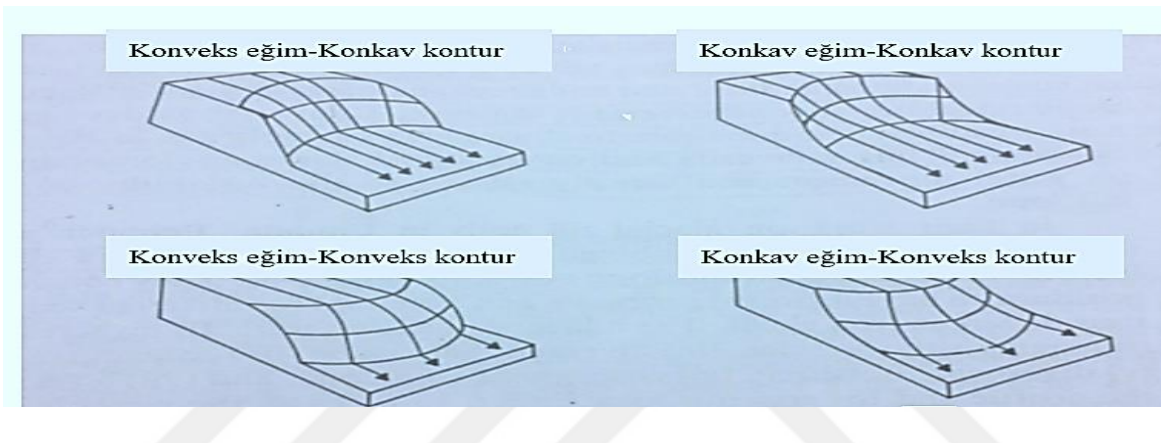


Şekil 2. 8 Tipik bir tepe-eğim modelinde meydana gelen akışlar Dougherty et al. (2004)'dan uyarlanmıştır.

Yarı-kurak bölgelerdeki tepe-eğim modelinde hidrolojik etkileşimler düşük düzeydedir. Bu bölgelerde toprak suyunun uzaysal dağılımı karmaşık olduğundan daha zor tahmin edilir ve eğim açısı ve eğim dikliği dikkate alınmalıdır. Bu bölgelerde meydana gelen hidrolojik süreçlerin karmaşıklığını toprak değişkenliği belirler. Bu tip arazilerde toprak oluşumu ve toprak özelliklerinin uzaysal dağılımı arasında çok sıkı bir ilişki bulunmaktadır. McCord and Stephens (1987)'e göre yarı-kurak bölgelerde yüzeysel akış ve yüzey altındaki doymamış akış iki önemli özelliktir (Puigdefabregas et al., 1998). Kirkby and Chorley (1967)'e göre tarla kapasitesinden daha yüksek su içeriğinde oluşan doymamış yüzey altı akış hızı yüzeysel akışın yaklaşık 3 katı daha düşüktür. İspanya'da yarı-kurak bir tepe-eğim modelinde toprak nem içeriğinin uzaysal değişimine bakılmıştır. Araştırmacılar 0-5 cm toprak tabakasında nem içeriğinde mevsimsel olarak sabit bir artış olmadığını, kış ve sonbaharda en yüksek nem içeriğinin tepe (top slope) ve orta eğimde (footslope), en düşük nem içeriğinin ise alt orta eğimde (back slope) meydana geldiğini rapor etmişler, yaz ve ilkbaharda ise tepe ve orta eğimde toprak neminde düzenli bir azalış olduğunu bildirmişlerdir (Puigdefabregas et al., 1998).

Tepe-eğim modelinde yatay değişkenlik dikey değişkenliğe göre çok daha fazladır. Özellikle orta eğim bölgesi yağışa daha fazla maruz kalarak yağış suyu eğim aşağı akar. Yağış sebebiye aşağı akan alüvyal topraklar az miktarda silt, kil, organik madde ve büyük taş fraksiyonları içerir (Puigdefabregas et al., 1998). Tepe-eğim modelinin her bir biriminde toprak özellikleri arasında önemli farklar bulunmaktadır. Bu farklılığa neden olan birçok faktör bulunmaktadır. Örneğin, tepe-eğim modelinin depresyon bölgelerinde toprak ıslaklığı daha fazladır. Depresyon bölgeleri eğimin bittiği yerde doyunluğun artmasına neden olur ve hem yeraltı hem yer üstünde akışa neden olur (Moore and Burch, 1986). Nitekim Lin et al. (2005b)'in South Carolina'da yaptıkları bir çalışmada Minnesota Nehir Alanı bölge topraklarının depresyon bölgelerinde A horizonu kalınlığının batıdan doğuya doğru azaldığını rapor etmişlerdir. Araştırmacılar bunun nedenini yağışın artmasına bağlamışlar ve topraklarda yerel topografyadaki farklılıkların neden olduğu değişkenlik nedeniyle yüzey toprağının pH'sını nemli Waseca alanının depresyon bölgelerinde fazla, kuru olan Morris ve Lamberton alanlarında ise düşük olduğunu bildirmişlerdir. Aynı çalışmada çalışma alanının bazı bölgelerinde arazinin konkav yapısı nedeniyle, yüzeye su girişi olduktan sonra profil boyunca

suyun perkole olduğu ve daha derinlerde çözülmüş CaCO₃ miktarının fazla olduğu rapor edilmiştir. Pedolojik süreçler ve jeomorfolojinin etkisi ile su hareketinin bir sonucu olarak tepe-eğim modelinin şekli farklı olabilmektedir. Ruhe (1960)' e göre eğim kavislerinin tanımlanması için; i) eğim açısı, ii) eğim uzunluğu, iii) eğim genişliğinin bilinmesi gerekmektedir. Jenny (1980)'e göre topografya yüzde derece cinsinden eğim, metre cinsinden ise eğimin uzunluğunu ve eğim yönünü ifade eder. Eğim yönü mikro iklim ve bitki örtüsündeki değişikliklere dolayısıyla da toprak farklılıklarına neden olur (Baskan et al., 2016).



Şekil 2.9 Temel eğim şekilleri ve yüzey akış hatları. Huggett, 1975'den uyarlanmıştır (Hall and Olson, 1991)

Arazideki yerel değişimler ve arazi kullanımını tepe-eğim ölçeğinde toprak özelliklerini etkileyen önemli faktörlerdir (Liu et al., 2007). Hugget (1975)'e göre yüzeysel akış yolları temel eğim şekillerinde tanımlanabilir (Hall and Olson, 1991) (Şekil 2.9). Pennock et al. (1987)'a göre tepe-eğim modelindeki yüzeysel akışın konkav ve konveks şekillerdeki durumu Şekil 2.9'de gösterilmiştir. Yüzeydeki su akış yollarının erosif etkisi eğimin konkav ve konveks olmasını etkiler ve bu durum toprak içinde su hareketinin yollarını da etkilemektedir. İç bükey modellerde orta eğim (footslope) ve tepe (head) pozisyonlarda toprak genellikle doygundur ve buralarda suyun sızması gerçekleşir.

Arazi elementleri	Kontur	Eğim Şekli
Iraksak üst-orta eğim		
Yakınsak üst-orta eğim		
Iraksak alt-orta eğim		
Yakınsak üst-orta eğim		
Iraksak orta eğim		
Yakınsak üst-orta eğim		
Sınır		

Şekil 2.10 Tepe-eğim model elementleri ve eğimlerin arazideki durumları. (Pennock et al., 1987)'dan uyarlanmıştır (Hall and Olson, 1991).

Dış bükey üst-orta eğimde (shoulder) nem içeriği farklılık gösterir. Bu sebeple konkav ve konveks eğim şekilleri su hareketini kontrol eder ve tepe-eğim modelinde toprak özelliklerinin değişkenliği üzerine etkisi büyüktür (Şekil 2.10) (Hall and Olson, 1991). İsrail'de yapılan bir çalışmada konveks ve konkav arazilerde buğday verimi karşılaştırılmıştır (Sinai et al., 1981). Araştırmacılar buğday verimi ve ürün boyutunun konkav ve konveks arazide önemli farklara sahip olduğunu, konkav arazide ürün veriminin konveks araziye göre dört kat daha fazla ve konkav arazide ürün boyutunun % 32 daha büyük olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar bunun nedeni iki arazi arasındaki depolanan nem farkına bağlamışlardır.

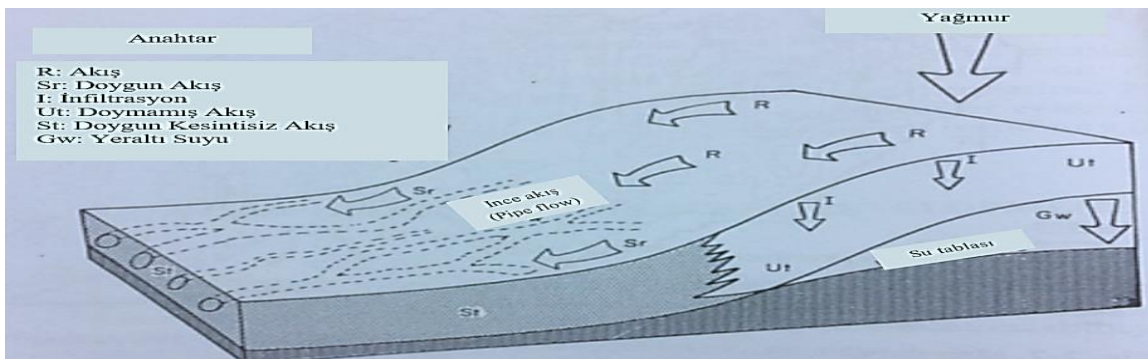
Pennock ve ark (1987), yedi farklı tepe-eğim modelinde model elementlerini tanımlamış olup, farklı eğim pozisyonlarında toprak özelliklerinin farklı olduğunu ve bunda farklı süreçlerin etkili olduğunu bulmuşlardır. Araştırmacılar tarafından tepe-eğim pozisyonları; i) iraksak omuz eğim, ii) yakınsak omuz eğim, iii) iraksak arka eğim, iv) yakınsak arka eğim, v) iraksak ayak eğim, vi) yakınsak ayak eğim ve vii) hem profilin hem de kontürün doğrusal olduğu sınır olarak belirtilmiştir (Hall and Olson, 1991).

Pennock et al. (1987), yakınsak ve iraksak karakterlerin birleşimi ve bunun sonucunda tepe-eğim modelinde suyun hareket yollarını açıklamıştır. Araştırmacılar en az nemin üst eğim, alt

orta eğim ve orta eğimde, en fazla nemin yakınsak orta eğimde, zirve ve düzlük pozisyonlarının ise ara nem içeriğine sahip olduğunu bildirmişlerdir. Aynı zamanda araştırmacılar iraksak üst orta eğimin pedolojik gelişim için en uygun pozisyon olduğunu da belirtmişlerdir (Hall and Olson, 1991). Pennock et al. (1987), bir arazi çalışmasında model pozisyonları ve nem içeriği arasındaki ilişkiyi üst orta eğim < alt orta eğim < orta eğim olarak bulmuşlardır. Aynı araştırmacılar, A horizonunun kalınlığı ve derinlerde karbonat birikimi ilişkisini de üst orta eğim < alt orta eğim < sınır bölgesi < orta eğim olarak bulmuşlardır (Hall and Olson, 1991).

Farklı eğim pozisyonları ve arazi kullanımında toprak özelliklerinin uzaysal değişkenliğine bakılmak amacıyla tepe-eğim ölçeğinde yapılan bir çalışmada (Baskan et al., 2016), toprak özellikleri eğim pozisyonları ve arazi kullanımı arasında önemli farklar bulunmuştur. Araştırmacılar bunun nedenini eğime ve farklı arazi kullanımından kaynaklı toprak organik madde içeriğinin düşük olmasına bağlamışlar, en yüksek organik madde içeriğini kaliteli bitkilere sahip omuz eğimde olduğunu ve organik maddenin uzaysal değişkenliğinde arazi kullanımı/arazi örtüsünün kontrol edici faktör olduğunu bildirmişlerdir.

Topraktaki su hareketi arazinin şekillenmesi ve toprak oluşumunda en önemli faktörlerden biridir. Modeldeki yerel akış yolları pedojenik çeşitlilik ve toprak davranışları hakkında bilgi vermektedir (Hall and Olson, 1991). Suyun eğim aşağı hareketi tepe-eğim modelinde toprak değişkenliğine etki eden en önemli faktördür ve suyun yatay olarak hareketi bu modelde oldukça önemlidir (Ruhe, 1960). Gerrard (1981), tepe-eğim modelinde meydana gelen su hareketi için ana akış yollarını, i) yüzeysel akış, ii) infiltrasyon ve iii) kesintisiz akış (throughflow) olarak tanımlamıştır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Tepe-eğim modelinde akış yolları. Gerrard (1981)'dan uyarlanmıştır (Hall and Olson, 1991).

Yüzey üzerindeki doymuş su akışı yüzeydeki fazlalık uzaklaşmaya kadar devam eder. Bu tip akış yolları sebebiyle su erozyona neden olabilir Toprak gibi açık bir sistemde çözünebilir maddelerin büyük bir kısmı toprak profilinden yer altı suyuna karışır ve burada dengeyi etkiler (Hall and Olson, 1991).

Tepe-eğim modeli üzerinde bir akışın doymuş ya da doymamış olduğu yağış durumu, yağış yoğunluğu, horizonun geçirgenliği, eğim açısı ve bitki örtüsüne bağlıdır. Modelde genellikle yüzey altı derine perkolasyon ayak eğimin (footslope) aşağısında veya düzlük bölgelerde (toe slope) şeklinde ortaya çıkar. Bu süreçler sonucunda çeşitli fiziksel ve kimyasal olaylar meydana gelir, modeldeki su hareketi ve toprakların değişkenliği etkilenir (Hall and Olson, 1991).

Toprak anizotropisi (yöne bağımlılık) topraktaki süreçlerin işleminde ana faktör olarak tanımlanır. Anizotropinin derecesi ve yoğunluğunun farklı olması toprak morfolojisini önemli derecede etkiler. Topraklardaki anizotropi pedojenik, horizontal, sedimental, jeolojik yapı ve sıkışmanın bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Toprak anizotropisi tepe-eğim modelinde toprak değişkenliği ile ilgilidir ve bu da toprakta suyun hareketini etkiler Yüzeyden toprağa giren suyun eğim aşağı ve dışa doğru hareketleri ise isotropiktir (Hall and Olson, 1991). Tepe-eğim modelinde akış mekanizmalarının nasıl çalıştığının çok iyi bilinmesi gerekmektedir.

Herhangi bir toprak profilinde denge koşullarının oluşması için sürekli bir etkileşim vardır. Kuvvetler dengeye gelinceye kadar topraktaki suyun hareketi devam eder. Homojen topraklarda suyun hareketi tekdüze olurken heterojen topraklarda tekdüze bir hareket görülmez ve küçük gözeneklerde su daha fazla kuvvetle tutunur. Bu sebeple topraktaki gözeneklerin çapında meydana gelen en ufak bir değişim suyun akış hızını önemli ölçüde etkiler (Yeşilsoy, 1995). Yeşilsoy (1995)'a göre bir çözelti ve suyun taşınması genellikle toprağın diğer kısımlarında bu taşınanın konsantrasyonunda bir artma veya bir azalış meydana getirir. Bu olay genellikle taşınma-birikme olarak bilinir. Toprak suyu bir çözelti olup suyun içinde bağımsız olarak hareket eden çeşitli maddeleri içerir. Çözünebilir maddelerin bir kısmı değişim kompleksine girer, bir kısmı çöker veya çözünür, bir kısmı buharlaşarak atmosfere geçer, bir kısmı biyolojik aktivite sonucu dönüşüme uğrar ve diğer kısmı ise drenaj ve sızma

yoluyla ortamdan uzaklaşırlar. Bu tip karşılıklı etkileşimler bitki gelişmesi için yararlı maddeleri, tuzluluk düzeyi ve toprağın değişim kompleksinin durumunu tayin eder. Bu nedenle toprak-su ilişkisi çalışmalarında çözülmüş maddelerin durum ve hareketi mutlaka göz önüne alınmalıdır (Munsuz, 1985).

Tepe-eğim modelinin toprak oluşumuna ve taşınmaya en önemli etkisi bazı maddelerin eğim aşağı olan yatay hareketidir. Tepe-eğim hidropedolojisinde tercihi akı önemli bir faktördür (Mosley, 1979). Weiler et al. (2005)'a göre yatay tercihi akış makro gözeneklerde ve toprak matriksinin daha geçirgen olduğu yerlerde meydana gelir (Anderson et al., 2009). Toprakta genellikle iki türlü akı tanımlanmıştır. 1. Darcy eşitliği ile tanımlanan toprağın dokusunda meydana gelen nispeten yavaş ve kararlı matriks akı 2. Poisuille eşitliği ile tanımlanan makro gözeneklerde meydana gelen kararsız ve hızlı tercihi akıdır (Helling, 1991). Tercihi akı ve makropor akı toprak fiziğinin temel konularına girmektedir ve uzun senelerdir toprak fizikçileri tarafından çalışılmaktadır.

2.4 Hidropedoloji Toprak Özellikleri Etkileşimi

2.4.1 Toprak Morfolojik Özellikleri

Joffe (1949)'e göre toprak morfolojisi, bir toprak profilinde profilin genel özelliklerinin ve şekillerinin kesin sınırlarla incelenmesi ve tanımlanmasıdır (Dinç et al., 1987). Toprak morfolojisinin yeterince tanımlanması arazide toprağın yerinde incelenmesi ile olabilir. Toprağın yerinde incelenmesi toprak profillerinin açılması ile mümkündür. Toprak profillerinin incelenmesi ise ilk olarak toprak horizon sınırlarının belirlenmesi ile başlamaktadır. Açılan profilde her horizon ayrıntılı olarak tanımlanmalıdır.

Arazide toprak profillerinin tanımlanmasında elde edilen bilgilerin anlaşılması ve diğer literatürler ile karşılaştırılabilmesi için tanımlamada standart toprak tanımlama klavuzları (örneğin, Field Book for Describing and Sampling Soils) kullanılmaktadır. Toprak horizonlarının tanımlanmasında renk, tekstür, strüktür, kıvam, nodüller, kütanlar, konkresyonlar, kökler, taşlılık, konsantrasyonlar ve mottles gibi birçok morfolojik özellik

kullanılmaktadır (Schoeneberger, 2002). Toprak morfolojik özellikleri toprakta meydana gelen hidrolojik süreçlerin açıklanmasında yardımcı olmaktadır. Toprak hidrolik özelliklerinin toprak morfolojisi ile ilişkilendirilmesi üzerine önemli çalışmalar yapılmıştır (Coen and Wang, 1989).

Toprak rengi, arazide gözlemlenebilen en temel özelliklerden biridir. Toprak rengi aynı zamanda toprak oluşum süreçlerinin bir göstergesi olarak da kullanılmaktadır. Toprak profilinde renk belirlenmesi her bir horizon için ayrı ayrı kuru ve nemli iken Munsell renk skalası ile yapılmaktadır. Bu yöntem, uygulamasının kolay olması yanında renk sayısının sınırlı olması ve renk algılamalarının kişiden kişiye değişmesi açısından dezavantajlı olabilmektedir (Barrett, 2002). Bu bağlamda Post et al. (1993)'ın yaptıkları bir çalışmada, aynı örneğin farklı araştırmacılar tarafından aynı şekilde ifade etme oranının oldukça düşük olduğu rapor edilmiştir (Günel and Erşahin, 2006). Son yıllarda toprak renginin ölçülmesi için çeşitli sistemler geliştirilmiştir. Özellikle Comission Internationale d'Eclairage (CIE) tarafından geliştirilen sistemlerin kullanımını yaygın olmamasına rağmen renk ölçümünde ortaya çıkan sorunları çözmektedir (Günel and Erşahin, 2006). Torrent and Barrón (1993)'e göre kullanımı daha hızlı ve doğru olan kolorimetre ile toprak renginin ölçümü Munsell renk ölçeğine alternatif olarak kullanılmaktadır (Günel and Erşahin, 2006). Wilding (1985)'e göre toprak renginin hue ve value değeri düşük, kroma değeri ise orta derecede değişkendir. Topraklarda bulunan farklı maddelerin kendilerine özgü renk karakteristikleri vardır. Schulze et al. (1993), kalın, koyu renkli yüzey horizonlarına sahip toprakların diğer topraklara göre daha verimli olduğunu bildirmiştir. Alt toprak horizonlarında demir oksit ve demir minerallerinin varlığına bağlı olarak horizonların rengi kırmızı, sarı, kahverengi ve portakal rengi olabilmektedir. Mangan oksit minerallerin varlığında ise koyu renkler oluşur. Demir/mangan oksitler kum, kil ve silt parçacıklarının yüzeylerini kaplar. Bu oksitler olmadığında bu parçacıkların asıl rengi gridir (Durak and Kılıç, 1997).

Toprak rengine toprakların parçacık büyüklüğü de etki etmektedir. Bu amaçla yapılan bir çalışmada, genelde parçacık büyüklüğünün küçülmesi ile toprağın parlaklığının arttığı bildirilmiştir (Delgado et al., 1997). Toprak rengi arazide dikey ve yatay yönde değişmektedir. Toprak profilinde toprak renginin dikey olarak ayırt edilmesiyle farklı horizonlar belirlenmektedir (Rossel et al., 2006b). Günel and Erşahin (2006)'in Tokat'ta

yaptıkları bir çalışmada agregatlaşma ve toprakta meydana gelen kimyasal olayların toprak rengini önemli derecede etkilediği rapor edilmiştir. Aynı araştırmacılar renk farklılıklarının en az yüzey horizonunda, en fazla ise kalsik horizonunda olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar bunun nedenini renk farklılıklarına neden olan parlaklık değerine bağlamışlardır. Aynı araştırmacılar parlaklığın toprak agregatlarının ayrılma hatlarına paralel bir şekilde arttığını fakat toprak tanelerinin agregatlaşması ile ışığın soğurulmasının arttığını ve daha az ışık yansıdığından parlaklık değerinin azaldığını da bildirmişlerdir.

Horizonlarda meydana gelen birikmeler de toprak rengini etkilemektedir. Çankırı-Eldivan yöresinde bir havzada toprak özelliklerinin değişimine bakılan bir çalışmada, araştırmacılar araziye temsilen açılan 7 adet toprak profilinde toprak morfolojik özelliklerine bakmışlardır. Bu araştırmacılar Lithic Calciccept olarak sınıflandırdıkları bir profilde kirecin üst horizonlardan yıkanıp birikerek kalsifikasyona uğraması sonucu horizonlar arası kireç oranında önemli farkların olduğunu rapor etmişler, araştırmacılar bu durumun renkte değişmeye neden olduğu, üst horizontdaki düşük value ve kromanın alt horizonlarda artarak rengin açılmasını sonuçladığını bildirmişlerdir (Göl and Dengiz, 2007).

Toprak rengi bazı toprak özellikleri hakkında bilgi verebilir. Örneğin, koyu renkli toprakların organik madde içeriği yüksek olabilmektedir. Ancak organik madde içeriği düşük olan bazı toprakların da rengi koyu olabilmektedir. Bunun nedeni toprak çözeltisindeki değişebilir sodyum miktarının artması sonucunda toprakta bulunan organik maddenin dispersiyona uğrayarak kapilar yükselme ile toprak yüzeyinde birikerek koyu renkli ve yapışkan bir katman oluşturmasıdır (Scharenbroch et al., 2005). Toprak rengi ve toprak nemi arasında ilişki vardır. Bu bağlamda araştırmacılar görüntü analizi ile toprak renginden toprak yüzey nemini (Θ) tahmin etmeye çalışmışlardır. Bu çalışmada toprak belirli seviyeye kadar ($0.25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) ıslatılmıştır. Araştırmacılar tarafından bu sınıra kadar ıslatılan toprağın daha koyu hale geldiği fakat birçok toprağın aslında en yüksek Θ seviyesinde daha açık olduğu rapor edilmiştir. Araştırmacılar, bunun nedenini su yüzeyinden yansımanın nemli toprağa göre daha fazla olmasına bağlamışlardır. Aynı araştırmacılar, düşük organik madde içeriğine sahip açık renkli topraklarda toprak rengi ve toprak nemi arasındaki ilişkinin daha kuvvetli olduğunu bildirmişlerdir (Persson, 2005). Demir içeren mineraller kimyasal olaylara maruz kaldığında toprak rengi değişir ve bu renkler toprağın hidrolojik rejimi ile ilgili bilgiler verebilir.

Schwertmann (1993)'e göre kırmızı rengin varlığı hematit mineraline ve toprağın iyi drene olduğuna, sarı renk ise lepidocrit mineraline ve toprağın bir dönem oksijensiz kaldığına işaret eder (Günel and Erşahin, 2006).

Günel and Erşahin (2006)'in Tokat'ta Gaziosmanpaşa Üniversitesi yerleşkesinde üç farklı profil üzerinde yaptıkları bir çalışmada P1 profilinde 100 cm'de, P2 ve P3 profillerinde ise 49 cm'de alt ve üstte bulunan horizonlara göre daha kumlu bir katman tanımlamışlardır. Bu araştırmacılar P1 profilindeki kumlu katmanın üzerinde bulunan yaklaşık 15 cm'lik bir kısmın renginin çok belirgin şekilde açık olduğunu (10 YR 6/8) rapor etmişler ve bunun nedenini bu katmanda belirli bir süre anaerob koşulların devam etmesi nedeniyle suyun profilden uzaklaşması ile demirin tekrar okside olduğu ve buna bağlı olarak sarı renkli götit mineralinin oluşmasına bağlamışlardır. Aynı çalışmada, P1 profilinin aksine P2 ve P3 profilinde götit mineralinin olmadığı rapor edilmiş bunun nedenini ise profiledeki kumlu katmanların üzerinde bulunan killi katmanlarda oluşan geçici anaerobik koşulların varlığına bağlamışlardır. Bilindiği gibi, katmanlı topraklarda, ince bünyeli bir toprak katmanından bu katman ile temas halinde olan alttaki kaba bünyeli katmana suyun sızabilmesi için, üstteki ince bünyeli katmanda belirli bir su yükü oluşması gerekmektedir. Toprak tekstürünün bilinmesi, toprağın birçok morfolojik özelliğini açıklamakta yardımcı olabilir. Toprağın etkin olarak kullanılması ve doğru bir toprak amenajmanı için ihtiyaç duyulan en etkin özelliklerden birisi yüzey toprağının (üst toprak) kil içeriğidir. Yüzey toprağının tekstürü hidrolik iletkenliği, su tutma kapasitesini, toprak verimliliği ve üretkenliği oldukça etkilemektedir. Triantafilis and Lesch (2005)'e göre özellikle yarı-kurak bölgelerde hidrolojik döngüdeki etkisinden dolayı yüzeyaltı ve vadoz bölgenin kil içeriği oldukça önemlidir. Bu bölgelerdeki kil içeriğinin yüksek olması toprakta su hareketini büyük ölçüde engeller ve suyun profil içerisinde kalmasına neden olur (Budak, 2012).

Toprak Strüktürü, toprağın pedojenik süreçleri ve insan faaliyetlerinin etkisi ile ortaya çıkar (Bronick and Lal, 2005). Bir toprak horizonunda strüktür oluşumunun varlığı veya yokluğu, yapıların büyüklüğü, şekli ve tipi toprak oluşumunu etkileyen önemli özelliklerdendir. Toprağın renk ve strüktürünün toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini yansıttığı bildirilmiştir (Kantarıcı, 2000). Ped, toprak biliminde doğal olarak oluşan en küçük birimdir. Pedoloji; morfoloji ile toprak oluşumu ve sınıflandırılması arasındaki ilişkiyi inceler (Lin et

al., 2008). Toprak mimarisi ise toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin yanısıra iletkenlik, yağış/akış süreçlerinin anlaşılmasında önemlidir.

Toprak strüktürü terimi ilk olarak ABD toprak araştırmalarında kullanılmıştır ve strüktürün doğal düzenlerinde ayrıldıkları parçalarına ise 'ped' denilmiştir (Lin et al., 2008). Pedlerin şekil, büyüklük ve sınıfının yanı sıra iç yüzey özellikleri de önemlidir. Bunlar; i) komşu toprak malzemesinden farklı olarak çeşitli yüzeylere uygulanan ve yüzeylerin bir kısmı veya tamamını kaplaması, ii) diğer malzemelerin uzaklaştırılmasından kaynaklanan yüzeyler üzerindeki maddenin konsantrasyonu, iii) yüzeydeki ince tabakaların yeniden yönlendirilmesi sonucu stres oluşumlarıdır (Staff, 1993). Strüktürel yüzey özellikleri ise kil filmleri, kil köprüleri ve kayma yüzeyleri olup, bu özelliklerin hepsi toprak suyunun hareketi, akış ve taşınmasında önemli rol oynar (Lin et al., 2008). ABD sistemi toprak strüktüründe, gözeneklerin şeklinin (morfolojisi) önemli bir yeri olmasına rağmen, Avrupa ve Kanada toprak sistemlerinde gözenek büyüklük dağılımı iletkenlik ve bükümlülük toprak strüktürünün ayrılmaz bir parçası olarak karşımıza çıkar (Fabric, 1976). Bu sebepten ABD sisteminde strüktür yerine *pedalite* terimi kullanılmaktadır ve pedalite toprak gözenek dağılımı ile yakından ilgilidir (Lin et al., 2008). Birçok toprakta pedalite ile temsil edilemeyen interpedal (pedler arası), intrapedal (ped iç) ve transpedal (pedden pede) gözenekler vardır. Bu gözenekler biyolojik aktiveteler (kök kanalları, solucan kanalları), fiziksel süreçler (çatlama ve yarık) veya kimyasal reaksiyonlar (çözünbilir kimyasalların çözünmesi) sebebiyle oluşurlar ve toprak suyunun hareketi, akış ve taşınma süreçlerinin tanımlanmasında kilit rol oynarlar. Bu sebeple hidropedolojide toprak strüktürü terimi yerine pedalite teriminin kullanılması daha uygundur (Lin et al., 2005b).

Geleneksel olarak toprak strüktür karakteristikleri pedolojistler tarafından arazide morfolojik gözlemlere bağlı olarak tanımlanırken, toprak fizikçileri tarafından laboratuvarında belirlenir. Direk ölçüm yönteminin olmadığı durumlarda, toprağın su salıverme eğrisi, doymuş hidrolik iletkenliği, infiltrasyon hızı veya gaz difüzyonu gibi özellikler ile sık sık değerlendirilir (Lin et al., 2008). Toprak strüktürü ve hidrolik özellikler arasında istatistikî ilişkileri ve deterministik bağlantıları bulmak için birçok çalışma olmasına rağmen, toprak strüktürü ile hidrolojik özellikler arasındaki ilişkilerin yerinde ve farklı ölçeklerde açıklanmasında önemli boşluklar vardır. Ölçeklerin büyüklüğünü sınırlayan fiziksel, kimyasal, biyolojik ve

antropojenik etkileri ve bunları bütünleştirebilecek kapsamlı bir toprak yapısı/toprak mimarisi oluşum, değişim ve gelişimini inceleyebilecek modellemelerin eksikliği büyük bir sorundur (Lin et al., 2008). Buna rağmen, agregatlar üzerine birçok çalışma mevcuttur (Tisdall and Oades, 1982; Vogel and Roth, 2003) ve toprak strüktürünün kantitatif karakterizasyonu için fraktal analizi önerilmiştir (Bartoli et al., 1998). Ancak, arazinin toprak strüktürünü farklı ölçeklerde akış, taşınma ve hız süreçleriyle birleştirebilecek modeller henüz yapılmamıştır (Lin et al., 2006a).

İnce tekstürlü topraklarda (kil ve killi tın) prizmatik pedalite, blok pedaliteye göre daha yüksek bir su akış hızına sahipken, orta bünyeli (kumlu killi tın ve siltli tın) topraklarda interprism gözeneklerin daha az önemli olduğu prizmatik pedalite, blok pedaliteye göre daha düşük bir su akışına sahiptir. Blok ve prizmatik pedlerdeki hidrolojik farklılıklar makrogözeneklilik ve tekstür ile ilgili olabilir. (Lin, 1999). Budak (2012)'ın yaptığı bir çalışmada Çobul serisi toprakların A horizonunda görülen tabakalı strüktürün yağışlarla gelen suyun toprağa infiltre olmasını sınırladığı ve bu sebeple suyun toprak yüzeyinde göllendiğini ve yağışlardan sonra bu suyun buharlaşarak yüzeyde tuz kabuklarının oluşumuna neden olduğu rapor edilmiştir.

Toprak strüktürü mevsim ve iklime bağlı olarak değişebilir. Skidmore and Layton (1992), üç yıllık bir sürede iki farklı toprakta agregat stabilitesinde meydana gelen mevsimsel değişmeye bakmışlar ve agregat stabilitesinin yazın sonlarına doğru en yüksek değere ulaştığını bulmuşlardır. Yarı-kurak koşullarda agregatlaşma farklı olabilmektedir. Kurak ve yarı-kurak ortamlarda solucanların faaliyetleri, karbonatlar ve çatlama olmaları strüktür oluşumunu artırabilir (Boix-Fayos et al., 2001). Boix-Fayos et al. (1998)'a göre yarı-kurak bölgelerde strüktür oluşumunun zayıflaması erozyon ve yüzey akışın artmasına neden olur ve bu da organik karbon, kil içeriği ve kation değişim kapasitesinin azalmasına sonuçlar (Bronick and Lal, 2005). Topraktaki ped ve gözenekler suyun hareketi, ısı transferi ve havalanmayı oldukça etkiler. Kurak ve yarı-kurak bölgelerde genelde yüzey altı horizonlarında prizmatik strüktür oluşumu meydana gelir (Brady and Weil, 2000).

Kıvam, topraktaki adhezyon ve kohezyon kuvvetlerinin karşılıklı etkileşiminin bir sonucu olup, toprağın dışarıdan uygulanan bir kuvvete karşı gösterdiği direncin bir göstergesidir.

Kıvam, tane büyüklüğünün yanı sıra toprağın minerolojik özellikleri ile yakından ilişkilidir (Başkan, 2004). Kıvam genellikle arazide elle belirlenir. Toprak kıvamının tanımlanmasında adhezyon ve kohezyon kuvvetleri belirleyici rol oynarlar. Yeşilsoy (1995) 'a göre *kohezyon*, yüzeyleri temas halinde olan aynı cins maddelerin arasındaki kuvvettir. Bu sebeple kohezyon toprak tanelerini bir arada tutan kuvvettir denilebilir. Kohezyon toprak nemi ile yakından ilişkilidir. Toprak nemi arttıkça kohezyon azalır. Kaba bünyeli topraklarda parçacıklar arası temas alanı az olduğundan kohezyon düşüktür (Erşahin, 2001). *Adhezyon* ise yüzeyleri temas halinde olan ayrı cins maddelerin arasındaki kuvvettir. Bu sebeple suyun katı maddeler tarafından tutulması adhezyon kuvveti sayesinde olmaktadır. Toprak taneleri etrafındaki su filminin kalınlığı arttıkça adhezyon kuvveti artar ve toprak işleme aletlerine daha çok yapışır (Erşahin, 2001).

Yeşilsoy (1995), toprak kıvamının tanımlanmasının farklı şekillerde olduğunu belirtmektedir. Kıvamın belirlenmesinde toprağın yerçekimine, basınca ve şekil verilmesine karşı davranışına; pulluk gibi aletlere yapışmasına ve gözlem yapan araştırmacının parmakları arasında bıraktığı hisse bakılır. Bu sebeplerden dolayı toprak kıvamı toprak sıkışması, parçalanması, dağılılabirlik, plastiklik ve yapışkanlık özelliklerini de içerir. Toprak doygun olduğunda akıcı bir kıvam oluşur. Toprağın su içeriği düştükçe toprak bu akıcı kıvamını kaybeder ve plastik-yapışkan bir hale gelir. Nem içeriği daha da azaldığında toprak plastikliğini kaybeder ve dağılılabir bir hale gelir. Bu noktada toprağın işlemeye en elverişli kıvamda olduğu belirtilmektedir. Toprak nemi tamamen azaldığında ise toprak sert bir hale gelmektedir. Toprakta adhezyon ve kohezyon eğrilerinin birbirini kestiği nem içeriği toprak işleme (dağılılabir kıvam) için en uygun nem durumudur (Erşahin, 2001).

Munsuz (1985), Atterberg'e göre 'kuvarsın plastiklik göstermediğini fakat mikada tane büyüklüğü azaldıkça plastikliğin arttığını' bildirmiştir. Başkan et al. (2009)'a göre Atterberg limitleri toprak fiziksel özellikleri ile ilişkilidir. Nitekim bu limitlerin toprak özellikleri ile ilişkisini ortaya koyan çalışmalar mevcuttur (Ball et al., 2000). Yapılan bazı çalışmalarda Atterberg limitleri diğer toprak özelliklerinden tahmin edilmektedir. Örneğin, (Jong et al., 1990) Atterberg limitlerini tekstür ve karbon içeriğinden tahmin etmeye çalışmışlardır. Çoğu araştırmacı kriking ve ko-kriking enterpolasyon tekniğini kullanarak toprak kıvamını tahmin etmişlerdir (Webster and Oliver, 2001). Yarı-kurak bir bölgede (Ankara-Gölbaşı) yapılan

başka bir çalışmada (Baskan et al., 2009) Atterberg limitlerinin uzaysal değişkenliği ve seçilen toprak fiziksel özellikleri arasındaki önemli ilişkiler olduğu belirlenmiştir. Toprak yüzeyinde biriken tuzlar toprak kıvamını etkiler. Yapılan bir çalışmada yüzeyde bulunan tuzların toprağı oldukça dağılgan bir kıvama getirdiği bildirilmiştir. Araştırmacı yüzey toprağının dağılabilir bir kıvamda olmasını düşük organik madde içeriği ile birleşince yüzey toprağının rüzgar erozyonuna oldukça hassas bir duruma geleceğini rapor etmiştir (Budak, 2012).

Plastiklik, toprak materyalinin uygulanan basınç altında şeklini koruyabilmesidir. Plastiklik toprak sıkışması ve toprak işleme faaliyetlerinde önemli bir husustur. Rasmussen (1976), ilkbaharda nemli koşullarda işlenen arazilerde sıkışmanın arttığı ve toprak işlemenin toprağın en üst kısmında boşluk hacmini azalttığını bildirmiştir (Başkan, 2004). Plastiklik bir toprak profilinde horizontan horizona farklılık gösterebilmektedir. Araştırmacılar (Jong et al., 1990) horizontlar arasındaki plastikliğin değişimine bakmışlar ve Ap horizonunda plastiklik üzerinde kil ve organik madde içeriğinin etkili olduğunu, B ve C horizonunda ise kilin en önemli faktör olduğunu ve kil içeriğine bağlı olarak plastikliğin değiştiğini rapor etmişlerdir. Aynı zamanda araştırmacılar kumun artmasıyla su tutma kapasitesinin azaldığı ve bu sebeple kıvam limitlerindeki suyun azaldığını da bildirmişlerdir.

Konsantrasyonlar, toprak oluşumu sırasında toprakta biriken malzemelerin özelliklerini gösteren yapılardır (Schoeneberger, 2002). Konsantrasyonlar nodülleri, konkresyonları ve akresyonları kapsamaktadır. Liu et al. (2002) 'a göre toprakta meydana gelen indirgenme süreçleri esnasında toprak matriksinde demir ve mangan bileşikleri oluşur. Bu bileşikler nodül olarak tanımlanmaktadır (Gasparatos et al., 2005). Nodüllerin rengi, şekli ve büyüklüğü hakkındaki bilgiler toprakta meydana gelen oksidasyon ve redüksiyon olayları hakkında bilgiler verir. Nodüller fazlasıyla pekişmiş, düzensiz olarak şekillenmiş ve difüze sınırları olan parçalardır. Nodül ve konkresyon terimleri birbiri ile karıştırılabilir oysaki ikiye kırılabilen konkresyonların tabakaları varken nodüller genelde üniform bir yapıya sahiptir (Durak and Kılıç, 1997). Yapısında demir ve mangan oksitleri bulunan konkresyon ve nodüller dayanıklı bir yapıya sahiptir ve uzun zaman önce ıslak koşullarda kalarak yerinde oluşmuş veya başka yerden taşınarak gelmiş olabilirler. Nodül ve konkresyonlar kesin sınırlar ile ayırt edilebilir

fakat gözlemin yapıldığı horizonta oluşmazlar. Özellikle kilin yıkandığı horizontlarda oluşurlar.

Nodül ve konkresyonlar yalnızca mevcut olan özelliklerse ve mevcut koşulları gösteren su ile doygunluk oranı bilinmiyorsa, bu gibi durumlarda nodül ve konkresyonlar redoksimorfik özellik olarak kabul edilmezler (Durak and Kılıç, 1997). Konkresyonlar içerisinde farklı elementleri barındırabilir. Aubert (1967), tarafından yapılan bir çalışmada bir profilde 100 cm'de demirli konkresyonlara rastlanmıştır (Özaytekin and Cihan, 2009). Nodüller de içerisinde farklı elementleri de barındırabilir. Örneğin, Gasparatos et al. (2005)'ın yaptıkları bir çalışmada nodüllerin içinde Pb, Cd ve Co konsantrasyonlarının, toprak matrisi içindeki konsantrasyonlarından daha fazla olduğunu bulmuşlardır. Aynı zamanda araştırmacılar nodüllerin oluşumunda demir (Fe) ve manganın (Mn) önemli bir rol oynadığını ve nodüllerin ağır metal içeren toprakların özelliklerini etkilediklerini de rapor etmişlerdir.

Toprağın üst katmanında bulunan kireç çözünerek toprağın alt katmanlarına doğru yıkanmaktadır. Toprağın alt katmanlarında nem içeriğine bağlı olarak CaCO₃ küçük kalsit kristalleri veya iğne şeklinde birikirler. Bu sürede kireç birikimi artar ve bitki kökleri veya boşluklar nedeniyle karbonat nodülleri haline dönüşürler. Bu dönüşümden sonra karbonat birikimi daha yoğun şekilde devam eder. Bu bölgelerde özellikle toprak neminin azalmasından dolayı kalsiyum karbonatlar çökmeye başlar ve kalsik horizon ortaya çıkar. Bu horizonun olduğu bölgelerde bitki kökleri ihtiyaç duyduğu suyu yatay hareketler sayesinde almaktadır. Pedojenik süreçler ve birikimler sonucu oluşan bu horizon suyun dikey olarak hareketini engellemekle kalmaz suyun kapillar yükselmesini de sınırlar (Shankar and Achyuthan, 2007). Dengiz et al. (2009), tarafından Samsun'da yapılan bir çalışmada Kayadibi toprak serisi profillerinde alt horizontlarda kireç beneklerine rastlanılmıştır. Araştırmacılar bu kireç beneklerini anamateryalin etkisine bağlamışlar ve bu renk beneklerine bağlı olarak toprak reaksiyonunun yüzeyden derinlere doğru arttığını bildirmişlerdir.

Redoksimorfik özellikler redüksiyon, translokasyon, benekler, düşük kromalı renkler ve Fe-Mn oksitlerin oksidasyonundan oluşur. Redoksimorfik özellikler mevsimsel olarak doygun topraklarda Fe ve Mn bileşiklerinin oksidasyonu ve redüksiyonu sonucu oluşur (Durak and

Kılıç, 1997). Redoksimorfik özellikler mikromorfolojik özellikler kullanılarak tanımlanabilir (Bullock et al., 1985) ve arazi de gözlem yapılarak belirlenebilir (Durak and Kılıç, 1997). Düşük kroma (<2) ve dört veya daha fazla value değerine sahip parçacıklar, demir ve mangan oksitler profil içerisinde aşağılara doğru yıkanır veya demir ve mangan oksitler kil ile birlikte de yıkanabilirler. Kil içeren düşük kromalı parçacıkların kroma değeri bitişik olduğu matriksin kromasına benzemektedir. Bu yapılar Gri Benekler ya da Gley Benekleri olarak adlandırılmıştır (Durak and Kılıç, 1997). Nitekim Kocaeli-Madendere havzasında yapılan bir çalışmada Madendere-2 profilinde 80 cm'den sonra gleyleşme-renk beneklerinin olduğu görülmüştür. Araştırmacılar bunun nedenini profilin bulunduğu topografik pozisyon nedeniyle (etek arazi) yüzey sularının burada birikmesine bağlamışlardır (Genç and Dengiz, 2015). Demir yıkanması matriks içinde ve makroporlar boyunca olabilir. Ayrıca 2'den düşük kroma değerine sahip topraklar demir yıkanma matriksi olarak kabul edilebilir (Durak and Kılıç, 1997). Bu bağlamda yarı-kurak iklimde (Orta Toroslar) kireçtaşı üzerinde oluşan topraklarda bazı elementlerin dağılımlarına bakılmıştır. Yapılan çalışmada 5 farklı toprak profili açılmış ve araştırmacılar özellikle 1 numaralı profilin demir içeriğinin çok yüksek olduğunu belirterek, demir içeriğinin yüksek olmasını profile olivin ve biyotit miktarının yüksek oluşuna ve demirin yüzey altı horizonlarda yüksek olmasını ise kimyasal ayrışma ile yüzey horizonlarından Fe (III) bileşiklerinin buraya yıkanmasına bağlamışlardır (Cihan and Özyaytekin, 2007).

Durak and Kılıç (1997)' a göre kil yıkanması ve demir yıkanması süreçleri birbirine çok benzerdir. Her ikisinin yıkanması aynı veya bitişik horizonlarda olabilmektedir. Bu yıkanma süreçleri sabit olan makroporlar boyunca veya gelişen kökler etrafında rahatlıkla gözlemlenebilir. Yapılan birçok çalışma kalın toprak horizonlarında yarı-doygun koşullarda bu sürecin oluştuğunu göstermektedir (Ransom et al., 1987; Vepraskas and Wilding, 1983). Strüktürel çatlak veya kök kanalları demir redüksiyonu için mikroorganizmalara gerekli enerji kaynağını sağlamaktadır. Kanallar boyunca demir ve manganın taşınması sonucu oluşan grimsi tabaka redoks azalması özellikle de demirin yıkandığını gösterir. Demir yıkanmasının olduğu yer redoksimorfik özelliği yansıtan ≤ 2 kromalı bir renge sahip olmalıdır (Durak and Kılıç, 1997). Kanalcıklar boyunca kilin disperse olması demir ve mangan oksitlerin taşınmasına bağlı olabilir. Suyun makroporlar içerisinde aşağıya hareketi sırasında kil su içerisinde süspanse olur ve alt horizonlara taşınır. Kil yıkanmasının olduğu makroporlar

boyunca gri kil kaplamaları genellikle mevcuttur (Durak and Kılıç, 1997). Kil ve demirin yıkanma süreçlerinde karbon gibi bir enerjiye ihtiyaç olacağından yıkanma kök kanalları ve ped yüzeylerinde oluşmaktadır

Karbon miktarı ile zengin su matriks içine girer ve burada redüksiyon koşulları oluşursa demir yıkanması toprak matriksi içinde de oluşabilir (Durak and Kılıç, 1997). Demir ve kil yıkanması için köklerin makropor boyunca büyüdüktan sonra orada çürüyüp ayrışması gerekmektedir. Aynı zamanda bu süreç genişliği 2 mm'den büyük makroporlar etrafında oluşur. Bu tip makroporlara ise bioturbasyonun az olduğu B horizonlarında rastlamak mümkündür. Bioturbasyonun çok fazla, fiziksel bozunma ve organik maddenin olduğu A horizonlarında genelde rastlanılmaz (Durak and Kılıç, 1997).

Redoksimorfik özellikler zaman, yer ve derinliğe göre farklılık göstermektedir. Bu bağlamda Tokat Çamlıbel-Yatmış köyü ve Havaalanı hidromorfik topraklarında iki profil üzerinde redoksimorfik özellikler belirlenmiştir (Durak and Kılıç, 1997). Araştırmacılar toprak profilinin su ile doymuş olduğu durumlarda redoks özelliklerin arttığını, taban suyunun düşmesi ve profilde oksidasyon koşullarının hakim olması ile redoksimorfik özelliklerin azaldığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar havaalanı hidromorfik topraklarında redoks potansiyelini Çamlıbel-Yatmış hidrometrik topraklarına kıyasla daha yüksek bulmuş ve bunun nedenini havaalanı topraklarında demir ve mangan miktarının yüksek olmasına bağlamışlardır. Aynı araştırmacılar Çamlıbel-Yatmış hidrometrik toprağının derinlik ile redoks potansiyelinin dalgalı, havaalanı hidrometrik toprağının derinlik ile genellikle artan bir şekilde gerçekleştiğini rapor etmişler ve bunun nedenini ise Çamlıbel-Yatmış toprağının ölçüm yapılan aylarda doymuş olmasına ve havaalanı toprağında oksidasyon-redüksiyon koşullarının devamlı olmamasına bağlamışlardır.

Toprakta bazı parçacıklar hemen bitişiğindeki toprak matriksinden daha düşük miktarlarda Fe, Mn ve kil içerdiğinde bu parçacıkların kroma değeri matriksten daha düşük olur. Bu yapılar ped yüzeyleri boyunca oluşan silt kaplamaları olarak tanımlanırlar ve yıkanan kil attaki horizonların ped yüzeylerinde kaplama olarak bulunur (Durak and Kılıç, 1997). Nitekim Özyatekin and Cihan (2009)'ın Orta Toroslar'da yaptıkları bir çalışmada yüzeyde kil

içeriğinin düşük, alt horizonlarda ise daha fazla olduğunu rapor etmişler ve bunun nedenini yüzeydeki killerin yeterli yağış ile alt horizonlara doğru taşınması ve yer yer kil kaplamaları şeklinde ortaya çıkmasına bağlamışlardır.

Kütanlar, pedler üzerinde, gözenek duvarlarında kaplama şeklinde ve kumlu topraklarda kil köprüleri şeklinde ortaya çıkan birikimlerdir (Dinç et al., 1987). Günal and Erşahin (2006)'ın Tokat'ta yürüttükleri bir çalışmada kil kütanlarının daha çok demir oksitlerin yaygın olduğu B horizonunda bulunduğu ve buradaki kütanların renk farklılığına neden olduğunu bildirilmiştir. Aynı çalışmada araştırmacılar derinlikle beraber ped yüzeylerindeki parlak kil kütanlarının da fazlaştığını rapor etmişlerdir. Durak and Aydın (2014) Tokat Yeşilirmak nehir terasları üzerinde oluşmuş toprakları incelemek amacıyla dört farklı profil açmışlardır. Sonuçlar havaalanı ve mera profillerinde daha fazla sarımsı kırmızımsı renk beneklerinin olduğunu göstermiş olup araştırmacılar bunun nedenini zaman zaman yükselen taban suyu nedeniyle anaerob koşulların oluşmasına bağlamışlardır. Aynı çalışmada mera profilinin kireç içeriğini tarım toprağına göre çok daha yüksek bulunmuş olup bunun nedenini araştırmacılar profilin daha ince tekstürlü olmasının neden olduğu düşük infiltrasyondan dolayı profilde yıkanmanın düşük olmasının bir sonucu olarak profilde kireç birikiminin olabileceğine ya da bu profilin kireçli ana materyale yakın olmasına bağlamışlardır. Kütanların oluşmasında farklı nedenler vardır. Bu bağlamda yapılan bir çalışmada (Özaytekin and Cihan, 2009) toprak profilleri açılmış ve bu profillerin fiziksel, kimyasal ve morfolojik özelliklerine bakılmıştır. Araştırmacılar 1 numaralı profilde hakim kil mineralinin smektit olması buna bağlı olarak da infiltrasyonun ve perkolasyonun azaldığını belirtmişlerdir. Aynı araştırmacılar bu olayın kil kütanlarının oluşması ve hacim ağırlığının artmasına neden olduğunu bildirmişlerdir. Kütanların bir çeşiti de basınç kütanlarıdır. Nitekim Dengiz et al. (2010) Çorum-Osmancık'ta çeltik tarımı yapılan bir alanda toprak profillerinin özelliklerine bakmışlardır. Araştırmacılar, Kumbaba serisi topraklarının kil içeriği % 70 olmasına rağmen kil birikiminin argillik horizon oluşturabilecek düzeyde olmadığını ancak fazla miktardaki bu kilin profil içerisinde basınç kütanlarının oluşmasına neden olduğunu rapor etmişlerdir. Aynı araştırmacılar, Çaylağındüzü toprak profilinde 22 cm'den sonra oldukça fazla renk benekleri oluştuğunu, 85 cm'den sonra ise redoksimorfik özelliklerin artması ile toprak renginin koyu yeşilimsi gri ve mavimsi griye dönüştüğünü belirterek, bunun nedenini profilin bu kısmının taban suyu etkisi altında kalmasına bağlamışlardır.

Gözenekler ve kökler; toprağın havalanma ve geçirgenliğini etkileyen önemli özelliklerdir. Gözenekler arazide el büyüteci ile belirlenebilir. Bir topraktaki gözenek, gözenek oranı, gözenek tipi, kökler ve kök tipleri toprak erozyonu ve bitki yetiştiriciliği açısından önemlidir. Topraktaki toplam gözenekliliğin azalması bitki kökleri ve havalanmayı olumsuz etkilemektedir. Ayrıca gözenekler suyun aşağı veya yanlara doğru hareketinde önemli rol oynarlar. Gözenek ve köklerin bilinmesi toprakta cereyan eden birçok süreci anlamakta yardımcı olmaktadır. Yarı-kurak bölgelerde su yetersizliği sebebiyle toprak yeterince gelişemez. Bu bölgelerde drenaj problemi olduğundan Mg, Na ve Ca tuzlarının birikmesi çok sık görülen bir olaydır. Aynı şekilde bu tip bölgelerde jips ve kireç birikimi ile oluşan tabakalar hem suyun iletimini sınırlar hem de bitkilerin gelişmesini sınırlar. Kökü daha ince ve yüzlek bitkiler, özellikle buğdaygiller, bu bölge toprakları için uygundur.

Toprak özellikleri dikey ve yatay yönde değişkenlik gösterir. Toprak renginin bir toprak profilinde dikey yönde değişiminin belirlenmesi ile farklı toprak horizonları ayırt edilmektedir (Rossel et al., 2006a). Arazide toprak horizonları toprak morfolojik özellikleri esas alınarak ayırt edilir. Toprak özelliklerinin dikey yönde değişkenliği belirlenirken toprak horizonları dikkate alınır. Toprak horizonları toprak oluşum faktörlerinin baskın etkisine göre değişiklik gösterirler. Örneğin, toprak oluşumunda iklimin etkisinin baskın olduğu yağışlı bölgelerde oluşan horizonlar, kurak bölgelerde oluşan horizonlara göre daha farklıdır. Yağışlı bir bölgede suyun etkisi ile toprak oluşum süreçleri hızlı olduğundan buralarda A, B ve C horizonları görülürken kurak ve yarı-kurak bölgelerde suyun yetersiz olması sebebiyle horizonlar genelde A ve C horizonu ile sınırlı kalmaktadır. Karbonatlar, genellikle topraktan evaporasyon ile su kaybının yoğun olduğu yarı-kurak iklimlerde, yağış yetersizliği nedeniyle toprak profilinden uzaklaştırılmadığı durumlarda profilde birikirler (Gunal, 2001). Kalsik ve petrokalsik horizonlar toprakta magnezyum ve kalsiyum karbonatların birikmesi sonucu oluşur. Bu tip birikimler genelde karbonatların çözünmesi veya yer değiştirmesi sonucu oluşmaktadır (West et al., 1988). Karbonat ve bikarbonatların toprak yüzeyinden yıkanarak yüzey altında kalsiyum ile birlikte çökelmeleri sonucunda kalsik horizonlar oluşur. Yarı-kurak bölgelerde kalsik horizonlara sahip topraklar yaygın bir şekilde görülmektedir (Sobecki and Wilding, 1982). Budak (2012)'ın yarı-kurak bölgede yer alan Niğde' de yaptığı bir çalışmada yağışların olduğu dönemde toprağın ıslanması nedeniyle kalsiyumun profilin alt kısımlara doğru yıkandığı, ped yüzeylerinde ve gözeneklerde biriktiği rapor edilmiştir. Aynı çalışmada

araştırmacı, zamanla çözünen tuz ve kirecin toprak profilinin altı kısımlarında birikip sertleşerek çimentolaştığını ve bunun sonucunda petrokalsik horizonun oluştuğunu bildirmiştir.

Toprak yüzeyinden profilin alt katmanlarına doğru yıkanan tuz ve kirecin biriktiği derinlik, toprağın su tutma kapasitesine, toprak tekstürüne, geçirgenliğe ve toprak içine sızan su miktarına bağlıdır (Amit et al., 2010). Bu sebeple bir arazi üzerinde tuz ve kirecin birikmesinde farklılıklar vardır. Bazı bölgelerin kurak dönemlerinde suda çözünebilir tuzların bir kısmı kapılar yükselme ile toprak yüzeyine tekrar çıkarak burada birikirken, kireç ve kil yıkandıkları derinlikte birikirler. Meydana gelen bu süreçler sonucunda alt katmalarda kalsiyum karbonatça zengin bir kalsik horizon oluşmaktadır. Killerin toprak profilinde hareket edebilmesi için yağışın yüksek olması gerekmektedir. Yağışın yetersiz olduğu yarı-kurak iklimlerde kil birikerek argillik horizonun oluşmasına neden olmaktadır (Khadkikar et al., 2000). Budak (2012), Niğde 'de yaptığı çalışmada kil birikimi ile oluşan argillik horizona rastlanmıştır. Araştırmacı bunun nedenini jeolojik dönemlerde meydana gelen iklim salınımlarına bağlamıştır. Aynı zamanda araştırmacı argillik horizonlarda görülen prizmatik ve blok strüktür yerine kolumnar strüktürün oluştuğunu tespit etmiş, bunun nedenini ise sodyumun disperse edici etkisine bağlamıştır. Birçok araştırma sonucu da bu sonucu destekler niteliktedir (Miller and Brierley, 2011; Taboada, 2003).

İlluviyal bir horizon olan petrokalsik horizon ikincil karbonatların veya kalsik horizonun sertleşmesi ile oluşur. Petrokalsik horizona kireçle birlikte çimentolayıcı madde olarak SiO₂'de bulunabilir ve genelde bu horizonun 10 cm'den fazla bir kalınlığı vardır. Petrokalsik horizon burgu ve kürek ile işlem yapılamayacak kadar sert bir horizondur (Staff, 1993). Budak (2012)'in yaptığı çalışmada arazideki petrokalsik horizonların parçalanabildiği yerlerde bu katmanın altında daha kaba tekstürlü toprakların olduğunu rapor etmiştir. Araştırmacı bu toprakların elektriksiz iletkenliklerinin çok düşük olduğunu ve bunun da sert katmanların geçirimsiz olduklarının bir göstergesi olduğunu bildirmiştir. Aynı çalışmada araştırmacı Kızılca toprak serisinde tuz birikiminin temel nedenini tuzların profilden uzaklaşmasını engelleyen petrokalsik horizon olduğunu, tuz içeriğinin petrokalsik horizonun hemen altında bulunan katmanlarda birikmemiş olmasını da buna bağlamıştır. Araştırmacı

son olarak petrokalsik horizonun alt ve üstünde tanımlanan iki horizonta fazla sayıda yatay porların olduğunu ve suların bu porlar sayesinde yatay hareket edebileceklerini yorumlamıştır.

Yağışlı dönemlerde kireç toprak profilinden aşağılara doğru yıkanır fakat petrokalsik horizonun varlığı nedeniyle daha derinlere inemez. Bu durum üst katmanlarda kireç miktarının azalması petrokalsik horizonta kireç miktarının artmasına neden olmaktadır. Gunal (2001) karbonatların biriktiği bu derinliği ıslanma mesafesi olarak tanımlamıştır. Aynı zamanda yıkanma derinliği olarak da bilinen ıslanma mesafesi arazinin topografyasına ve toprak tekstürüne bağlı olarak da farklılık göstermektedir. Birçok araştırmacı petrokalsik horizonun suyun dikey hareketini engellediği ve bu sebeple suyun yatay hareket ederek tabakalı bir yapının oluştuğunu rapor etmişlerdir (Duniway et al., 2007; Shankar and Achyuthan, 2007).

Bir toprak profilinde horizonların kalınlıklarındaki farklılıklara bağlı olarak gözlenen horizon sınırları da genelde geçişli bir durum sergiler. Bu farklılık regolit, toprak suyu, bitki örtüsü, topografya ve arazi kullanımındaki farklılıktan kaynaklanmaktadır (Brady and Weil, 2000). Toprak işlemedeki farklılıklar, gübreleme ve sulama programları da toprakların arazi boyunca değişmesine neden olurlar (Dick et al., 1996). Regolit bileşiminin üniform (yeknesak) olduğu yerlerde toprak ana materyale benzerlik gösterir. Regolit uzun mesafelerden su, rüzgar ve buzulların etkisiyle taşınarak kendisine benzemeyen bir madde üzerinde birikmiş olabilir. Böyle durumlarda bir toprak altında yer alan materyalden çok daha farklı olabilir (Brady and Weil, 2000). Mikroorganizma, bitki kökleri ve yaprakların yoğun olduğu en üst horizon bitkisel kökenli organik atıkların ayrışması sonucu oluşmuştur ve rengi diğer horizonlara göre daha koyudur bu sebeple üst toprak katmanları organik madde bakımından zengindir ve bu horizon A horizonu olarak adlandırılır (Sposito, 1989).

Kurak ve yarı-kurak iklimlerde oluşmuş bazı topraklarda A horizonu daha az organik madde içerebilir. Bu durumda ana materyalin orijinal yapısı bozulmuş veya çeşitli etmenlerle değişime uğramış olabilir (Dinç and Şenol, 2009). A horizonunun altında demir ve alüminyum oksitler, kil mineralleri, jips ve kalsiyum karbonat birikebilir. Bu katmanda biriken maddeler ya üstündeki horizontan yıkanarak taşınmışlardır ya da ayrışma süreçlerinin

etkisiyle yerinde oluşmuş olabilirler. Bu katmanlar B horizonu olarak adlandırılır (Brady and Weil, 2000).

Uşul and Dengiz (2014)'in aluviyal bir arazide yaptıkları çalışmada organik maddenin etkisiyle A horizonunun value değerinin düşük olmasına rağmen, ana materyalin kireççe zengin marn olması nedeniyle derinlere doğru özellikle C horizonunda value değerlerinin yüksek olduğu gözlenmiştir. Aynı araştırmacılar toprakların aynı iklim ve ana materyalden oluşmalarına rağmen yüzey ve yüzey altı akıştaki farklılıkların farklı horizonlar oluşmasına neden olduğunu rapor etmişlerdir. Toprak horizonları oluşurken buldukları ana materyal ve iklimden etkilenirler. Örneğin, Rabenhorst et al. (1982) 'ın siltli serpantin üzerinde oluşan topraklarda yaptıkları bir çalışmada, bu toprakların değişebilir magnezyum oranı yüksek olduğu için zayıf bir B horizonunun oluştuğunu rapor etmişlerdir. Topografyadaki farklılıklar da horizonların kalınlığına etki edebilir. Yapılan bir çalışmada A horizonunun konkav (iç bükey) tepe-eğim arazilerde en kalın, omuz ve etek kısmında ise en ince olduğu bildirilmiştir (Pennock and De Jong, 1990).

Yüzey altı tanımlama horizonlarının belirlenmesi ile amenajman ve sulama hakkında çözüm önerileri getirilebilir. Örneğin, Tunçay et al. (2010)' ın Kırşehirde yaptıkları bir çalışmada, yarı-kurak bölgelerdeki horizonların özellik kazanmasında yağışların yetersiz ve düzensiz olmasından dolayı kalsik (calcic) ve cipsik (gypsic) horizon oluşumu gözlenmiştir. Araştırmacılar bu horizonların olumsuz etkilerinin yarı-kurak bölgelere uyumlu bitkilerin seçilmesi ile belirli bir dereceye kadar giderilebileceğini belirtmişlerdir. Bazı toprak özellikleri yüzeyaltı horizonlarında fazla değişkenlik gösterebilmektedir. Budak (2012)'ın yaptığı bir çalışmada, Acir ve Çobul serisi toprak özelliklerinin yüzey topraklarının daha homojen bir yapı sergilerken yüzeyaltı horizonlarının toprak özelliklerine ait değişkenliğin daha fazla olduğunu bildirmiş ve bunun nedeninin toprak yüzeyinin vertisollerde olduğu gibi gilgai topografyasına benzer yamalı bir topografyaya sahip olmasından ileri geldiğini öne sürmüştür. Toprakta bulunan mevcut mineraller horizondan horizona farklılık göstermektedir. Bu bilgilerin ışığında tarım alanlarında uygun ve yeterli gübreleme yapılabilir. Godfrey and Riecken (1954) Amerika'da yaptıkları bir çalışmada 5 adet toprak profili açılmış ve profillerde horizonların fosfor içeriklerine bakılmıştır. Araştırmacılar A horizonunda toprak

fosforun azaldığını ve B horizonunda A ve C horizonlarına göre daha az fosforun bulunduğunu rapor etmişlerdir.

2.4.2 Toprak Tekstürü

Toprak tekstürü, toprakta meydana gelen birçok fiziksel ve kimyasal süreci yönlendiren en önemli toprak fiziksel özelliğidir. Tekstür; hacim ağırlığı, gözeneklilik, gözenek-büyüklik dağılımı, su tutma kapasitesi ve hidrolik iletkenlik gibi toprağın birçok özelliğini etkiler (Gassel, 1982). Toprakta suyun tutulması ve hareketi toprak tekstürü tarafından kontrol edilmektedir. Bouma (1989)'ya göre tekstürün toprakta su akışı ve kimyasal taşınmasında çok önemli etkisi vardır. Tekstür toprakta su akışı ve kimyasal taşınmanın yanı sıra, başlangıç nem içeriği, pedalite ve toprağın makro gözenekliliğini de etkileyen bir özelliktir (Lin, 1999). Tekstürdeki önemli husus büyük parçaların ayırt edilmesidir çünkü büyük parçaların ayırt edilmesi analizlerin tam olarak doğru olabilmesi için gereklidir (Alexander and Orbach, 1982). Tekstür ve iri taneli parçalar topraktaki suyun hareketi ve depolanmasında önemli rol oynar (Lin, 1999).

2.4.3. Toprak Suyu

Toprak suyu içerisinde mineral tuzlar ve organik maddeler çözünmüş halde bulunmaktadır. Toprak suyunun içerisinde çözünmüş kimyasallar olmasına rağmen toprağın sıvı fazı toprak suyu olarak tanımlanmaktadır (Kırda and Sariyev, 2002). Bir toprağın suyu tutma ve salıverme özelliği toprağın hidrolik özelliklerine göre belirlenebilir. Toprakların hidrolik özelliklerinin kullanılması ile topraklarda su hareketini sayısallaştırmak mümkündür (Klute, 1982). Tarımsal üretimde toprak suyunun bitkiler tarafından alınma, derinlere perkole olma veya toprak yüzeyinden buharlaşma ile kayıpları söz konusudur. Bu sebeple toprak suyunun bitki gelişimi açısından optimum seviyede tutulması gerekmektedir.

Jeoistatistiksel yöntemler tarım ve doğal topraklar üzerinde toprak hidrolik özelliklerin yüzeydeki değişimlerini anlayabilmek için kullanılmaktadır. Jeostatistiksel yöntemler ile

toprak hidrolik özelliklerinin arasında yüksek değişkenlik (% 100-400) gösterdiği bulunmuştur (Bagarello, 1997; Johnston et al., 2009). Tarımsal alanlarda olduğu kadar ormancılık uygulamalarında da toprak hidrolik özelliklerin uzaysal değişkenliği önemli etkilere neden olur (Bormann and Klaassen, 2008). Tuli et al. (2001) 'a göre uzaysal değişkenliğe sahip toprak hidrolik özellikleri kendisi gibi uzaysal değişkenliğe sahip toprak hidrolik parametrelerce tanımlanabilir (Kutlu, 2005). Toprak hidrolik özelliklerinden özellikle akış ve taşınma süreçlerinin arazi ölçekli uygulamaları için uzaysal değişkenliğin uygun şekilde karakterize edilmesi çok önemlidir. Bu sebepten ötürü doymamış topraklarda basınç yükü ve göreceli hidrolik iletkenlik arasındaki parametreler, doymuş hidrolik iletkenliğin modellenmesi ve doymamış hidrolik iletkenliğin denklemini stokastik çerçeve içinde değerlendirmek en uygun olanıdır (Hopmans et al., 2002). Yeraltı suyunun yeniden dolması (recharge), yüzey akışı, evapotranspirasyon, vadoz bölgede kirlenici ve çözeltilerin taşınması, doymuş ve doymamış akışın modellenmesi ve bunların uzaysal değişiminin mutlaka çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Doymamış bölgelerdeki su miktarı, doymuş ve doymamış hidrolik iletkenlik ve toprak tekstürünün uzaysal değişkenliği ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır (Webster, 1985).

Pedalitenin toprak hidrolik özelliklerine etkisi akış yolları ve taşınma süreçlerinde kendini gösterir. Ancak bu etkilerin miktarının belirlenmesi için, pedallitedeki niceliğin belirlenmesine yönelik uygun bir araç bulunmaması nedeniyle daha zordur. Pedalite toprak hidrolik özelliklerine yüzeyden etki eden en güçlü özelliktir (Lin et al., 2008). Örneğin, tekstür ve başlangıç nem içeriğine bağlı olarak prizmatik pedaliteye sahip topraklar blokvari pedaliteye göre daha yüksek ya da çok düşük sabit infiltrasyon oranına sahiptirler (Lin, 1999). Toprak nem değişimi özellikle şişme/büzülme gösteren topraklarda toprak pedallitesini değiştirebilir ve su hareketinin bu gibi durumlarda matematiksel modellenmesi zorlaşır (Lin et al., 2008).

Toprak hidrolik özelliklerin uzaysal değişkenliğini analiz ve karakterize etmek için ölçeklendirme yaklaşımı uzun süredir kullanılmaktadır (Bhatti et al., 1991; Bouma et al., 1996). Ölçeklendirmenin amacı setleri bütün olarak tanımlayan ölçekleme faktörlerini kullanarak fonksiyonel ilişkilerin setlerini tek bir eğri içinde bütünleştirmektir (Kutlu, 2005). Bu yaklaşımdaki temel düşünce Miller'in mikroskobik geometrik benzerlikler teoreminden yararlanarak geliştirilmiştir. Miller and Miller (1956) 'e göre meydana gelen süreçler, verilen

bölgedeki hidrolik özellikleri rasgele seçilmiş referans noktasındaki ortalama özelliklerle ilişkilendirmek ve ölçekleme faktörlerinin kullanılmasından sorumludur (Kutlu, 2005). Miller'ın geliştirdiği bu yöntemde gözenekli materyal içinde viskoz akış kanunu temel alınmakla birlikte farklı bölgelerde yer alan toprakların hidrolik özelliklerini önemli derecede etkileyen gözenek hacmi ile geometrik yapısının aynı olduğu kabul edilmektedir. Ancak varyogram analizi ve krigleme gibi yöntemlerin herhangi bir temel fiziksel teoriye dayanmamasından dolayı gözlemlenen olaylara ilişkin herhangi bir açıklama yapılamaz (Kutlu, 2005). Bunun yerine, Webster (1985)'e göre otokorelasyona sahip değişken, uzaysal otokorelasyonun olduğu maksimum mesafe içindeki uzaysal değişkenlik deseni basit olarak ortaya koyar (Kutlu, 2005). Vauclin et al. (1994)'e göre toprak hidrolik fonksiyonların her biri uzaysal farklılaşabilen ve interkorelasyona sahip en az beş parametre gerektirmektedir. Bundan dolayı Miller ve Miller ölçeklemesi operasyonel anlamda stokastik modelleme için önemli avantajlar sağlamaktadır (Kutlu, 2005).

Toprak hidrolik özelliklerinin uzaysal değişimi çoğunlukla ya kuru toprakta su tutma özelliklerini ya da doymuş ve doymamış hidrolik iletkenlik üzerinde yoğunlaşmıştır (Burden and Selim, 1989; Nielsen et al., 1973). Akışlar genelde doymuş hidrolik iletkenlikten daha az olduğundan doymuş hidrolik iletkenliğin değişimi doymamış bölgedeki yıkanma üzerinde önemsiz bir kontrol sağlar ve kuru ortamlarda su akışı ve çözelti taşınması ihmal edilebilir (Hutson and Wagenet, 1991). Tüm bu sebeplerden dolayı son yıllarda tansiyometre kullanılarak bozulmamış toprak örneğinde doygunluğa yakın hidrolik iletkenliğin uzaysal değişkenliğine odaklanılmıştır (Wilson and Luxmoore, 1988).

Toprak hidrolik özellikleri zamanla değişkenlik göstermektedir ve toprak işleme toprak hidrolik özelliklerinin zamansal değişkenliğine en büyük etkendir (Klute, 1982). Bu bağlamda yapılan bir çalışmada, (Ehlers, 1977) podzolik bir toprakta sıfır toprak işleme ve farklı toprak işleme yöntemlerinin toprak hidrolik özelliklerine etkisine bakılmıştır. Araştırmacılar $34 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ 'den daha yüksek su içeriklerinde hidrolik iletkenliğin, işlenmiş toprağın 10-20 cm'inde işlenmemiş toprağın hidrolik iletkenliğine göre daha yüksek olmasına rağmen düşük su içeriklerinde toprak suyunun yayılmasının işlenmiş toprağın 10-20 cm derinliğinde işlenmemiş olandan daha yüksek bulmuşlardır. Araştırmacılar bunun nedenini toprak

işlemenin toprağın makro-gözenekliliğini tahrip ederek yüksek su içeriklerinde toprağın hidrolik iletkenlik değerini düşürmesine bağlamışlardır (Erşahin, 2001).

Toprak hidrolik özelliklerine dayalı yapılan benzeştirme (simülasyon) çalışmaları toprak işlemenin yapıldığı arazilerde, toprak işleme yapılmayan arazilere göre önemli olduğunu göstermiştir. Toprak hidrolik özellikleri benzeştirme çalışmalarına dahil edilmemesine rağmen toprak yönetimi toprak hidrolik özelliklerinin değişmesindeki önemli bir nedendir (Van Es et al., 1999). Toprak yüzeyine ulaşan suyun bir kısmı derinlere sızarak drenaj ile kaybolur. Yağışlı bölgelerde bu şekilde toprağa sızan suyun yaklaşık olarak %50'si kaybolabilir. Yağışın yetersiz olduğu bazı dönemlerde derine sızan suyun bir kısmı kapillar (kılcal) yükselme ile bitki kök bölgesine tekrar gelerek bitkiler için yararlı hale gelir. Su yetersizliğinin olduğu yarı-kurak bölgelerde bu yükselme oldukça önem taşımaktadır (Erşahin, 2001).

Kapillar kuvvetler toprak neminin önemli bir aralığında faaldirler. Kapillarite ile suyun çıkışı ince bünyeli topraklarda daha fazla olur. Kapillarite genellikle yukarı yönde bir hareket olmasına karşın, toprak gözenekleri ve su arasındaki çekimler dikey gözeneklerde olduğu gibi yatay gözenekler boyunca da olabileceğinden toprakta suyun kapillar hareketi bütün yönlerde gerçekleşir (Brady and Weil, 2000). Toprak profilinin farklı derinliklerindeki su içeriği suyun hareket yönü hakkında bilgi vermez. Topraklarda suyun hareketi, tutulması ve bitkiler tarafından alınması gibi süreçlerin tamamı suyun enerjisi ile ilgilidir. İki bölge arasındaki su hareketi tamamen suyun enerjisine bağlıdır ve hareketin olması için enerji azalması gerekmektedir. Toprak suyu enerjisinin yüksek olduğu bölgeden düşük olduğu bölgeye doğru hareket eder (Kırda and Sariyev, 2002).

Topraklarda suyun hareketi yavaş olduğundan toprak suyunun kinetik enerjisi genellikle ihmal edilir. Toprak suyunun potansiyel enerjisi toprak suyunun potansiyelini belirleyen asıl enerjidir (Brady and Weil, 2000). Suyun topraktan bitki köklerine, köklerden bitki sapına, bitki sapından yapraklara ve yapraklardan buharlaşarak kaybolmasında etkili faktör iki noktada yer alan suyun potansiyel farkıdır. Su topraktan absorbe edilecekse bitki köklerindeki suyun potansiyel enerjisinin toprak suyunun potansiyel enerjisinden daha düşük olması

gerekmektedir. Bu süreçte suyun potansiyel enerjisindeki fark başlıca yönlendirici kuvvet olmaktadır (Erşahin, 2001). Toprak suyu enerjisini etkileyen üç önemli kuvvet vardır. Bunlar; i) adhezyon, ii) osmatik basınç ve iii) yer çekimidir. Adhezyon, parçacık yüzeyleri yakınında suyun enerjisini azaltır. Osmotik basınç, toprak çözeltisinde suyun enerjisini azaltma eğilimindedir. Yer çekimi ise, suyu her zaman aşağı doğru çeker (Brady and Weil, 2000). Toprak suyu potansiyeli çeşitli kuvvetler sebebiyle oluşmaktadır. Bu bileşenler, yer çekimi potansiyeli (Ψ_g), basınç potansiyeli (Ψ_p), matrik potansiyel (Ψ_m) ve osmotik potansiyel (Ψ_o)'dir.(Erşahin, 2008).

Toprak su içeriği hidrolojik döngü ve bitki gelişimi gibi alanlarda toprağa uygulanacak su miktarının belirlenmesinde önemli bir kriterdir. Toprakların 0.33 ve 15 bardaki su içeriğinin bilinmesi hidrolojik çalışmalar açısından önemlidir (Erşahin, 2001). Burden and Selim (1989), toprak nemini 0.005, 0.01, 0.03, 0.1 ve 1.5 mPa basınçlarda incelemişlerdir. Araştırmacılar uygulanan basınç miktarı arttıkça toprak nemi için varyasyon katsayısının da arttığını bildirmişlerdir. Toprakların tarla kapasitesi ve solma noktasındaki nem içerikleri toprak işleme ile değişmektedir. Bu bağlamda yapılan bir çalışmada toprak işleme sistemlerinin toprak hidrolik özellikleri ve ürün verimi üzerine etkisine bakılmıştır (Husnjak et al., 2002). Araştırmacılar kışlık buğday sezonunda hacim ağırlığı ve su tutma kapasitesi bakımından toprak işleme sistemleri arasında farkın önemli olmadığı fakat soya fasulyesi döneminde bazı toprak işleme sistemleri arasındaki farkın önemli olduğunu rapor etmişlerdir.

Topraktaki su hareketi iki farklı ölçekte düşünülebilir. Bireysel toprak gözeneklerindeki su hareketi mikroskobik ölçektir ve matematiksel olarak tanımlanması çok güçtür. Çünkü toprakta değişik boyutlarda ve çeşitlerde gözeneklerin niceliksel olarak değerlendirilmesi oldukça zordur. Bunun aksine toprağın belirli bir kesiti içinden geçen su hareketi ise makroskobik ölçektir ve bu hareket matematiksel olarak tanımlanabilir (Kırda and Sariyev, 2002). Toprakta su hareketinin üç çeşidi bilinmektedir. 1) doymuş akış; 2) doymamış akış ve 3) su buharı hareketi. Bahsedilen bütün akışlarda su yüksek bir potansiyelden düşük su potansiyeline doğru hareket eder. Toprak gözenekleri su ile dolu olduğunda doymuş akış gerçekleşir. Toprakta büyük gözeneklerin hava dolu olması durumunda küçük gözenekler suyu iletir ya da tutar bu da doymamış akıştır. Kuru topraklarda su buharı basınç farklılıkları oluştuğunda da su buharı hareketi gerçekleşir (Brady and Weil, 2000). Toprak hidrolik

özellikleri toprak-su ilişkilerini en iyi tanımlayan fiziksel özelliklerdir. Hacimsel su tutma kapasitesi (Θ) ile su potansiyeli (h) arasında ilişkiyi belirten su tutulması, hidrolik iletkenlik (K) ve su miktarı veya potansiyeli (Ψ) arasındaki ilişkiyi gösteren hidrolik iletkenlik en önemli özelliklerin başında yer alır. Toprak-suyunun modellenmesinde en önemli özellik toprak hidrolik özellikleridir (Minasny and McBratney, 2002).

Arazi çalışmaları toprakların hidrolik özelliklerinde farklılaşmanın olduğunu göstermektedir. Uzaysal değişkenlik toprak profilinin doğru bir şekilde tanımlanmasını ve temsil edilmesini zorlaştırır. Yapılan birçok çalışmada değişkenliğin nitelendirilmesinde infiltrasyon, su akışı ve taşınma süreçlerinin de modellerin içine dahil edilmesinin uygun olacağı bildirilmiştir (Kutlu, 2005). Arazi ve laboratuvar koşullarında toprak su hareketinin belirlenmesi mümkündür (Klute and Dirksen, 1986; Van Genuchten and Nielsen, 1985). Özellikle toprak su hareketinde büyük uzaysal farklılıkların görüldüğü vadoz bölge çalışmaları son derece önemlidir. Vadoz bölge, bitki kök bölgesi ile yeraltı suyu tablası arasındaki yarı-doygun bölgedir. Bu bölgede meydana gelen hidrolojik süreçler ve etkileşimleri son derece önemlidir (Erşahin, 2008). Vadoz bölgenin özellikleri ve toprak suyunun özellikleri vadoz bölgede cereyan eden süreçleri etkileyen iki faktördür. Bunlar yanında vadoz bölgenin tekstürü, strüktürü, kalınlığı, kil mineralleri gibi özellikler de toprak suyu davranışını etkiler (Klute and Dirksen, 1986).

2.4.4 Doymuş Akış

Tarla koşullarında özellikle taban suyunun altındaki alanlarda oluşan su hareketleri doymuş koşullarda gerçekleşmektedir. Toprakta doymuş koşullarda su hareketi sırasında toprakta hapsolmuş hava kabarcıkları olabilir ve bunların oranı toplam gözenek hacminin % 5-15 arasında olması gerekir. Bu sebeple doymuş su akışı tanım olarak tam da doymuş koşullar altında olmamaktadır (Kırda and Sariyev, 2002). Doymuş topraklarda su akışını tanımlayabilmek için Darcy (1856) tarafından geliştirilen Darcy yasası kullanılmaktadır. Darcy teorisinde hidrolik iletkenlik (K) ve su kapasitesi (C) içeriği olmak üzere iki temel hidrolik fonksiyon vardır (Erşahin, 2001). *Hidrolik iletkenlik*, su içeriği fonksiyonu [$K(\Theta)$] veya toprak suyu yükü [$K(h)$] 'in bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Diğer bir ifade ile

hidrolik iletkenlik toprağın birim kesit alanından, birim yük farkı altında ve birim zamanda geçen su miktarıdır (Erşahin, 2001).

Toprak gibi gözenekli ortamlarda R_e kritik değerlerden daha küçük olduğu için hidrolik eğim ile akış arasındaki ilişki doğrusaldır. Geniş gözenekli bir sistemde akış hızı arttıkça doğrusal olmayan laminar akış nedeniyle enerjinin önemli bir kısmı kaybolur. Bu sebeple hidrolik potansiyel eğim akış miktarında daha az etkili duruma geçer (Munsuz, 1985).

Darcy yasasından sapmalar akış bölgesinin diğer tarafında yani küçük gözeneklerde ve düşük eğimlerde meydana gelebilir. Killi toprakların düşük eğime sahip olması düşük akışa veya akışın durmasına sebep olur. Bunun nedeni ise toprak tanelerine yakın olan suyun adsorptif kuvvet alanı içerisinde bulunması ve normal sudan daha katı bir yapı göstermesidir (Hillel, 1982).

Darcy kuralına göre doymuş hidrolik iletkenlik birim hidrolik eğim altında su akışına dik olan gözenekli ortamın birim kesit alanından birim zamanda geçen su miktarıdır (Klute, 1982). Doymuş hidrolik iletkenlik tarımsal amaçlı drenaj sorunlarının çözülmesinde ve toprakların su iletim kapasitesi arasındaki farkların belirlenmesinde büyük rol oynadığından çok önemli bir özelliktir. Kumtaşı gibi katı ve sabit strüktürlü doymuş ortamdaki hidrolik iletkenlik karakteristik olarak sabittir. Hidrolik iletkenlik kumlu bir toprakta 10^{-2} - 10^{-1} cm/sn ve killi bir toprakta da 10^{-4} - 10^{-7} cm/sn değerlere ulaşabilir (Munsuz, 1985).

Toprak gözenek büyüklüğü ve dizilimini etkileyen her faktör hidrolik iletkenliği de etkilemektedir. Toprak gözeneklerinde toplam akış hızı çapın dördüncü kuvveti ile orantılıdır. Çapı 1-mm olan bir gözeneğin içinden geçen akış 0.1-mm çaplı 100 gözeneğin kesit alanı, 1-mm gözeneğin aynı kesit alanını verdiği halde çapı 0.1-mm olan 10.000 gözenekteki akışa eşittir. Bu bağlamda makro gözenekler (>0.04 mm) doymuş toprak koşullarında en fazla su hareketini sağlayan gözeneklerdir. Kök kanalcıkları ve solucan kanalları (>1 mm) gibi biyo-gözeneklerin varlığı doymuş hidrolik iletkenlik üzerinde önemli etkisi vardır (Brady and Weil, 2000).

Toprakların hidrolik iletkenliğinin bilinmesi kil tipi, toprak sıkışması, toplam gözeneklilik, gözenek büyüklük dağılımı, tekstür ve strüktür gibi toprak özellikleri hakkında fikir yürütülmesine imkan verir (Öztekin et al., 2007). Doymuş hidrolik iletkenlik aynı zamanda infiltrasyon hızının tahmin edilmesi, akış, erozyon, kimyasal taşınması gibi süreçleri tahmin ederek ürün performansını ve çevreyi etkileyebilir (Öztekin and Erşahin, 2006). Doymuş hidrolik iletkenlik değeri tarım topraklarında büyük uzaysal değişkenlik göstermektedir (Nielsen et al., 1973). Bu bağlamda Tokat'ta yapılan bir çalışmada (Öztekin and Erşahin, 2006) doymuş hidrolik iletkenlik laboratuvarında değişken ve sabit su yükleri yöntemiyle, işlenen ve işlenmeyen komşu arazilerden örnekleme yapılarak ölçülmüştür. Araştırmacılar işlenen arazide doymuş hidrolik iletkenlik için varyansı 10.3, işlenmeyen arazide ise 4.2 bulmuşlar ve aradaki bu farkın işlenen arazide tarla trafiğinden kaynaklı toprak sıkışmasına ve toprak işleme sonucu hacim ağırlığının değişmesine bağlamışlardır. Doymuş hidrolik iletkenlik son derece dinamik bir toprak özelliğidir (Lin et al., 2005b). Doymuş hidrolik iletkenlik arazi kullanımı, amenajman uygulamaları, mevsimsel değişimler ve doğal etkiler sebebiyle zamansal olarak değişebilir. Yapılan bir çalışmada (Zhou et al., 2008), belirli bir toprak serisi için ve farklı arazi kullanımları (ormanlık, mera ve kentsel) arasındaki doymuş hidrolik iletkenliğin zamansal değişimine bakılmıştır. Araştırmacılar, yüzey toprağındaki hidrolik iletkenliğin zamansal değişiminin, toprak serileri ve farklı arazi kullanımından kaynaklanan değişimden daha büyük olduğunu ortaya koymuştur. Araştırmacılar ormanlık alanda Ekim ayında ölçülen hidrolik iletkenliğin, diğer arazi kullanım türlerinden çok daha yüksek olduğunu bildirerek, bunun nedenini ise ormanlık alandaki yüksek C içeriğinden dolayı fazla makro gözenek oluşumuna bağlamışlardır.

Bird et al. (1996)'a göre, benzer morfolojik özelliklere sahip toprakların hidrolik özellikleri aynı olmayabilir (Özcan and Akbulak, 2016). Lin (1999)'in yaptığı bir çalışmada toprak morfolojik özelliklerinden toprak hidrolik özelliklerinin tahminine bakılmıştır. Araştırmacılar toprak morfolojik özelliklerinin sayısallaştırılması için geliştirilen PTF'lerden toprak hidrolojik özelliklerinin tahminini yapmışlar, toprak hidrolojisinin sayısallaştırılmasında pedalitenin çok önemli olduğunu rapor ederek, temel bileşenler analizine göre pedalitenin doymuş hidrolik iletkenlik ve makropor hacmi için belirleyici değişken olduğunu bildirmişlerdir. Kanada'da yapılan başka bir çalışmada (Coen and Wang, 1989), toprak morfolojik özellikleri kullanılarak doymuş hidrolik iletkenliğin tahmini yapılmıştır.

Araştırmacılar yapılan analizler sonucu morfolojik gözlemlerin pedon ölçeğinde doymuş hidrolik iletkenlik tahmini için yeterli olduğunu ve tahmin değerlerinin %83'ünün ölçülen doymuş hidrolik iletkenlik ortalamalarının içinde olduğunu rapor etmişler ve doymuş hidrolik iletkenlik değerinin toprak serisi kavramı ile ilişkili olduğunu ve haritalama yapılırken ekstrapolasyonda başarı sağlanacağını bildirmişlerdir.

İnce bünyeli topraklara göre kumlu toprakların doymuş hidrolik iletkenlikleri daha yüksektir. Bunun nedeni kumlu toprakların fazla makro-gözeneklere sahip olmasıdır (Brady and Weil, 2000). Bu bağlamda Çanakkale'de yapılan bir çalışmada (Özcan and Akbulak, 2016) hidrolik iletkenlik tekstür ilişkisi ve bir toprak profili boyunca hidrolik iletkenliğin değişimine bakılmıştır. Araştırmacılar özellikle yüzey altı katmanlarda tekstürle hidrolik iletkenlik arasında gözenek boyutuna bağlı olarak doğrusal bir ilişki olduğunu, yüzey katmanında ise bu ilişkinin yer yer olduğunu bildirmişler ve bu farkı uygulanan amenajman yöntemleri, arazi kullanım türü ve organik madde içeriğinin farklı olmasına bağlamışlardır.

Doymuş hidrolik iletkenlik toprak tekstürü ve gözenek özelliklerini çok iyi yansıtan fiziksel özelliklerden biridir. Ordu'da (Aşkın, 2010) doymuş hidrolik iletkenlik ile killi tekstüre sahip topraklarda path analizi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Araştırmacı doymuş hidrolik iletkenliğin (K_s) organik karbon içeriği ve boşluk oranı ile pozitif; kil içeriği ve tarla kapasitesi ile negatif ilişkilerin olduğunu bildirmiş ve toprakların kil içeriği ve boşluk oranının doymuş hidrolik iletkenliği etkileyen en önemli özellikler olduğunu vurgulamıştır. Bu bağlamda yapılan başka bir çalışmada (Mallants et al., 1996) van Genuchten parametreleri ile doymuş hidrolik iletkenliğin uzaysal değişimine bakılmıştır. Araştırmacılar en yüksek değişkenlik katsayısını (CV) 10 cm'de % 599, 30 cm'de % 322 ve 90 cm derinlikte % 897 bulmuşlar ve yüksek değişkenliği makroporların varlığına ve örnekleme hacminin küçük olmasına bağlamışlardır. Doymuş hidrolik iletkenlik ve toprak tekstürü ile ilgili Erzurum'da yapılan başka bir çalışmada (Canpolat and Anapalıcı, 2011), üç farklı tekstürdeki topraklarda doymuş hidrolik iletkenlik testleri sabit seviyeli permametre ile yapılmış olup, A uygulaması olarak 48 saat ölçüm, B uygulamasında ise 4 saat ölçüm yapılmıştır. Araştırma sonunda araştırmacılar A ve B uygulamaları arasında çok önemli düzeyde ($p < 0.01$) fark bulmuşlar ve A uygulamasında toprak tekstürü inceldikçe potansiyometrik yükün artışı ile birlikte doymuş

hidrolik iletkenliğin azaldığını, B uygulamasında ise tekstüre bağlı olmaksızın potansiyometrik yük artışının doymuş hidrolik iletkenliği etkilemediğini rapor etmişlerdir.

Doymuş hidrolik iletkenlik ve toprak fiziksel özellikleri arasındaki ilişkinin belirlenmesine yönelik Samsun'da yapılan bir çalışmada (Gülser and Candemir, 2008), otuz farklı toprak örneğinde sabit yük metodu ile doymuş hidrolik iletkenlik ölçülmüştür. Araştırmacılar doymuş hidrolik iletkenliğin silt, kum ve hacim ağırlığı ile doğru, kil ve toprak nemi ile ters orantılı olduğunu rapor ederek, hacim ağırlığı artışı ve kil içeriğinin azalması ile doymuş hidrolik iletkenlik değerinde önemli bir artış olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar bunun nedenini kum ve silt içeriğinin artmasıyla hacim ağırlığının düşmesi ve toplam gözeneklilikte makro gözenek oranının artmasına bağlamışlardır (Hillel, 1982).

Toprak hidrolik özellikleri dikey ve yatay yönde değişmektedir. Trangmar et al. (1985) 'a göre Atterberg limitleri, parçacık büyüklük dağılımı ve hacim ağırlığı %10-53, hidrolik iletkenlik ise % 50-100 arasında değişim göstermektedir. Sobieraj et al. (2002), yüksek kil içeriğine sahip bir katena boyunca doymuş hidrolik iletkenliğin değişimini incelemek üzere bir transekt boyunca 20, 30, 50 ve 90 cm derinliğinde doymuş hidrolik iletkenliği ölçmüşlerdir. Araştırmacılar, doymuş hidrolik iletkenliğin 25m'ye kadar uzaysal bağımlılık gösterdiğini bildirmişlerdir. Değişkenliğe dair yapılan başka bir çalışmada (Mallants et al., 1996), katmanlı bir toprakta toprak hidrolik özelliklerinin değişimine bakılmıştır. Araştırmacılar, yapılan analizlere göre doymuş hidrolik iletkenlik için varyasyon katsayısının çok yüksek olduğunu ve arazi boyunca çok fazla değişkenlik gösterdiğini rapor ederek, hidrolik özelliklerin uzaysal bağımlılığının 4-7 m arasında seviyede değişkenlik gösterdiğini belirtmişlerdir (Yetgin, 2004). Güneydoğu Amerika sahil toprakları arazi ölçeğinde hidrolik özelliklerin yatay ve dikey uzaysal değişiminin haritalama birimleri ile ilişkisinin belirlenmesi amacıyla bir çalışma yürütülmüştür (Duffera et al., 2007). Araştırmada toprak tekstürü, tarla kapasitesi, solma noktası ve doymuş hidrolik iletkenlik gibi toprak fiziksel özellikleri ölçülmüş ve varyogram analizi sonucu tekstür, tarla kapasitesi ve solma noktasının birinci kategoride; hacim ağırlığı, gözeneklilik ve doymuş hidrolik iletkenlik değerlerinin ise ikinci kategoride tanımlanmışlardır. Araştırmacılar birinci kategorideki özelliklerin arazideki değişkenliğin çoğunu tanımlamakta yeterli olduğunu ve haritalama birimleriyle yakalanabilen uzaysal yapıyı gösterdiğini; ikinci kategorideki özelliklerin ise arazide uzaysal olarak

ilişkilendirilemeyeceğini ve de toprak haritalama birimleri ile ilişkisinin olmadığını bildirmişlerdir (Sağlam, 2008).

Doymuş hidrolik iletkenlik toprak nemi, toprak neminin depolanması, drenaj, akış ve taşınma üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. Bu sebepten, doymuş hidrolik iletkenliğin uzaysal ve zamansal ölçekte değişkenliğinin bilinmesi ekosistemdeki hidrolojinin anlaşılmasında oldukça önemlidir (Holländer et al., 2009). Avustralya’da yapılan bir çalışmada (Gwenzi et al., 2011), yapay bir ekosistem üzerinde doymuş hidrolik iletkenliğin uzaysal değişimine bakılmış olup farklı yöntemler ile doymuş hidrolik iletkenliği ölçülmüş ve uygulanan yöntemler arasında önemli farklar bulunmuştur. Araştırmacılar bunun nedenini ölçüm ölçeğindeki farklar, akış geometrisi ve hesaplama kaynaklı olduğuna bağlamışlardır.

Tepe-eğim ölçeğinde en fazla değişen ve en önemli parametre doymuş hidrolik iletkenliktir. Bu bağlamda, Amerika’da yapılan bir çalışmada tepe-eğim bir arazide Guelph permametrosi ile ölçülen doymuş hidrolik iletkenlik ile küçük ölçekte ölçülen doymuş hidrolik iletkenlik değerleri kıyaslanmış ve araştırmacılar küçük ölçekte bulunan doymuş hidrolik iletkenlik değerinin Guelph permametrosi ile ölçülen değerden daha düşük olduğunu rapor etmişlerdir (Brooks et al., 2004). Tepe-eğim ölçeğindeki arazinin durumu su depolanmasını etkiler (Tomer et al., 2006) ve bu durum da toprak hidrolik özelliklerinin etkilenmesine neden olur. Arazi durumu ve doymuş hidrolik iletkenlik arasındaki ilişkinin incelenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada (Jiang et al., 2007), araştırmacılar ayak eğimdeki kil ve organik madde içeriğinin arttığını ve bu sayede toprakların su kaybını telafi ettiğini bildirmişlerdir. Ekili bir tepe-eğim arazide, farklı gerilimlerde topoğrafyanın hidrolik iletkenliğe etkisi ve zamansal değişkenliğinin bulunması amacıyla yapılan bir çalışmada (Heddadj and Gascuel-Oudou, 1999), hidrolik iletkenliğin tüm gerilimlerde özellikle Haziran ve Nisan aylarında parmak eğimde (toeslope) omuz eğime (shoulder) göre 2-3 kat azaldığı bulunmuştur. Araştırmacılar bunun nedenini yağış yoğunluğunun dağılımına bağlayarak, hidrolik iletkenliğin zamansal ve uzaysal değişimlerinde toprak strüktürünün oldukça önemli olduğunu bildirmişlerdir.

Arazinin toprak hidrolik özellikleri ve amenajman arasındaki ilişki toprak-su koruma sistemlerinde önemlidir. Yapılan çalışmalar farklı amenajman uygulamalarının toprak nemi,

organik madde ve kil içeriğinin uzaysal dağılımını etkilediğini destekler niteliktedir (da Silva et al., 2001). Amenajman ve arazi durumu etkileşiminin araştırıldığı bir çalışmada (Jiang et al., 2007), araştırmacılar tepe-eğim ölçeğindeki arka eğimin (backslope) amenajmandan en fazla etkilenen katman olduğunu bulmuşlardır ($p < 0,001$). Araştırmacılar bunun nedenini arka eğimin en fazla aşınmış katman olduğunu ve daha ince bir üst toprak tabakasına sahip olmasına bağlamışlardır. Doymuş hidrolik iletkenlik ile amenajman uygulamalarının etkisinin araştırıldığı başka bir çalışma da (Azooz et al., 1996), doymuş hidrolik iletkenliğin işleme yapılmayan alanlarda, kulaklı pullukla işlenen alanlara göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. Araştırmacılar bunun nedenini makro-gözeneklerin işleme aletleri ile bozulmasına bağlamışlardır. Yapılan bir diğer çalışma da (Seobi et al., 2005), doymuş hidrolik iletkenliğin kalıcı bitkilerin olduğu yerde sıra arası bitkilere göre daha yüksek olduğu bulunmuş ve araştırmacılar bunun nedenini bitki köklerinin gözenek ağı oluşumunu etkilemesine ve makro-gözenek akışı artırmaya bağlamışlardır.

2.4.5 Doymamış Hidrolik İletkenlik

Bitki kök bölgesinde meydana gelen toprak-su akış süreçlerinin birçoğu doymamış koşullarda meydana gelir. Doymamış akış boyunca suyun miktar ve durumu devamlı bir değişme gösterdiğinden bu akışın anlaşılması karmaşık ve güç bir olaydır. Suyun miktarındaki bu değişimler histerisis, eksi basınç ve ıslaklık arasında karmaşık ilişkilere neden olur (Munsuz, 1985). Ayrıca doymamış topraklarda, makro-gözenekler hava ile dolu olup, mikro-gözeneklerde su vardır ve su hareketi bu gözeneklerde meydana gelir (Brady and Weil, 2000). Doymuş topraklarda pozitif basınç potansiyelinden kaynaklanan yük su akışına neden olurken, doymamış topraklarda negatif atmosferik basınç su akışına neden olur (Kutlu, 2005). Matrik potansiyeldeki farklılık, doymamış koşullarda esas itici kuvvettir. Doymamış koşullarda suyun hareketi kalın su filmlerinin bulunduğu yüksek matrik potansiyele (-1 kPa) sahip topraktan, ince su filmlerinin bulunduğu düşük matrik potansiyele (- 1000 kPa) sahip topraklara doğru olur (Brady and Weil, 2000). Doymuş ve doymamış akış arasındaki fark hidrolik iletkenlikte ortaya çıkar. Doymuş toprakta bütün gözenekler su ile dolu olduğundan hidrolik iletkenlik maksimum seviyededir fakat doymamış toprakta bazı gözenekler hava ile dolu olduğundan iletkenlik buralarda azalır (Munsuz, 1985).

Doymamış hidrolik iletkenliğin tanımlanabilmesi için topraklardaki makro ve mikro gözenek dağılımı, yüzey gerilimi, ıslanma açısı, su yoğunluğu, vizkozite ve toprağın bütün fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir (Kırda and Sariyev, 2002). Doymamış hidrolik iletkenlik $K(\theta)$ veya $K(\psi)$ 'in doğrudan belirlenmesine alternatif olarak kolay ölçülebilir toprak özelliklerini kullanan dolaylı metotlar geliştirilmiştir. Bu veriler toprak tekstürü, organik madde ve hacim ağırlığı gibi toprak özelliklerini hidrolik iletkenlik ile ilişkilendirerek tane boyutu dağılımı veya toprak su tutma eğrisi ile ilgili teorik temele dayalı modeller için bir alt yapı oluşturabilir (Minasny and McBratney, 2002). Doymamış koşullarda akış ve çözelti taşınması, su tutma karakteristiklerini ve doymamış hidrolik iletkenliği temsil etmek için kapalı yapıda fonksiyonlar kullanılır. Yaygın olarak kullanılan fonksiyonların bazıları, Gardner-Russo modeli, Brooks-Corey modeli ve van Genuchten modelidir (Kutlu, 2005).

2.4.6 Su Buharı Hareketi

Ani ve şiddetli rüzgarlar toprak yüzeyindeki hava ve su buharının toplu halde hareketine (kitle hareketi) yol açmasına rağmen toprak profilinde buhar hareketi genelde difüzyon ile meydana gelir. Doymamış toprağın gaz fazında su buharı her zaman bulunduğu için toprak içinde buhar basınç farkı oluştuğu zaman buhar difüzyonu meydana gelir (Munsuz, 1985). Toprakta akış esnasında buharlaşma ve difüzyon gibi süreçlerden dolayı toprak suyunun sıvı hareketini buhar hareketinden ayırmak oldukça güçtür. Normalde bu iki süreç birbirinden bağımsız hareket eder fakat günlük sıcaklık değişimlerinin çok az olduğu kök bölgesindeki su hareketi içerisinde buhar difüzyonunun ihmal edilebilecek düzeyde olduğu kabul edilir (Klute and Dirksen, 1986). Toprakta içsel ve dışsal olmak üzere iki çeşit su buharı hareketi vardır. İçsel su buharı hareketi, toprak içinde veya toprak gözeneklerinde olurken, dışsal hareket arazi yüzeyinde evaporasyon ile oluşur. Topraklarda su buharı düşük tuz içeriği olan kısımdan daha yüksek tuz içeriği olan kısma hareket eder. Tuz, su buharı basıncını düşürür ve onu çevreleyen topraktan suyun hareketini teşvik eder (Brady and Weil, 2000).

2.4.7 Tercih Akı

Tercih akı toprağın matriksi (dokusu) ile fazla etkileşmeden toprakta bazı yolları kullanarak hızlı bir şekilde ilerleyen su hareketini ifade eden bir terimdir. Tercih akı genellikle A ve B horizonlarında yer alan çapları 0.1 mm'den daha büyük yapılardır. Ayrıca tercih akı makroporlarda hızlı hareket eden akı (makropor akı), funneling (suyun belirli gözeneklerde toplanarak hareketi) ve fingering (suyun dengesiz şekilde toprak içinde ilerlemesi) süreçleri tarafından oluşturulabilir (Helling, 1991; Li and Ghodrati, 1994). Çoğu zaman tercih akı makropor akı ile karıştırılmaktadır oysaki makropor akı tercih akının bir tipidir ve tercih akıyı tanımlamakta yetersiz kalmaktadır (Nieber and Warner, 1991).

Dünya da yapılan çeşitli araştırmalar uzaysal ve zamansal ölçeklerde tercih akışın önemini ortaya koymuştur. Ormanlık nemli alanlarda yüzey akışı (overland flow) sınırlı iken tercih akışın varlığı hemen hemen her yerde görülmektedir (Lin et al., 2006b; Sidle et al., 2001). Tercih akı üzerine yapılan bu çalışmalar bir alanda akış süreçlerinin anlaşılmasında tercih akının anahtar faktör olduğunu göstermektedir (Weiler et al., 2005; Zhou et al., 2008). Aynı zamanda tercih akı akış yollarını, biyokimyasal süreçlerin kritik noktalarını ve bu süreçlerin momentlerini de inceler (Shapiro et al., 2001). Lin et al. (2008)'a göre farklı pedolojik özellikler arazi gözlemleri ile birleştiğinde olası bir tercih akının göstergesi olabilmektedir. Bu özellikler arasında; i) toprak strüktür özellikleri (pedalite, makro gözenekler ve kaygan zeminler gibi); ii) redoks özellikler (ıslak tabakalar ve suyun düzensiz hareketi); iii) su kısıtlayıcı toprak katmanı; ve iv) litolojik kesiklikler (partikül büyüklük dağılımındaki önemli değişikliklerin akış süreçlerini de etkilemesi). Bouma (1989) tarafından tercih akının ölçümünün yapılması için basit bir alan tekniği geliştirilmiştir. Bu teknik killi topraklarda yağmur yoğunluğu/miktarı ve başlangıç toprak nem içeriğinin bir fonksiyonu olarak geliştirilmiştir. Mevcut fiziksel yöntemlerle küçük gözeneklerin tercih akıya etkisi ölçülemezken deneysel olarak bu gözeneklerin tercih akıya olan etkisi çok büyüktür (Lin et al., 2008).

Roth et al. (1991), bir toprak profili boyunca tercih akı ve süreçlerini üç rejimde önermiştir. Bunlar; 1) tercih akının başlatıldığı çekim bölgesi içinde yatay akışın dağılımı; 2) suyun tercih akış yolları boyunca hareket ettiği ve toprak matriksinin önemli bir bölümünü bypass

geçtiği transmisyon bölgesinde eğim aşağı akış; 3) dağılım bölgesinde yatay ve aşağı doğru olan yerde tercihi akış yolları kesilir ve su akışı tekrar üniform hale gelir. Bu model birçok toprak profilinde dikey tercihi akışın genel karakteristiklerine uygulanır ve daha önce tartışılan hidrolik iletkenliğin toprak derinlik fonksiyonu ile de uyumludur (Lin et al., 2008). Tanımlanan bu üç bölge horizon bazında karakteriz edilebilir. Çekici bölge A horizonuna denk gelir ve bitki köklerinin yoğun olduğu, yüksek biyokütle yüzeyi temsil eder. İletim bölgesi B ve C horizonlarına denk gelir ve çekici bölgeden daha düşük biyokütleyle sahiptir (Rodriguez-Cruz et al., 2006). Dağılım bölgesinde ise toprak-ana materyal ara yüzünde veya suyun kısıtlı olduğu alan üzerinde nem ve zengin besin nedeniyle yatay akış veya engelleyici (impeded flow) akış meydana gelir (Buss et al., 2008).

Yeraltı yatay akış, yağmur suyu akışının oluşması (Alaoui et al., 2011), tercihi akışın incelenmesi ve besin akışlarının değerlendirilmesi için yaygın olarak kabul edilmiştir (Yu et al., 2014). (Hopp and McDonnell, 2009; Mirus and Loague (2013))'a göre tepe-eğim ölçeğinde yeraltı yatay akışın oluşumunu ve dağılımını doğrudan gözlemlemek zamansal dinamikler ve uzaysal heterojenite ile sınırlı kalmaktadır. Tepe-eğim ölçekli hidropedolojik süreçleri anlayabilmek için vadoz bölge hidrolojisini kapsayan matematiksel modeller geliştirilmiştir (Yu et al., 2014). Amerika-Pensilvanya Devlet Üniversitesi çalışma alanında tepe-eğim ölçeğindeki tercihi akışı simule (benzeştirme) etmek için çalışma yürütülmüştür. Çalışmada fiziksel temelli Penn State Integrated Hydrologic Model (PIHM) kullanılmıştır. Bu model doygun koşullar altında makrogözenekler içindeki akışa izin verirken, toprak matriksinin su tutma kapasitesini koruyarak makrogözeneklerdeki akışın bir kısmını temsil etme özelliğine sahiptir. Bu çalışmada araştırmacılar toprak verilerini farklı durumlarda tanımlanmıştır: durum 1 toprak verileri uniform ve tek toprak tipi, durum 2 toprak verileri makropor etkisi ile birlikte, durum 3 hidropedolojik toprak özellikleri. Araştırmacılar durum 1'de modelin akış süreçlerini simule etmede güçlük çektiğini, durum 2'de giriş-çıkış koşullarında tepeden akışın simule edilmesinde yeterli bir sonuç bulunduğunu ve durum 3 için yeraltı su seviyelerinin tahmininde iyi sonuç verdiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar durum 3'ün (hidropedolojik veriler) modele eklenmesi ile toprak hidrolik özelliklerinin uzaysal dağılımı, yeraltı akış tahmini ve tepe-eğim ölçeğinin modellenmesinde gelişme sağladığını vurgulamışlardır (Yu et al., 2014). Hutchinson and Moore (2000)'a göre bireysel tercihi akışlar genellikle kısa ve kesikli olmasına rağmen birçok tepe-eğim modelinde hızlı tercihi

akış gözlenmiştir. Suyun tercihi akış ağları içerisinde taşınma mekanizması henüz çok iyi bilinmemesine rağmen doygun toprak ve tercihi akış özellikleri arasında bağlantılı olduğu varsayılmaktadır (Sidle et al., 2001).

Sidle et al. (2000)'a göre tepe-eğim modelindeki toprak suyunun yatay ve dikey dağılımından dolayı toprak nem içeriğinin arttığı ve nem içeriğinin artmasına bağlı olarak tercihi akışın ve yeraltı akış özelliklerinin etkilendiği varsayılmaktadır. Yapılan birçok çalışma dinamik yeraltı akışın başlangıç nem içeriği, yağış yoğunluğu, yağış miktarı, topografya ve tercihi akış ağlarının fiziksel özellikleri tarafından etkilendiğini göstermektedir (Sidle et al., 2000; Uchida et al., 2006; Weiler et al., 2005).

Tercihi akışın tepe-eğim modelinde modellenmesinde tek borulu (kanal) sistemler geliştirilmiştir (Anderson et al., 2009). Başarılı bir modelleme sisteminde sistem dinamiklerinin ve bunları etkileyen süreçlerin çok iyi anlaşılması gerekmektedir (Sidle, 2006). Tepe-eğim modelinde doğal ve sabit durum koşulları altında tercihi akı hızlarının hesaplanması için tracer (izci) element ölçümleri yapılmıştır (Beckers and Alila, 2004). İzci element olarak klor ve brom uygulamaları örnek gösterilebilir. Kanada'da doğal ve sabit durum koşulları altında yeraltı akış hızı ve akış oranının eğim uzunluğundan etkilenip etkilenmediğini anlamak için NaCl uygulaması yapılmıştır. Araştırmacılar tepe-eğim modelindeki tercihi akışın aynı hidrolik iletkenlikte olduğu gibi çok fazla değişken olduğunu da belirterek, tercihi akış hızının mesafe arttıkça arttığını, hızın en yüksek olduğu mesafeyi 30 m olarak kaydetmişlerdir. Aynı zamanda araştırmacılar tepe-eğim modelindeki tercihi akış hızındaki değişikliğin yeraltı akış hızını etkileyen önemli bir faktör olduğunu bildirmişlerdir (Anderson et al., 2009).

Tepe-eğim ölçeğindeki yeraltı akış hızını belirleyebilmek için toprak nemi ve yağış koşulları, başlangıç koşulları ve gözenek su basıncı arasındaki ilişkiyi çok iyi anlamak gerekmektedir (Anderson et al., 2009). Genel bir bakış açısı olarak yatay tercihi akış ağları toprak nemi veya yüksek su tablası seviyesi arttığında artar ve bu olayda tepe-eğim modelinde daha hızlı yeraltı akışlarına neden olur. Toprak nemini etkileyen önemli faktörler ve hız arasındaki ilişkiler tercihi akış ağlarının özellikleri ile ilişkilidir. (Sidle et al., 2000).

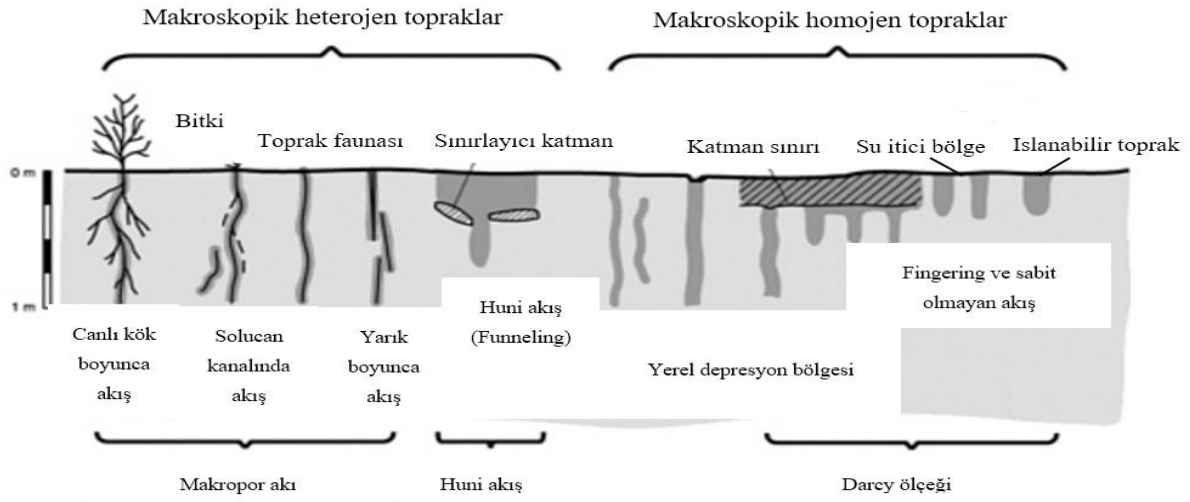
Anderson and Rogers (1987)'a göre tepe-eğim modelinde tercihi akış yollarının uzaysal ve zamansal değişkenliğinin bilinmesi hidrolojik modeller ve onların pratikteki uygulamaları için güçlü sonuçlar doğurmaktadır (Sidle et al., 2001). İspanya'da yarı kurak bir alanda tercihi akışın küçük ölçekli (infiltrasyon) akıştan büyük ölçekli (yeraltı şiddetli akış) akışa olan etkisine bakılmıştır. Araştırma sonunda araştırmacılar tepe-eğim hidrolojisinin ince bir matris ve makropor alanından oluşan ve kendine özgü akış karakteristikleri olan fakat toprak matriksi ve makropor nem içeriği ile etkileşime giren bir yapısı olduğu sonucuna varmışlardır. Aynı zamanda araştırmacılar tercihi akışın yeraltı akışa %13-80 oranında değişen bir katkısı olduğunu bildirmişlerdir (Van Schaik et al., 2008).

Tepe-eğim ölçeğindeki tercihi akış karakteristikleri yeraltı akış hızını etkilemektedir. Tıpkı hidrolik iletkenlik gibi, tercihi akış yolları ve özellikleri çok değişkendir. Tercihi akış iklim, toprak özellikleri, fiziksel/kimyasal süreçler ve topografyadan etkilenir (Tsuboyama et al., 1994). Benzer tekstür özelliklerine sahip topraklarda suyun hareketi toprak strüktürüne bağlı olarak değişebilir. Birbiriyle bağlantılı büyük gözenekler tercihi akış için geçit görevi görerek toprağın doygunluk veya doygunluğa yakın su içeriklerinde önemli miktarlarda kimyasal veya gübrelerin bu geçitler içerisinde hızlı bir şekilde hareket ederek kısa sürede yeraltı suyuna karışmasına neden olurlar (Erşahin, 2001). Diğer taraftan killi bir bünyeye sahip topraklarda kil mineralleri kimyasal ve gübreleri tabakaları arasına hapsederek yeraltı sularına karışmasını engeller. Bu sebepten kil içeriği yüksek topraklarda daha fazla kimyasal tutunacağından yeraltı suyuna kimyasalın karışması azaltılmış olur. Su tutma kapasitesinin düşük hidrolik iletkenliğin yüksek olduğu kumlu topraklarda kimyasal veya gübrelerin yeraltı suyuna karışması daha hızlıdır. Dolayısıyla kumlu toprakların altında yer alan akiferlerin kirlenme riski daha yüksektir (Helling, 1991).

2.4.8 Makropor Akı

Çoğu kez makropor akı yanlışlıkla tercihi akının yerine kullanılır. Makropor terimi toprakta biyolojik veya diğer süreçlerle oluşmuş, çapları 0.1-mm'den daha büyük olan yapıları belirtir (Ahuja et al., 1993). Makroporlar toprakta buldukları yer itibariyle farklı kaynaklardan oluşabilirler. Organik maddece zengin bir A horizonunda biyolojik olarak oluşan tüp şeklinde

(solucan kanalı, kök kanalı) makroporlara rastlanırken, aynı toprağın B horizonunda daha çok fiziksel olarak oluşan yarık ve çatlak şeklindeki yapılar görülür (Erşahin, 1999b). Makroporların sayısı, sürekliliği, büyüklüğü ve şekilleri yeraltı su kirliliğinin tahmininde oldukça önemlidir (Jarvis, 2007) (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 Farklı tercihi akıların şematik gösterimi Hendrickx and Flury (2001)'den uyarlanmıştır.

Toprak makrogözenekleri çatlaklar, sedimentler arası boşluklar, hayvan yuvaları ve ölü kökler tarafından oluşturulan kanalcıkları kapsar. Hidrolojik fonksiyonel bakış açısıyla bakıldığında bu özellikler genelde bypass akıya neden olur (Lin et al., 2008). Bazı araştırmacılar akış fonksiyonunun temelinde makroporların boyutlarına göre yani akışın kılcal kuvvete tabi olup olmasına göre tanımlamışlar, bazıları ise morfolojik uygulamalara dayanarak makroporları tanımlamışlardır. Hem morfolojik hem de fonksiyonel tanımlamalar birleştirilerek hem daha anlamlı hem de daha kapsamlı bir tanımlama yapılmaktadır (Lin et al., 2008). Makro gözeneklerin infiltrasyon ve kimyasal taşınma süreçlerindeki önemi son otuz yıldır incelenmiştir. Makroporların infiltrasyon süreçleri, kimyasal taşınması ve diğer kirliticileri yeraltı suyuna hızlı bir şekilde iletmek gibi önemli etkileri vardır (Beven and Germann, 1982). Toprağın makrogözenekliliğinin hacimce % 0.05 olduğu varsayılmıştır ve bunların yarısı sürekli yarısı ise süreksizdir (Ahuja et al., 1993).

Toprak matriksi su-giriş basıncını aşması ile ara yüzeydeki bazı noktalarda meydana gelen su basıncının etkisiyle su makrogözenekler içerisinde akmaya başlar. Su makroporlar içine girmeye başladığında su akışında ani bir artma meydana gelir fakat bu toprak-su basıncında küçük bir artışa tekabül eder (Jarvis, 2007). Makroporların kimyasalların taşınmasına etkisi özellikle toprak su ile doymuş olduğunda ya da toprak üzerinde su göllenmesi meydana geldiğinde son derece önemlidir. Makroporlar toprak hacminin küçük bir kısmını teşkil eder ancak kimyasal taşınmanın önemli bir kısmı burada meydana gelir. Makroporlar içinde hareket eden kimyasalların beklenenden daha kısa sürede yeraltı suyuna ulaşması, yeraltı suyunun daha hızlı kirlenmesine neden olmaktadır (Ahuja et al., 1993). Şişen killi toprakların akış ve taşınma karakteristikleri mevsimsel ıslaklık ile yakından ilişkilidir. Bu yüzden killi toprakların doymuş ve yarı-doymuş hidrolik iletkenlikleri makrogözeneklilik ve nem içeriği ile ilgilidir (Messing and Jarvis, 1990).

Makroporların boyutu, sürekliliği ve yüzey alanı gibi fiziksel özellikleri dışında kimyasal ve biyolojik özellikleri de oldukça önemlidir. Makroporlar toprakta canlı biyolojik noktalardır ve kısmende olsa oksijen ve besin ihtiyacını sağlarlar çünkü canlı kökler tercihen makrogözeneklerde büyümeye meyillidirler (Jarvis, 2007). Pankhurst et al. (2002)'a göre makroporlara sahip topraklarda karbon içeriği, mikrobiyal biyokütle, biyolojik aktivite ve karbon girişi fazla olmaktadır (Jarvis, 2007). Yapılan çalışmalar da bunu destekler niteliktedir (Mallawatantri et al., 1996). Doymuş akış koşulları altında bile su makrogözeneklerde nadiren doludur, bu da bireysel akış yollarının oluşmasına neden olur. Bu durumlarda makrogözeneklerin hepsi su temini için yol oluşturamaz ve bu nedenle ölü noktalar meydana gelir (Mallawatantri et al., 1996).

Jarvis (2007)'in yaptığı bir çalışmada, topraktaki yüksek organik madde içeriğinin dengesiz makropor akışının azalmasına neden olduğunu bulunmuştur. Araştırmacı bunun nedenini organik maddenin sebep olduğu strüktürel büyümeyi sabitlediği, ayrıca ayak eğim ve depresyon bölgelerinde organik maddece zengin toprakların olmasına bağlamıştır.

Profil ölçeğinde makropor akış mekanizmasının anlaşılabilmesi için yapılan çalışmalar akış ve taşınmanın horizon morfolojisinin kontrolünde olduğunu gösterir. Flury et al. (1994)'in

tarım toprağında yaptığı bir çalışmada makropor akışın her horizon için farklılık gösterdiğini belirtmiş ve bu farklılığın da profillerin strüktürel gelişimlerine ve tekstürdeki değişime bağlanmıştır. Yapılan başka bir çalışmada Kulli et al. (2003), altı toprak profiline boya uygulaması yapılarak makropor akış gözlenmiştir. Araştırmacılar uygulama sonucunda dengesiz taşınma ve topraktaki yatay karışımın horizonların tekstürü tarafından kontrol edildiğini rapor etmişlerdir. Horizonlar arasında makropor akış farklılığının belirlenmesine yönelik yapılan başka bir çalışmada Ersahin et al. (2002), Thatuna siltli tın toprağına brom uygulaması yapılmıştır. Araştırmacılar B_w horizonundaki makroporlar nedeniyle bromun taşınmasında bir düzensizlik olduğunu ve A ve B_w horizonunda meydana gelen makropor akışın alttaki E horizonu tarafından nispeten kontrol edildiğini belirtmişlerdir.

Tepe-eğim ölçeğinde hidrolojik süreçlerin kontrolünde topografya güçlü bir faktördür. Tepe-eğim ölçeği hidrolojisi ile ilgili birçok çalışma olmasına rağmen, tarımsal alanlarda yapılan çalışmaların çok az bir kısmı makropor akışın kontrolünde topografya faktörünü ele almıştır (Jarvis, 2007). Bu bağlamda yapılan bir çalışmada, Zehe and Flüher (2001), tepe-eğim ölçeğinde farklı eğimlerde brom ve boya uygulaması yapılmıştır. Araştırmacılar güçlü makropor akışın, daha ince tekstürlü ve solucanların daha aktif olduğu nemli ayak eğimlerde meydana geldiğini bildirmişler ve bunun nedenini de ayak eğimde herhangi bir toprak işleme yapılmadığı için solucan kanallarının oluşmasına bağlamışlardır.

Makropor akının katena konseptinde incelenmesine dair yapılan bir çalışmada Conacher and Dalrymple (1977) ise, eğim aşağı bölgelerde yatay hareketin olduğu yerlerde makropor akışın muhtemelen daha fazla olduğunu bildirilmiştir (Holden, 2009). Tunus'ta tepe-eğim ölçeğinde, yarı-kurak killi toprağına sahip bir arazide yapılan çalışmada makropor akının anlaşılabilmesi için boya uygulaması yapılmıştır. Araştırmacılar zirve (top slope)'nin daha az derin çatlak ve yarığına sahip arka eğime göre, makropor akıya daha fazla hassas olduğunu bildirmişler ve bunun nedenini yüzeysel akışın ince materyalleri taşımamasından dolayı makroporların tıkanarak akışın azalmasına bağlamışlardır (Öhrström et al., 2002). Bu çalışmanın aksine, yapılan bir çalışmada Gutierrez et al. (1997), daha dik eğimli alanlarda daha az makroporun olduğu, ayak ve parmak eğimlerde ise makroporların daha yaygın olduğu bildirilmiştir.

Makroporların miktarı ile işlevselliği arasında ayırım yapmak çok önemlidir. Makroporların varlığı mutlaka bir hidrolojik fonksiyonun olacağı anlamına gelmez. Fonksiyonel makrogözeneklilik, makroporlarda hareket halindeki suyun göreceli hacmini toprak matriksi ile kıyaslayarak açıklar. Diğer bir deyişle fonksiyonel makroporlar suyun taşınması, işlevsel makroporlar ise makro gözenek boyunca suyun akış oranıdır. Yapılan çalışmalarda bu iki unsur mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır (Holden, 2009).

Çeşitli makropor tipleri vardır ve bunlar arasında makropor akının artma eğilimi en fazla vughlardadır. Yapılan bir çalışmada makropor akı; vugh<kanalcıklar<kırıklar<paket void olarak sınıflandırılmıştır (Lin, 1999). Teksas'ta 96 toprak horizonunda yapılan bir çalışmada Lin (1995), infiltrasyon oranı ölçülerek makropor akış bölgesinin karakteristikleri belirlenmiştir. Araştırmacılar makropor akışta toprak strüktürünün toprak tekstürüne göre daha etkili olduğunu vurgulamışlardır. Yapılan başka bir çalışmada sıfır tansiyonda sabit durum infiltrasyon hızının, killi tekstüre ve iyi gelişmiş strüktüre sahip toprakların makrogözeneklerinde en hızlı, zayıf strüktürlü olan killi topraklarda ise en düşük olduğu belirtilmiştir (Lin, 1999).

2.4.9 İnfiltrasyon Hızı

İnfiltrasyon, suyun toprağa girişi olarak tanımlanır. İnfiltrasyon hızı veya infiltrasyon kapasitesi ise toprağın birim yüzeyinden birim zamanda toprak profiline giren suyun hacmi olarak tanımlanır (Hillel, 1982). İnfiltrasyon hızı, toprağın yüzey koşulları, başlangıç su içeriği, hidrolik iletkenlik, toprak tekstürü, strüktür ve hacim ağırlığı gibi özelliklere bağlı olarak değişebilir (Hillel, 1982). Dunne et al. (1991)'a göre infiltrasyonu etkileyen önemli faktörler; yağış karakteristikleri (yağış yoğunluğu, yağış periyodu, damla büyüklüğü), toprak karakteristikleri (tekstür, strüktür, derinlik, başlangıç nem içeriği, kil minerolojisi ve toprak yüzey özellikleri), bitki örtüsü ve arazi kullanımıdır. Belirtilen özellikler ve infiltrasyon kapasitesi arasındaki ilişkiler şekilde gösterilmiştir

Bir bölgede yağış hızı toprağın infiltrasyon kapasitesinden fazla ise, su toprak yüzeyinde birikir ve eğim aşağı Horton yüzeysel akış meydana gelir. İnfiltrasyon hidroloji, sulama, tarım

ve çevre çalışmalarında önemli bir toprak özelliğidir (Valiantzas, 2010). İnfiltrasyon yalnızca toprağa suyun girişini kontrol etmekle kalmaz, yeraltı suyuna olan perkolasyonu ve akış süreçlerini de kontrol eder (Moore et al., 1981). Aynı zamanda infiltrasyon, yeraltı suyunu kirleten bileşenlerin kontrol mekanizmasının anlaşılmasında anahtar bir faktördür (Kutilek, 2004; Williams et al., 1998).

İnfiltrasyon hızının ölçülmesinde farklı yöntemler vardır. Bunlar; i) çift silindir infiltrometre, ii) tansiyon infiltrometre, iii) disk infiltrometre ve iv) yağış simülatörleridir (Mao et al., 2011). Çift silindir yöntemi, suyun yetersiz olduğu ekosistemlerde infiltrasyonu doğru bir şekilde ölçemez. Disk infiltrometre arazide ölçüm sırasında sızıntı oluşturduğundan ölçümlerin doğruluğunu etkileyebilir. Yağış simülatörleri ise yoğun yağış koşullarında iyi bir performans göstermez, çünkü başlangıçtaki yüksek akışı doğru bir şekilde ölçemez (Mao et al., 2011). Tansiyon infiltrometre, doymuş hidrolik iletkenlik, sorptivite, infiltrasyon hızı ve makroskopik kapillar uzunluk gibi birçok toprak hidrolik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır. Tansiyon infiltrometre ile aynı noktadan birden fazla ölçüm yapılarak veri alınabilir (Angulo-Jaramillo et al., 2000; Vandervaere et al., 2000). Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında tansiyon infiltrometre yöntemi, infiltrasyonun belirlenmesinde yüksek doğruluk taşır (Mao et al., 2011). Bu bağlamda (Watson and Luxmoore, 1986), ormanda makro gözenekliliği tahmin etmek amacıyla tansiyon infiltrometre ile 0, -3, -6 ve -15 cm basınçta ölçüm yapmışlardır. Araştırmacılar 0 ve -3 cm basınçta infiltrasyon hızında büyük bir azalış olduğunu ve bunun sebebinin de doymuş akış koşullarında makro gözeneklerin varlığına bağlamışlardır.

Yarı-kurak alanlarda infiltrasyon, su bütçesini etkileyen önemli bir ekolojik faktördür (Michaelides et al., 2009). Bitki örtüsü, kök sistemleri ile toprak suyunun dağılım süreçlerini ve infiltrasyon kapasitesini önemli derecede etkiler (Neris et al., 2012). Yarı-kurak alanlardaki su sıkıntısı ekolojik süreçleri olumsuz yönde etkiler (Khan et al., 2009) ve bu nedenle bu tip alanlarda suyun toprakta kalan miktarını en üst seviyeye çıkarmak, akışı azaltmak oldukça önemlidir (Shi and Shao, 2000). Yarı-kurak alanlarda yapılan infiltrasyon kapasitesi ile ilgili birçok çalışma, toprak özellikleri ve arazi kullanımındaki değişikliklere dikkat çekmiştir (Neris et al., 2012). Bu özelliklerin yanısıra kök kanallarındaki su akışı, toprakta meydana gelen infiltrasyonun önemli bir mekanizmasıdır (Weiler and Naef, 2003). Kök kanalları yüzey

toprak özelliklerine dayanarak makro gözenekliliğe sebep olur ve beklenenden daha fazla infiltrasyon ile sonuçlanan bir mekanizma ortaya çıkar (Van Schaik, 2009). Kök kanallarında meydana gelen bu hızlı akış, yatay akışa sebep olabilir ve yağış olayından sonra yeraltı sularına karışarak erozyon ve kimyasal taşınma süreçlerini etkiler (Meek et al., 1992; Van Schaik, 2009). Bu bağlamda yapılan bir çalışmada (Devitt and Smith, 2002), yarı-kurak alanlarda bitki kök sistemlerinin, aşağı inen kök kanallarının daha derin horizonlara su akışını artırdığı ve bunun nedeninin de bitki kök sistemindeki artışa paralel olarak su akışının artmasına bağlanmıştır. Bitki-infiltrasyon kapasitesi etkileşimin anlaşılabilmesi için yarı-kurak bir alanda yapılan bir çalışmada (Archer et al., 2002), baklagil köklerinin yüksek kök yoğunluğu nedeniyle çimlere oranla daha etkili olan kararlı makroporlar oluşturarak infiltrasyon hızını artırdığı, çim köklerinin ise toprak gözeneklerini tıkayarak su akışını engellediği ve infiltrasyon hızını düşürme eğiliminde oldukları rapor edilmiştir. Yarı-kurak alanda yapılan başka bir çalışmada (Wu et al., 2017), kök kanallarının çapı arttıkça infiltrasyon hızının da arttığı ve bu alanlarda infiltrasyon kapasitesi ve su depolanmasını artırabilmek için baklagil türlerinin ekilmesi araştırmacılar tarafından önerilmiştir.

İnfiltrasyon süreçleri toprak gözenek büyüklük dağılımı ve parçacık büyüklüğü ile yakından ilişkilidir. Toprakların farklı gözenek büyüklük dağılımları, farklı infiltrasyon oranlarını sonuçlar (Bittelli et al., 1999; Campbell and Shiozawa, 1992). Yapılan bir çalışmada Mazaheri and Mahmoodabadi (2012), gözenek büyüklük dağılımı ile infiltrasyon hızı arasındaki ilişkiye bakılmıştır. Araştırmacılar artan kum miktarının kararlı infiltrasyon hızında artışa neden olduğunu, bunun tersine kil ve silt içeriğinin infiltrasyon oranı üzerinde negatif bir etkisinin olduğunu bildirmişlerdir.

İnfiltrasyon, başlangıç toprak suyu içeriği, toprakta doymuş hidrolik iletkenlik, toprak tekstürü ve strüktürü, bitki örtüsü ve bitki kök yoğunluğunun bir fonksiyonudur (Williams et al., 1998). Genellikle birikimli infiltrasyon hızı, başlangıç toprak suyu içeriğinin düşük olması ile daha yüksek değerler alır ve doymuş hidrolik iletkenlik arttıkça artar. Bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlarda bitki köklerinin infiltrasyonu artırma eğiliminden dolayı infiltrasyon hızı daha yüksek, yüzey akış ise düşüktür (Cerdà, 2001; Cousin et al., 2003).

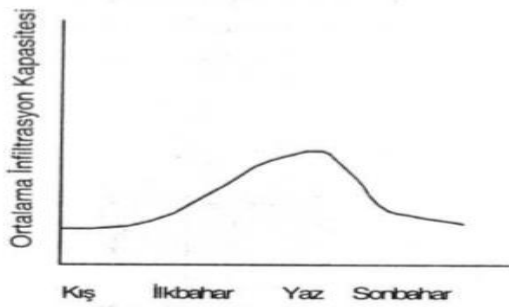
Yüzey vejetasyonu ve kaya içeriği, yüzey karakteristiklerinin değişimi tarafından etkilenir (Li et al., 2011). Tepe-eğim ölçeğinde kaya parçalarının infiltrasyona etkisinin araştırılması amacıyla yapılan bir çalışmada (Chen et al., 2011) araştırmacılar, tepe-eğim arazinin eğim açısı arttıkça kaya parçaları oranının arttığı, eğim açısı ile infiltrasyon arasında üssel bir ilişkinin olduğu, kaya parçalarının infiltrasyonu önemli derecede artırdığı fakat yüzeysel akış üzerinde kararsız bir etkiye sahip olduğunu bildirmişlerdir. Bu bağlamda yapılan başka bir çalışmada, (Mehuys et al., 1975) toprağa gömülü kayaların infiltrasyona etkisine bakılmıştır. Araştırmacılar toprağa gömülü kayaların gözenekliliği artırmasından ve büyük gözenekler (voids) oluşturmalarından dolayı infiltrasyonu ve su hareketini kısıtlayan su akış yollarının bükümlülüğünü artırdığını rapor etmişlerdir. Bu çalışmanın aksine Sauer and Logsdon (2002), toprak hidrolik özellikleri ile kaya parçaları arasındaki ilişkinin çok azının pozitif olduğunu bildirmiştir. Yapılan araştırmalar sonunda toprak hidrolik özellikleri ve kaya fraksiyonu arasındaki ilişkilerin anlaşılabilmesi için daha birçok çalışmanın yapılması gerekmekte olduğu anlaşılmaktadır.

Farklı toprak serilerinin infiltrasyon kapasiteleri de farklı olup, bu farklılık aynı seri içerisinde de görülebilmektedir (Sönmez, 1980). Bu bağlamda yapılan bir çalışmada (Erşahin, 1991b), Harran Ovasında önemli toprak serileri arasında infiltrasyon hızına bakılmıştır. Araştırmacılar en yüksek infiltrasyon hızının Sırrın serisinde en düşük infiltrasyon hızının ise Cepkenli serisinde olduğunu bulmuşlar ve toprak serilerinin yüksek kil içeriklerine rağmen infiltrasyon hızlarının yüksek olmasını da toprakların mikro tekstürüne ve agregat dayanıklılığına bağlamışlardır.

Yatay infiltrasyon, infiltrasyonun en basit şeklidir. Böyle bir durumda yer çekimi sıfırdır ve ihmal edilebilir. Aynı zamanda topraktaki su sadece matriks yani eksi basınç kuvvetlerinin etkisi ile hareket eder (Hillel, 1982). Kuru bir toprağın infiltrasyon hızı maksimumdur ve başlangıçta toprak kuru olduğundan hem dikey hem de yatay yönde bir hareket olur. Zamanla infiltrasyon hızı giderek azalır ve asimptotik olarak kararlı infiltrasyon değerine ulaşır (Koorevaar et al., 1983). Yağmur yoğunluğu arttıkça infiltrasyon hızı da gittikçe azalır. İnfiltrasyon hızında meydana gelen bu azalma, toprak gözeneklerinin su ile dolması, toprak kolloidlerinin şişmesi, yüzeydeki ince materyalin alt katlara taşınıp gözenekleri tıkaması gibi etkiler tarafından kontrol edilir. Bu faktörler olmadığı zaman ise ıslanma derinliği ve ıslanma

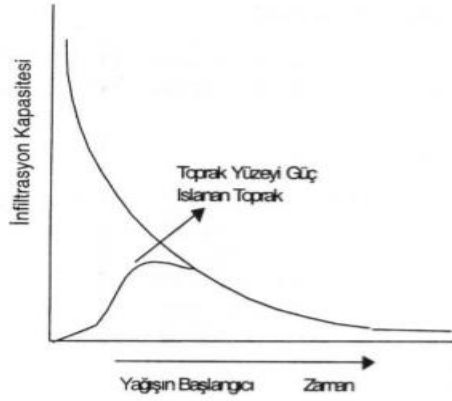
cephesine olan mesafe arttıkça, hareket halinde olan su ile toprak taneleri arasında sürtünme artacağından infiltrasyon hızı da zamanla azalır (Munsuz, 1985). İslanma cephesi üzerine yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Philip (1958)'e göre infiltrasyonun anlaşılmasında önemli olan ıslanma cephesinin şekli, infiltrasyon sırasında matrik ve yerçekimi kuvvetlerinin nispi önemine bağlıdır. Nielsen et al. (1973), ıslanma cephesini diferansiyel denklem analizi ile tahmin etmiştir. Jafri (1971), ıslanma cephesinin parabolik bir şekle sahip olduğu ve kurumaya bağlı olarak şeklinin değiştiğini belirtmiştir. Angulo-Jaramillo et al. (2000), ise ıslanma cephesinin hemen hemen küresel olduğunu bildirmektedir. Kaba tekstürlü topraklarda yerçekimi kuvvetinin hakim olması ile ıslanma cephesi uzar ve daha parabolik bir şekil alır (Chowdary et al., 2006).

İnfiltrasyon, pek çok toprak özelliği tarafından etkilenir. Toprak tekstürü, toprak strüktürü, başlangıç su içeriği, gözeneklilik, organik madde içeriği, tuzluluk ve alkalilik gibi fiziksel ve kimyasal özellikler ve biyolojik özellikler infiltrasyonu etkileyen en önemli özelliklerdendir. Bu özellikler dışında infiltrasyon arazi eğimi, arazinin topografik yapısı, bitki örtüsü, toprak işleme şekli ve yağış miktarından da oldukça etkilenir (Hillel, 1982). Yağışın mevsimlere göre çok değişken olmadığı koşullarda maksimum infiltrasyon, vejetasyon dönemi sonunda gerçekleşir. Bu tip koşullarda hava sıcaklığının suyun viskozitesini etkilemesinden dolayı, infiltrasyon da etkilenir. Soğuk iklimlerde toprağın donması ile infiltrasyon kapasitesinde önemli bir oranda azalma görülür (Özhan, 2004) (Şekil 2.13). Toprak strüktürünün infiltrasyona etkisinin araştırıldığı bir çalışmada (Lin, 1999), birincil pedalitenin > -0.03 m su potansiyelinde infiltrasyona etkisinin sınırlı olduğu bulunmuştur.



Şekil 2.13 İnfiltrasyon kapasitesinin mevsimlere göre değişimi Satterlund (1972)'dan uyarlanmıştır (Demirav, 2010)

İnfiltrasyon kapasitesindeki mevsimlik değişimler toprak organik maddesine, donma/çözünme süreçlerine, bitki gelişimine, toprakta yaşayan canlı aktivitelere ve iklime bağlıdır (Satterlund, 1972) (Şekil 2.14). Donma/çözünme süreçleri toprak strüktürü üzerinde oldukça etkilidir ve agregat yapısını etkileyerek toprak fiziksel özelliklerini de değiştirebilir (Sönmez, 1980).



Şekil 2.14 İnfiltrasyon kapasitesinin zamana bağlı değişimi Satterlund (1972)'dan uyarlanmıştır (Demiray, 2010).

Donma/çözülme sürecinin toprak fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi bütün topraklarda aynı değildir ve toprak tekstürüne göre farklılık gösterir. Bu bağlamda yapılan bir çalışmada (Benoit and Bornstein, 1970), düşük donma derecesi, yüksek su seviyesi ve agregat büyüklüklerinin fazla olduğu koşullarda, donma/çözülme olayının toprak hidrolitik özellikleri içinde en fazla infiltrasyon hızında azalmaya sebep olduğu bulunmuştur. Yapılan birçok çalışma tarımsal arazilerde toprak amanjman uygulamalarının infiltrasyon kapasitesini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir.

Toprak yüzeyinde meydana gelen malç, kabuk bağlama ve toprak altında meydana gelen geçirimsiz katman yağış yoğunluğunun fazla olduğu ilkbaharda infiltrasyonu etkiler. Bu tip olumsuzluklar toprak işleme ile kontrol edilebilir (Özhan, 2004). Toprak profili doymun olduğu zaman infiltrasyon hızı toprak içindeki en geçirimsiz tabaka tarafından belirlenir (Hillel, 1982). Horizonların infiltrasyon kapasitesi yağış ve yüzey akış süreçlerinde önemli bir faktördür. Kısa süreli yağışlarda A horizonu, uzun süreli yağışlarda ise B horizonunun infiltrasyon kapasitesi önemli iken, C horizonu B horizonuna kıyasla yüzey akışını etkilemede

daha az önemlidir (Sönmez, 1980). Bu nedenle infiltrasyon hızının düşük olduğu alanlarda geçirimsiz tabaka dip kazan ile parçalanarak belli bir dereceye kadar infiltrasyon hızı artırabilir (Van Doren-Chairman et al., 1982). Tepe-eğim ölçeğinde infiltrasyonun belirlenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada (Jiang et al., 2007), araştırmacılar arka eğimde (backslope) bir kil katmanının oluştuğunu ve bu katman dolayısıyla su hareketinin yatay olarak devam ettiğini rapor etmişler, ayrıca burada derin sürüm yapılarak bu katmanın kırılması, aynı zamanda P ve K uygulaması yapılması gerektiğini bildirmişlerdir.

İnfiltrasyon kurak ve yarı-kurak bölgelerde toprak derinliğince çok az değişen fiziksel özelliklere bağlıken, yağışlı iklim bölgelerinde ise horizonlaşmaya bağlıdır. Toprak profilindeki geçirimsiz katmanların yanı sıra, kum katmanlarının varlığı da infiltrasyonu sınırlayıcı bir etki yapar. Bu bağlamda yapılan bir çalışmada (Stauffer and Dracos, 1986), kum kullanılarak bir toprak profili oluşturulmuş ve bu profile infiltrasyon gözlemlenmiştir. Araştırmacılar infiltrasyon hızında meydana gelen değişimlerin histerisis olayının bir sonucu olduğunu ve kum katmanlarının infiltrasyonu önemli derecede azalttığını bildirmişlerdir. .

Yüzey akışı infiltrasyon kapasitesinin yetersiz olduğu durumlarda ortaya çıkar ve pullukla işleme ve eğime dik sürüm yapılarak kapasite artırılabilir (Akalan, 1974). Browning et al. (1945)'e göre işlenmiş tarım topraklarında yağış sularının infiltrasyon hızı çok düşük olmasına karşın, 10-cm derinlikte toprağın sürülmesi ile infiltrasyon oranında önemli bir artış olmaktadır. Sürüm derinliğinin artırılması ile infiltrasyon oranı ve gözeneklilik büyük ölçüde artmasına rağmen hacim ağırlığı azalmaktadır (Demiray, 2010). Yapılan birçok çalışma işlenmemiş toprakların infiltrasyon hızlarının daha yüksek olduğunu göstermiştir. İşlenmemiş topraklarda yüksek infiltrasyon hızı bu topraklarda süreklilik gösteren ve yüzeye kadar ilerleyen makro-gözeneklilikten kaynaklanmaktadır (Erşahin, 2001). Topraktaki makro gözeneklerin orjinleri, şekilleri ve bükümlülükleri infiltrasyon hızını etkiler (Van Doren-Chairman et al., 1982). Bu bağlamda Almanya'da yapılan bir çalışmada (Ehlers, 1977), geleneksel toprak işleme yapılan bir toprakta infiltrasyon hızının önemli oranda düştüğü bulunmuştur. Araştırmacılar bunun nedenini solucanlar tarafından oluşturulmuş makro gözeneklerin tahribine bağlamışlardır. Yapılan başka bir çalışmada (Munsuz et al., 1992), pulluk ile yapılan işleme infiltrasyon hızı açısından en etkili, kazayağı ile yapılan işleme ikinci, çizel ile yapılan işlemenin ise son sırada yer aldığı bildirilmiştir.

Değişik toprak işleme sistemlerinin infiltrasyon hızına etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada (Roth et al., 1986), diskli pulluk ile yapılan geleneksel toprak işleme ile çizel kullanılarak yapılan minimum toprak işleme ve sıfır toprak işleme yöntemi karşılaştırılmıştır. Araştırmacılar infiltrasyon hızı için en uygun değeri sıfır toprak işleme yönteminin verdiğini rapor etmişlerdir.

Erie (1962)'e göre toprakta infiltrasyon hızını etkileyen en önemli faktör hidrostatik yük, (Parlange, 1972)'e göre ise toprak üzerindeki su yüksekliklerinin toprağın başlangıç nem içeriğine etkisidir (Erşahin, 1990). Başlangıç nem içeriğinin yüksek olduğu durumlarda toprak üzerinde göllendirilen su yüksekliğinin infiltrasyon üzerinde önemli etkisi vardır. Yağış boyunca toprak yüzeyinde oluşan kabuklanma da infiltrasyon hızını önemli derecede azaltır ve bu sebeple yüzey akış meydana gelir (Erşahin, 1991a).

İnfiltrasyona etki eden faktörler genellikle toprak yüzey özellikleri olmasına rağmen, bu faktörler bir toprak profili boyunca profilin farklı derinliklerinde de oluşabilir (Schwab et al., 1993). Bir profildeki toprak horizonlarının infiltrasyon kapasitesi ise, toprak strüktürü, toprak tesktürü, hacim ağırlığı ve horizonun minerolojisinden etkilenir (Sojka et al., 1998). Bu bağlamda Meek et al. (1992)'in yaptığı bir çalışmada, kumlu tın tekstüre sahip bir arazide hacim ağırlığının 1.6 g/cm^3 'den 1.8 g/cm^3 'e çıkmasının, infiltrasyon oranını %54 azalttığını bildirmişlerdir. Tokat-Kazova'da yapılan bir çalışmada (Öztekin and Öztekin, 2007), hacim ağırlığındaki %8,5'lik artışın infiltrasyon kapasitesinde %93,5'lik bir azalışa neden olduğu, infiltrasyon kapasitesinin yüzey toprağının hacim ağırlığı ile ters orantılı olduğu ve aralarında da orta derecede bir ilişki olduğu bildirilmiştir.

Tarım arazilerinde makine trafiği toprağın hacim ağırlığını artırarak ürün verimini olumsuz yönde etkilemektedir. Dittman (1976)'a göre toprağın hacim ağırlığının artışı kök direncini, oksijenin kullanılabilirliğini ve infiltrasyonu azaltır (Demiray, 2010). İnfiltrasyon, toprak profilinde kimyasal ve suyun taşınmasında ve bitki verimlilik kontrolünde anahtar bir faktördür. İnfiltrasyon oranı, arazide çok yüksek ve çok düşük değerler aldığından, toprak hidrolik özellikleri arasında en fazla değişkenliğe sahiptir (Jensen, 1983). Vieira et al. (1981), Yolo tınında 1280 ölçüm yaparak infiltrasyon oranını jeostatistiksel olarak değerlendirmiş

olup, 50-m veya daha az aralıkta infiltrasyon oranının birbirine benzer olduğunu rapor etmişlerdir. Ersahin (2003), yaptığı bir çalışmada, infiltrasyon oranı tahmininde kriking ve ko-kriking yöntemleri kıyaslamış, co-kriglemenin nokta kriglemeye göre daha iyi sonuç verdiğini belirlemiştir.

Sorptivite, toprağın başlangıçta yerçekimi kuvvetinin etkisi olmadan toprağın suyu alma hızıdır ve başlangıçta infiltrasyonu kontrol eden önemli bir değişkendir. Sorptivite toprağın özelliklerine göre değişken değerler alır ve bu değerler toprağın başlangıç su içeriğine bağlı olarak da değişkenlik gösterir (Hussen and Warrick (1993); Nielsen et al. (1973))'a göre doymuş hidrolik iletkenliğin dağılımı log-normal olduğundan, sorptivitenin de istatistiksel olarak dağılımı log-normal olmalıdır. Birçok araştırmacı sorptivite üzerine çalışmalar yapmıştır. Bu bağlamda, Sharma et al. (1980), sorptivite ve doymuş hidrolik iletkenlik arasındaki ilişkiye bakmışlar ve bu iki değişken arasında zayıf bir ilişkinin olduğunu ayrıca ölçülen sorptivite değerinin toprağın başlangıç su içeriğine bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan başka bir çalışmada ise (Demiray, 2010), işlenmiş toprakta sorptivite değerini 0,031, işlenmemiş toprakta ise 0,016 bulmuştur. Araştırmacı bunun nedenini infiltrasyon hızı ve doymuş hidrolik iletkenlikteki değişmeye paralel olarak sorptivite değerinin de değişmesine bağlamıştır.

2.4.10 Hidropedoloji-Vadoz Bölge Etkileşimi

Vadoz bölgede meydana gelen süreçleri anlayabilmek için toprakta suyun hareketi ve toprak nemi önemli bir değişkendir. Vadoz bölgeki toprak suyu özellikle yarı-kurak bölgelerdeki toprak nem dinamiklerinin zamanında ve doğru bir şekilde karakterize edilmesinde önemli rol oynar (Vereecken et al., 2008). Vadoz bölgede meydana gelen süreçler direk ve dolaylı olarak suyun taşınımını etkiler. Özellikle toprak su akışı, tarımsal kirleticilerin durumu, gübreler ve gübre türevlerinin taşınması gibi birçok olayın odak noktası olarak vadoz bölge hidrolojisi giderek önem kazanmıştır (Pachepsky et al., 2008).

Toprak yüzeyine yakın yerlerde meydana gelen kirlilik problemleri ve bunların önlenmesi için vadoz bölgenin yönetimi etkilidir. Yeraltı suyu kirlenmeden önce kirleticilerin kontrol ve

yönetimi vadoz bölgede olabilir (van Genuchten, 2002). Nitekim bu bağlamda Antalya Traverten Platosunda yapılan bir çalışmada (Başal and Ekmekçi, 2000) kirleticinin vadoz bölgeye gelmeden önceki toprakta iyon değişimi ve geciktirme etkisine bakılmıştır. Araştırmacılar aküfer özelliği taşıyan, araştırma alanının güneyinde vadoz bölgenin 200-250 m'yi bulduğu ve bu bölgede kirleticinin daha uzun süre ortamda kaldığını bildirmiş ve yeraltı su kalitesinin korunmasında vadoz bölgenin kalınlığına dikkat çekerek ayrıntılı bir arazi haritasının oluşturulması gerektiğini rapor etmişlerdir.

2.5 Hidropedoloji- Hidroloji İlişkileri

Tepe-eğim hidrolojisi akış süreçlerini kontrol eden birkaç faktör tarafından belirlenir. Yarı-kurak bölgelerdeki hidrolojik süreçler hakkında geniş araştırmalar yapılmıştır (Martinez-Mena et al., 2001; Yair and Lavee, 1985). Bu çalışmalar su akışının mekansal ölçekte düzensiz olmadığını, yarı-kurak bölgelerde su akışını kontrol eden faktörler ile nemli bölgelerde hidrolojik süreçleri kontrol eden faktörlerin farklı olduğunu ortaya çıkarmıştır. Yarı-kurak alanlarda ana materyalin toprağa etkisi, topografya, bitki örtüsü, arazi kullanımı ve iklim hidrolojik olayları önemli derecede etkiler (Park and van de Giesen, 2004). Bu özelliklerin yanında hidroloji; toprak derinliği, gözenek büyüklüğü, organik madde dağılımı, yüzey topografyası ve bükümlülük tarafından da oldukça etkilenir (Sidle et al., 2001). Toprak ve hidroloji arasındaki ilişki interaktifdir çünkü su toprak oluşumunda birincil faktördür (van Tol, 2011).

Hidroloji toprak kimyasında önemli bir rol oynamaktadır. Jeokimyasal göstergeler hidrolojik süreçler ile yakından ilişkilidir (Park and Burt, 1999) ve pedolojik süreçlerin tahmininde de toprak kimyası kullanılmaktadır (McDonnell et al., 2007). Örneğin, bir toprak profilinde siyah beneklerin olması fiziksel ayrışmanın tepe-eğim hidrolojisi süreçlerini kontrol ettiğinin göstergesidir (van Tol, 2011). Toprak morfolojisi, toprak kimyası ve hidroloji arasında ilişkinin yorumlanması hidropedoloji açısından son derece önemlidir. Bouwer et al. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, toprak kimyası tarafından belirlenen hidrolojik akış yolları ile morfolojik özellikler tarafından belirlenen eski hidrolojik akış yollarının benzer veya ilişkili olduğu, toprak kimyası tarafından ortaya çıkarılan hidrolojik modeller ile toprak

morfolojisi tarafından ortaya çıkarılan modellerin hidrolojik modellerde kullanılabileceği de rapor edilmiştir. Tepe-eğim ölçeğinde üç ana akış yolu vardır. Bunlar; a) yüzeysel akış (overland flow), b) yeraltı yatay akış (subsurface lateral flow), c) anakayadan akış (bedrock flow) (Ticehurst et al., 2007). Tepe-eğim ölçeğinde yağış ve yüzeysel akışın anlaşılmasında toprağın dağılımı ve özellikleri önemli faktördür. Daha önceden de belirtildiği gibi hidropedoloji; toprak ve hidroloji arasında bir köprü oluşturarak doymuş/doymamış akış ve yüzeysel/yüzeyaltı akış süreçlerini, bu süreçlerin hidrolojik ve hidropedolojik işlevlerini anlamaya yardımcı olur (Lin, 2003b; Lin et al., 2006a).

2.5.1 Yüzey Akış

Yüzey akışın geleneksel bakış açısıyla tanımlanması 'aşırı infiltrasyon' veya 'Horton' olarak bilinmektedir. Yağış yoğunluğu infiltrasyon kapasitesini aştığı zaman yüzey akış meydana gelir. Yüzey akış çoğu zaman doymamış karasal akış olarak adlandırılır ve genellikle kurak ve yarı-kurak bölgelerde görülür (Lin, 2010b). Genel olarak dik yamaçlarda önemli erosif enerji ile geniş hacimli yüzeysel akışlar meydana gelir. Toprakta baskın olan akış yolu, suyun kalış süresi ve akışa katkının boyutunu belirleyen faktörlerdir. Yüzey akışın baskın olduğu tipik bir tepe-eğim yapıda kısa bir kalış süresi ve yüksek bir akış hacmi beklenirken, anakayadan akışta (bedrock flow) su daha uzun süre kalacağından daha alt eğimlerde yeniden dolaşım yolu ile temel akışa katkıda bulunur (Asano et al., 2002). İnce bir A horizonunda yüzey akış daha baskındır. Derin topraklarda ise doymamışlık için fazla suya ihtiyaç olduğundan daha fazla sızma olması beklenir. Derin topraklarda bitki yetiştirildiği takdirde yüzey akış oranı azalmaktadır (Ticehurst et al., 2007).

Eğimdeki değişimler su akış yollarını etkileyeceğinden hidrolojide de değişimler olacaktır. Yüzey akışın miktarı toprak tekstürü özellikle de kil ve kumun miktarı tarafından oldukça etkilenir. Kumlu topraklar genelde daha geçirgen ve hidrolik iletkenlikleri killi toprağa göre daha fazla olduğundan kumlu topraklarda yüzeysel akış nadiren oluşmaktadır (van Tol, 2011). Bu bağlamda yapılan bir çalışmada Karvonen et al. (1999), kumlu tınlı bir toprağın iletkenliğini killi toprağa göre 15 kat yüksek bulmuştur. Doymuş karasal akış genellikle riparian ve nemli/yarı nemli bölgelerde meydana gelir. Hidroloji de yalnızca toprak özellikleri

ve uzaysal dağılımlar değil, topografya, arazi kullanımı, bitki örtüsü, jeoloji ve diğer bileşenler de ele alınmalıdır (Gburek et al., 2006). Yüzey akış-toprak ilişkisinin ele alındığı bir çalışmada Hairsine et al. (1992), yüzey akışın toprak yüzeyindeki mikro topografya ve yüzey gözenek yapısına son derece duyarlı olduğunu bulmuştur. Ayrıca araştırmacılar yüzey pürüzlülüğü ve strüktürel bozulma arasındaki ilişkinin de son derece önemli olduğunu da vurgulamışlardır.

2.5.2 Yüzey altı Akış

Yüzeyaltı yatay akış; yüzeyaltı makropor akış, A-B horizonları arasında arasındaki yatay akış, toprak-ana material arasında akış ve ayak eğim ve parmak eğimde meydana gelen akışı içermektedir (Lin et al., 2006b). Belirtilen akışlar arasında en etkili olan yüzeyaltı makropor akıştır ve ormanlık alanlarda genellikle makroporlar su iletimini kontrol eder. Yüzeyaltı yatay akışı belirleyen üç faktör vardır: makroporların büyüklüğü, gözeneklerin sürekliliği ve erişilebilirliği. Bu gözeneklerin sürekliliği toprak nemi arttıkça artar (Nieber et al., 2000).

Makroporlar yüzeyaltı yatay akışa debi olarak önemli katkılar sağlar ve yağışın hızlıca gözeneklerden akmasına neden olurlar. A-B horizonları arasındaki yatay akış tekstür, hacim ağırlığı ve hidrolik iletkenlik arasında fark olduğunda ortaya çıkar. Eğer A horizonu B horizonundan daha geçirgense yatay akış meydana gelir ve burada dikey akış önlenmiş olur. Geçirgenlik ve derinliğin yanı sıra horizonlar arasındaki farklılık da bu yollarda hareket eden suyun miktarını etkiler. (van Tol, 2011). Lin et al. (2006b) bu bağlamda yaptıkları bir çalışmada en düşük su içeriğinin büyük miktarlarda yatay akış olması sebebiyle A-B horizonları arasındaki arayüzde olduğu bildirilmiştir. Yüzeyaltı yatay akış genelde kısa ve kesikli olmasına rağmen birçok tepe-eğim ölçeğinde hızlı ve çabuk akış mekanizmaları gözlenmiştir (Hutchinson and Moore, 2000). Bu tip yapılar tercihi akı hakkında fikirler sunabilir. Suyun tercihi akış ağları üzerinde taşınma mekanizması henüz iyi bilinmemesine rağmen genellikle yeraltı yatay akışın tercihi akı ile bağlantılı olduğu varsayılmaktadır. Bu varsayım suyun yatay ve dikey dağılımından dolayı toprak nem içeriğini artırdığını ve tercihi akı özellikleri ve yeraltı akış mekanizmalarını etkilediğini söyler. (Sidle et al., 2001).

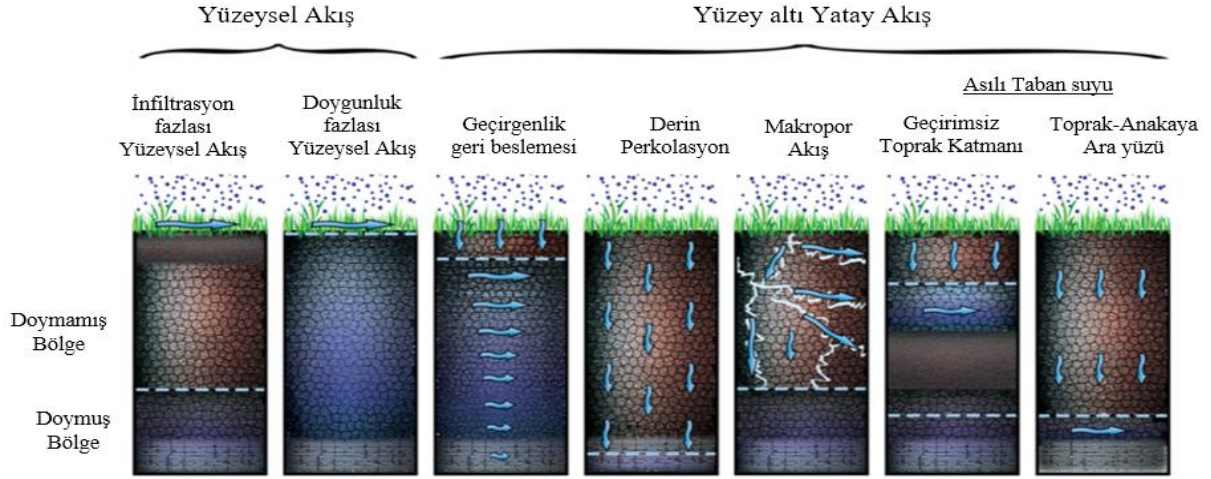
Tepe-eğim ölçeğinde yeraltı yatay akış hızını belirleyebilmek için toprak nemi ve yağış koşulları, başlangıç koşulları ve gözenek su basıncı arasındaki ilişkiyi anlamak gerekir. Genel bir konsept olarak yatay akış ağları toprak nemi veya yüksek su tablası seviyesi arttıkça artar ve bu da tepe-eğim modelinde daha hızlı yeraltı yatay akış hızına sebep olur (Sidle et al., 2001; Uchida et al., 2006). A ve B horizonu arasında yeraltı yatay akış, yıkama ve redüksiyon süreçleri tarafından bir E horizonu oluşur. İki horizon arasındaki belirsizlikler E horizonunun hidropedolojik davranışlarıyla açıklanabilir (Van Tol et al., 2013b). Atkinson (1978)'e göre yeraltı yatay akış toprak matriksi boyunca (büyük porlar veya yapısal voidler) veya çok büyük voidlerin içinde (makroporlar) meydana gelebilir (Van Tol et al., 2013b). Eğer toprak matriksinde yeraltı yatay akış meydana gelirse; i) arazi eğimlidir, ii) toprak yüzeyi geçirgendir, iii) yüzey yakınlarında engelleyici bir katman vardır ya da iv) toprak doygundur (Whipkey and Kirkby, 1978).

E horizonunun oluşumu, geçirimsiz tabakanın varlığı ve B horizonunun geçirimsiz olmasıyla beraber ortamda anaerobic koşullar oluşur. Böyle durumlarda dikey yönde bozulmuş bir iç drenaj oluşacağından yıkanma ve taşınma yatay yönde gerçekleşir (Van Tol et al., 2013b). Yüzeyaltı yatay akış toprak matriksinde olduğu gibi agregat arasında da oluşabilir. McDonnell et al. (2007)'e göre yüzeyaltı yatay akışın ortaya çıkmasında, iletken tabakada doymuş hidrolik iletkenliğin, akışın olduğu tabakanın akışın engelleyen tabakaya oranı kontrol mekanizmasıdır. Bu oran arttıkça yüzeyaltı yatay akışın miktarı ve hızı artar. Tepe-eğim ölçeğinde hidrolik iletkenliğin hem yatay hem de dikey yönde değişmesi yeraltı yatay akışı artırır. Bir arazide yeterince eğim olduğu halde yeraltı yatay akış meydana gelmemişse, yağışın yetersiz olması nedeniyle hareketi tetikleyecek yük oluşamadığı içindir (Van Tol et al., 2013b).

2.5.3 Anakayadan akış (Bedrock flow)

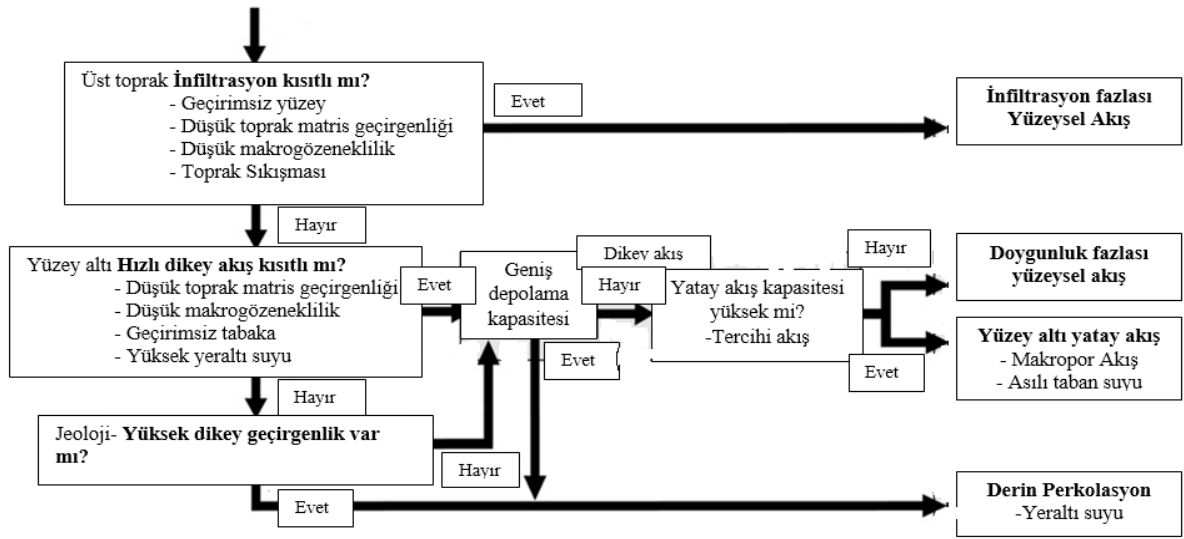
Ticehurst et al. (2007), yaptıkları bir çalışmada tepe-eğim modelinin zirve topraklarında önemli bir su alım alanı olduğunu ve bu suyun temininin anakayadan sağlandığını bularak, suyun hareketinin bu bölgede dikey ve toprakların da genelde kuru olduğunu bildirmiştir. Burada su anakayanın üzerinde hareket etmez saprolitin içindeki kayada ya da çatlaklar

aracılığıyla hareket eder. Anakayanın akış yolu düşük eğimlerde yeraltı suyu miktarında son derece önemlidir (Ticehurst et al., 2007). Yüzeysel ve yüzeyaltı akış süreçleri Şekil 2.15’de özetlenmiştir.



Şekil 2.15 Yüzeysel ve yüzeyaltı akış süreçleri Rinderer and Seibert (2012)’den uyarlanmıştır.

Hidropedolojik çalışmalarda tanımlanabilen hidrolik toprak göstergelerini baskın akışı olan süreçlerle ilişkilendirmek çoğunlukla araştırmacıların bilgi, tecrübe ve dolayısıyla öznelliğe bağlıdır. Bu sebeple, toprak ve arazi kullanım özelliklerini baskın yeraltı akış süreçlerine yapılandırılmış ve daha objektif bir şekilde bağlamak için geliştirilmiş bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Mevcut akış süreçlerinin dağılımı, baskın akış süreç haritaları şeklinde ifade edilebilir. Bu haritalar, bir katenin toplam alanını, baskın bir alanla karakterize edilen daha küçük, homojen birimlere dönüştürebilir (Schmocker-Fackel et al., 2007). Şekil 2.16’de aşağıdan yukarıya ve yukarıdan aşağıya yaklaşımlar şeklinde yapılandırılmış karar şemaları verilmiştir.



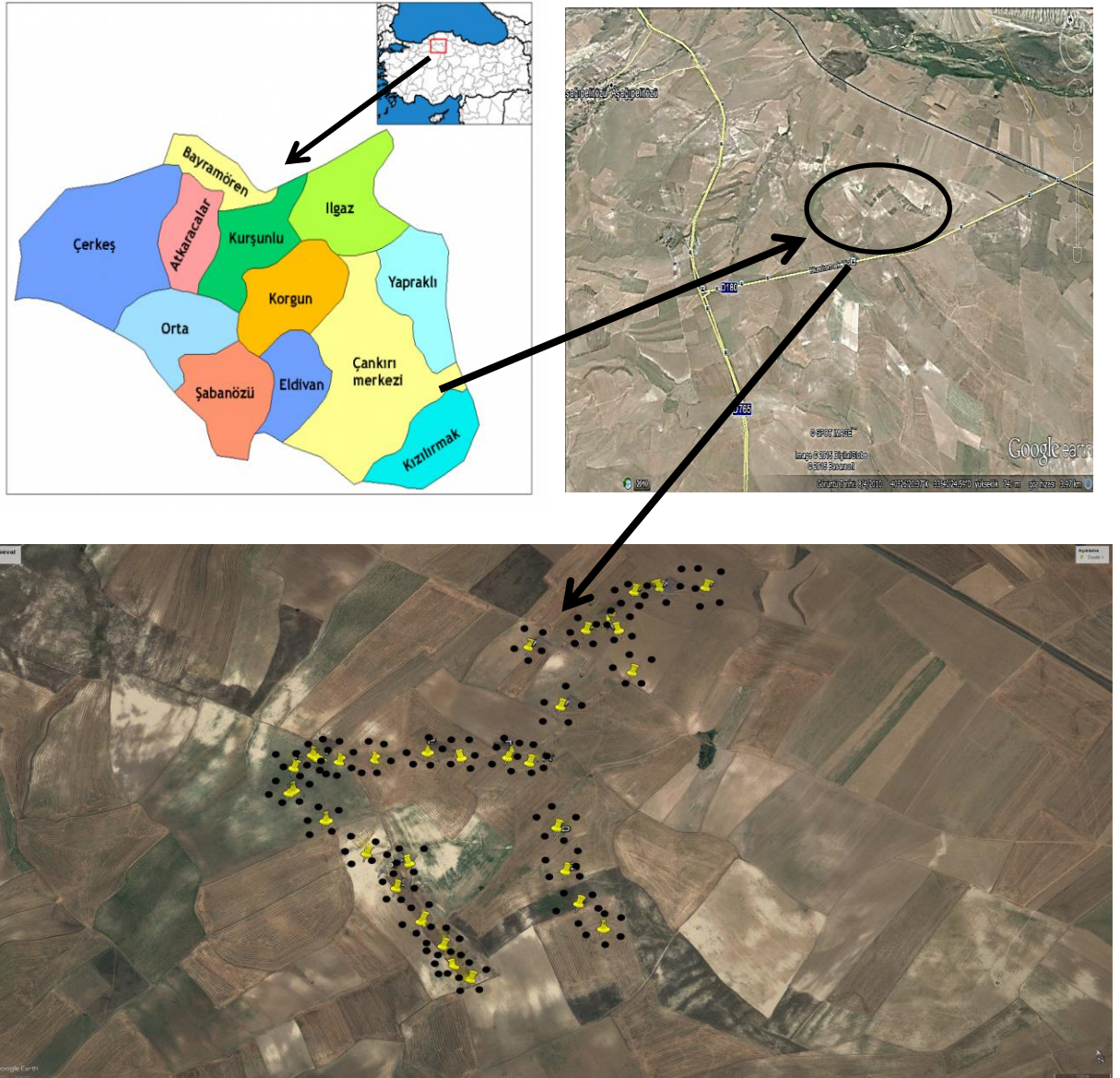
Şekil 2.16 Üst toprak, alt toprak ve jeolojinin özelliklerinden baskın akış süreçlerini çıkaran bir karar şeması örneği. Schmocker-Fackel (2004)'dan uyarlanmıştır.

Karmaşık süreçlerin daha iyi anlaşılabilmesi, kabul gören basit şemalar üzerinden gidilmek suretiyle daha objektif ve dolayısıyla benzer bir şekilde uygulanabilir. Karar şeması, üst toprak, alt toprak ve alttaki jeolojinin toprak özelliklerini göz önüne alarak bir toprak profili gibi yapılandırılmış ve baskın akışı süreç haritalarında sonuçlanmıştır (Şekil 2.16). Bu şema tarım alanlarına ve ormanlık alanlara hem yüksek hem de orta yağış yoğunluklarına sahip olan alanlara uygulanabilir (Schmocker-Fackel et al., 2007).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

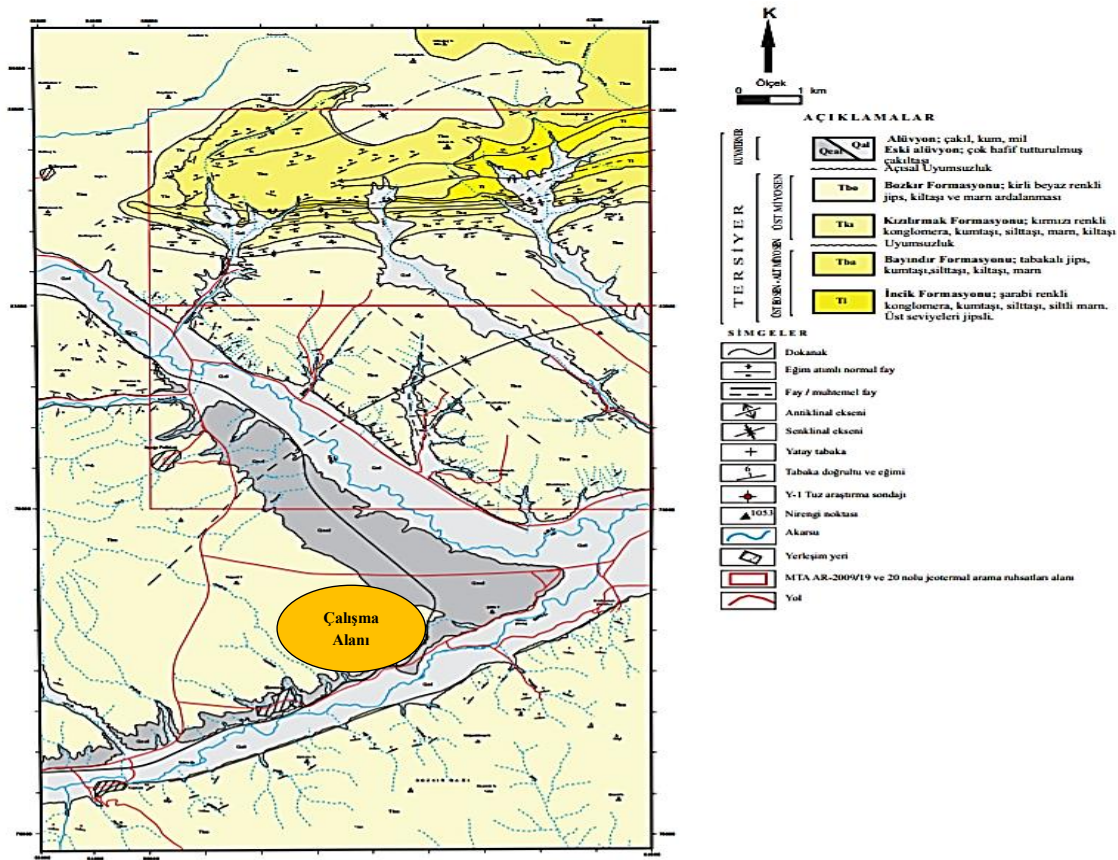
3.1 Materyal

Araştırma Çankırı ili Aşağı pelitöz köyü 4 km güney doğusunda bulunan tarım arazilerinde yürütülmüştür. Çalışma alanı Çankırı il merkezine 20 km uzaklıktadır (Şekil 3.1). Örnekleme yapılan araziler üzerinde 50 yılı aşkın süredir geleneksel toprak işleme yöntemi ile buğday tarımı yapılmaktadır. Çalışma alanı Acıçay olarak bilinen aktif bir derenin vadisinde yer alan aşınmış etek araziler şeklinde tanımlanmıştır. Çalışma alanı toplam 82 ha 'dır.



Şekil 3.1 Çalışma alanının konumu (üstte) ve toprak profilleri ve örnekleme noktalarının çalışma alanındaki konumları (altta)

Çalışma alanının jeolojisi genel itibariyle jips olup, tabanda kum taşı, silt taşı, üste doğru kil taşı, marn ara bantları kapsar. Jips genelde sarımsı, süt beyazı renkte alacalı görünüştedir. Kum taşı ve silt taşı ince tabakalı olup formasyona alacalı görünüş vermiştir. Ayrıca içinde beyaz ve grimsi renkli tuz kristalleri bulunmaktadır Çalışma alanı Bozkır formasyonu içerisinde yer almaktadır. Bozkır formasyonunun Aşağı pelitöz köyleri çevresinde çok geniş yayılım alanı bulunmaktadır. Formasyon sıcak iklim altında lagüner ortamda çökelmiştir (Şekil 3.2) (Sarp, 2010).



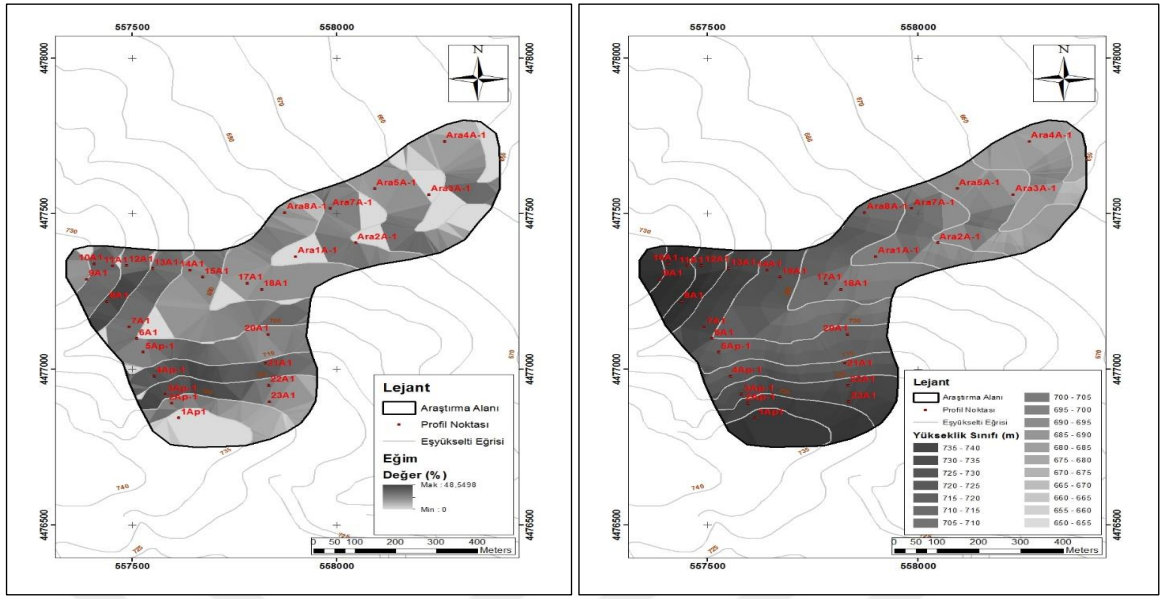
Şekil 3.2 Çalışma alanının jeoloji haritası Sarp (2010).

Çalışma alanı yarı-kurak bölge içerisinde yer almaktadır. Yarı-kurak bölgelerde yağmur sularının büyük bir kısmı yüzey akışına neden olan eğimli arazileri içerir. Yarı-kurak bölgelerde gerek şimdiki iklim koşullarında gerekse geçmişte oluşan ılıman iklimlere ait bir veya birkaç pedojenik horizon bulunabilir. Bu alanların yüzey horizonları açık renkli, ince tekstürlü ve kuru iken sert veya çok serttir (Dinç et al., 1987). Yarı-kurak bölge topraklarında yaygın olarak jips bulunmaktadır. Jips çözünebilir tuzlardan farklıdır ve bu sebeple topraktaki etki ve

davranışlarını anlamak zor olduğundan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin kullanımına gerek vardır (Herrero et al., 2009). Jipsin kimyasal formülü $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; % 22.3'ü kalsiyum, %18.6'sı ise kükürttür. Renksiz, saydam, beyaz, gri, sarımsı, yarı şeffaf ve çizgi rengi beyazdır (Filiz, 2008). Jipslerin bulunduğu topraklarda genellikle karstik toprak şekilleri oluşur (Klimchouk, 1996). Jips toprakta az miktarda bulunduğu zaman bitki gelişmesi için elverişli olabilir ayrıca alkali toprak oluşumunu engelleyici yönde de bir etkiye sahiptir. Jips içeren alkali toprakları tarımsal açıdan elverişli hale getirmek kolay olurken, büyük miktarlarda jips içeren topraklarda verim düşüklüğü görülmektedir. Buna sebep olan fakötürün bitki kökleri tarafından topraktaki besin elementlerinin düzensiz bir şekilde alınımı söylenebilir (Akgül, 1975).

Jips akarsular tarafından oluşturduğu yerden taşınarak kum, kil ve silt ile birlikte çökebilirler. Sulama sebebiyle akarsuyun yönü değiştirildiğinde bir miktar jips dibe çöker. Eğimli arazilerde jipsli kaya parçaları sel ya da taşkın sebebiyle taşınarak orjinal yapıları bozulmaksızın toprak profilinde depo edilirler (Mulders, 1969). Jipsli alanlardaki yüzey ve yeraltı sularının büyük bir kısmı sülfatça zengin sulardır ve bu su kaynakları bazen o alanın tek su kaynağı olabilir. Bu sebeple jipsli araziler oluşabilecek doğal afetler ve su kaynakları açısından ulusal ve yerel ölçekteki planlamalarda dikkate alınmalıdır.

Çalışma alanı ve çevresi Türkiye'de özellikle Oligo-Miosen jipsli serileri olarak bilinen formasyonların yaygın olarak bulunduğu sahalardandır. Buradaki jips karstına ait şekilleri genellikle dolinler (çukur) oluşturur. Bu bölgedeye ait topografik haritalar incelendiğinde, jipsli alanlar üzerinde bazı yerlerde hiç bulunmazken bazı yerlerde seyrek olarak dağılmış, içlerinde geçici göllerin olduğu, irili ufaklı dolinler (çukurlar) dikkati çekmektedir (Doğan, 2002). Çalışma alanının denizden yüksekliği 655-740 m arasında, eğim ise %10-50 arasında değişmektedir (Şekil 3.3). Çalışma alanı genel itibariyle bakıldığında ovalık sahaları çevreleyen alçak tepelik alanlara iyi bir örnek teşkil etmektedir (Şekil 3.4).

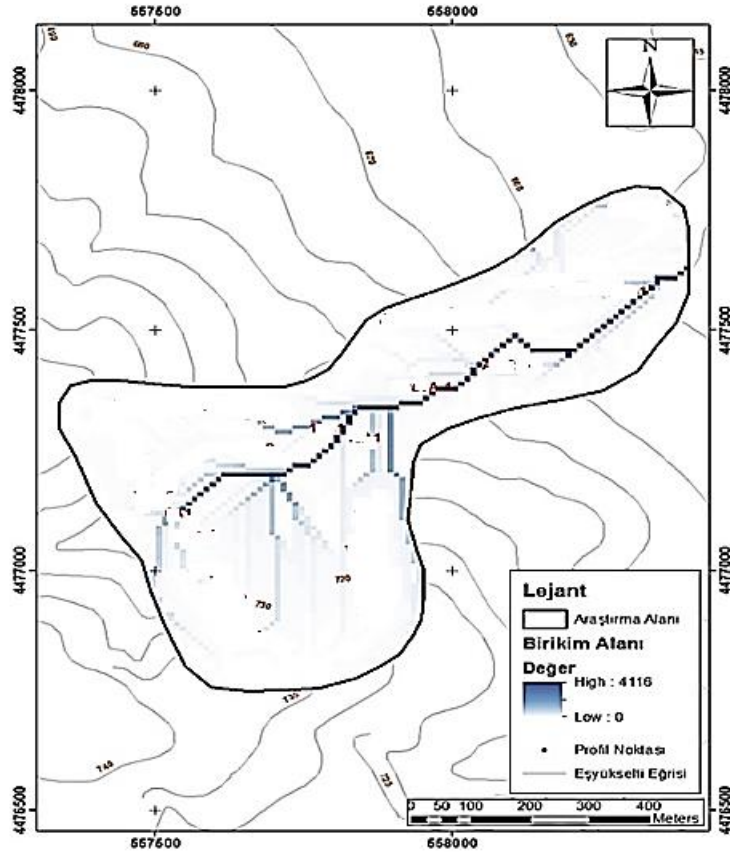


Şekil 3.3 Çalışma alanına ait sayısal yükselti (DEM) ve eğim haritası



Şekil 3.4 Çalışma alanından bazı görüntüler

Çalışma alanı litolojik özelliğine göre akarsu ve gölleri kapsayan karasal ortamda çökelmiştir. Çalışma alanına ilişkin DEM'e göre akış yollarının haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.5). Zirveden gelen ağlara ayrılmış akış hatlarının çalışmanın orta bölümünde birleşip düz alana doğru tek yoldan taşındığı açıkça görülmektedir



Şekil 3.5 Çalışma alanına ait su akış yolları haritası

3.1.1 Çalışma Alanının İklimi

Çalışma alanı tipik karasal iklim özellikleri göstermektedir. (Birgili et al., 1975). Çalışma alanına en yakın meteoroloji istasyonu Çankırı Merkezdedir. Çankırı Meteoroloji İstasyonundan (731 m) alınan verilere göre; bölgede yıllık ortalama sıcaklık 11.3°C'dir. En yüksek sıcaklık 31.2°C ile Ağustos ayında, en düşük sıcaklık -4.0°C ile Ocak ayında gerçekleşmiştir. Bölgenin vejetasyon süresinin Nisan ve Ekim ayları arasında (7 ay) olduğu belirtilmiştir. Yıllık ortalama yağış miktarı 412.3 mm olup vejetasyon süresi içindeki yağış

miktari ise 245.0 mm'dir. Yıllık ortalama bağıl nem % 67, vejetasyon süresinde ise % 62'dir. En hızlı rüzgâr yönü kuzey olup, 42.0 m/sn ile Mart ayındadır (Anonim, 2017) (Tablo 3.1) Çalışma alanı topraklarının bitki örtüsü ise seyrek çalı ve otlardan oluşmaktadır.

Tablo 3.1 Çalışma alanına ait 1929-2016 yılları arasındaki iklimsel veriler (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınmıştır)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	-0.5	1.2	5.7	11.2	15.8	19.1	23.2	22.7	17.7	11.9	5.6	1.5	11.3
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	3.5	6.0	11.7	17.9	22.8	27.1	31.0	31.2	26.5	20.1	12.2	5.5	18.0
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-4.0	-3.3	-0.2	4.5	8.6	11.8	14.1	13.8	9.5	5.0	0.5	-2.0	4.9
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.1	3.2	5.0	6.1	7.5	9.3	10.4	10.6	8.3	6.1	3.5	1.5	73.6
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.0	10.5	10.0	11.7	13.7	10.4	4.3	3.6	4.6	6.9	7.7	11.1	106.5
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	44.5	35.1	38.6	44.8	57.6	42.1	17.6	17.6	17.2	26.3	26.0	44.9	412.3

Bölgedeki yağışların çoğu kış aylarında düştüğü için bu yağışlar kar şeklinde olmaktadır. Karlar özellikle kuzeydoğuya bakan yamaçlarda büyük kar kaymalarına neden olmaktadır. Kuzey bakılardaki kar yoğunluğuna ek olarak, güneş ışınlarının güney bakılara göre daha kısa olması karın kuzey bakılarda erime süresini uzatmaktadır (Brooks et al., 2012).

3.2 Yöntem

3.2.1 Profillerin Tanımlanması

Çalışma alanı topraklarının sınıflanmasında Amerika Birleşik Devletleri, Tarım Bakanlığı tarafından geliştirilen Toprak Taksonomisi kullanılmıştır (Staff, 1993). Çankırı il merkezinin yıllık ortalama toplam yağış miktarı 412, 3 mm'dir. Bu sonuca göre çalışma alanı Xeric nem rejiminde yer almaktadır. Çankırı merkezde 50 cm toprak derinliğindeki ortalama sıcaklık 14,7⁰C olduğundan sıcaklık rejimi de Mesic olarak sınıflandırılmıştır.

Çalışma alanı toprakları akarsu, göl tabanlı ve jips kaynaklarının oluşturduğu jipsik sedimentler gibi ana materyaller üzerinde oluşmuşlardır. Bu sebeple B_w horizonuna sahip olan topraklar Fluventic Xerorchept, sahip olmayanlar ise Fluventic Xerorchent olarak tanımlanmıştır. Çalışma alanında primer ve sekonder jips kristalleri içeren çamur taşları, kil

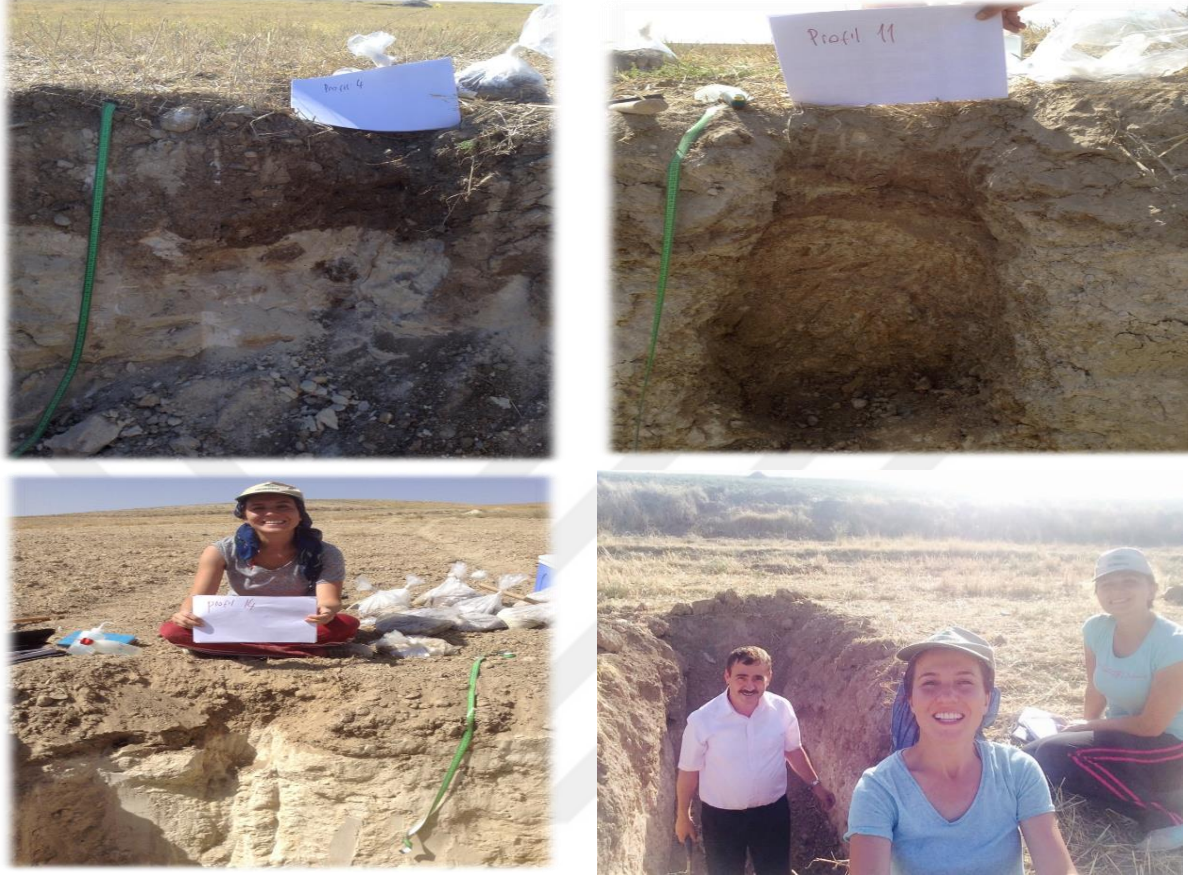
taşı, marn ve yer yer tuz bulunmaktadır Yapılan çalışmalara göre arazi lâminalı jips seviyelerinin sığ göl çökentilerini, kuruma çatlaklı çamur taşı seviyeleri ise zaman zaman atmosferle ilişkili kıyı düzlüklerini temsil etmektedir (Yoldaş, 1982).

Toprak oluşum faktörlerinin etkilerinin çalışıldığı bir arazide toprakların gruplandırılması çalışmanın daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır. Örneğin bir arazi farklı ana materyalden oluşuyorsa litosekuens; farklı zamanlarda benzer ana materyalden oluşuyorsa kronosekuens ve rölyefteki değişiklikler varsa toposekuens olarak adlandırılır. Bir toposekuenste tüm toprak çeşitlerinin aynı ana materyalden oluştuğu yerlerde su akış yollarına dayalı farklılık gösteren grupların, topografya bakımından farklılık göstermesi katenadır. Katenasal yaklaşımda toprak dağılımı, su hareketi tarafından ortaya çıkar ve toprak/jeomorfik süreçlerin karşılıklı etkileşimlerinin bir sonucudur (Schaetzl and Anderson, 2005). Jenkinson et al. (2002)'a göre hidrolojik rejime dayanan üç katena bulunmaktadır. Bunlar; 1) dönüşüm katenası (transformasyon süreçleri baskın), 2) yıkanma katenası (yıkanma süreçleri baskın) ve 3) birikim katenası (herhangi bir toprak kaybı yok, birikim vardır)'dır. Bizim çalışmamızda toprakların uzaysal değişkenliği yerel hidrolojinin yüzeyaltı topografyası tarafından kontrol edilmesiyle ortaya çıktığı düşünülmektedir.

Çalışma tepe-eğim modelinin beş farklı pozisyonunda (zirve eğim, omuz eğim, arka eğim, ayak eğim, parmak eğim) yürütülmüştür. Çalışma alanında her bir tepe-eğim pozisyonu için ölçümler yapılmıştır ve aynı zamanda bir kepçe ile her pozisyonu temsilen 31 adet toprak profili açılmıştır. Açılan toprak profillerinden 2 tanesinde su bulunduğundan profil tanımlaması yapılamamış ancak su örneği alınarak sulama suyu analizi yapılmıştır.

Açılan her toprak profilinde horizonlarda derinlik, kalınlık, horizonlar arası sınır, horizonun tekstürü ve strüktürü, rengi, kıvamı, köpürme, kök dağılımı, taşlılık, gözeneklilik, redoximorfik özellikler, eğim sınıfı-derecesi, ana materyal, plastiklik, yapışkanlık, dağılganlık, yüzey özellikleri, toprak çatlakları ve özel görünümle tanımlanarak profil tanımlama kartlarına not edilmiştir (Şekil 3.6). Toprak morfolojik özelliklerinin tanımlanması "Field Book For Describing and Sampling Soils. 2012 version 3. National Soil Survey Center,

Natural Resources Conservation Service U.S. Department of Agriculture" de belirtildiği şekilde yapılmıştır.



Şekil 3.6 Arazide açılan profil tanımlama çalışmaları

3.2.2 İnfiltrasyon Hızı ve Hidrolik İletkenliğin Ölçülmesi

Açılan her bir profilin etrafındaki 5 noktadan horizon derinliği esasına göre toprak örnekleri alınmış ve alınan toprak örnekleri laboratuvara getirilerek analiz edilmiştir. Ayrıca açılan profillerde her bir horizontan ayrı ayrı hacim ağırlığı, nem ve tarla kapasitesi için 5 tekerrür olacak şekilde bozulmamış toprak örnekleri alınmıştır. Aynı zamanda toprak örneklerinin alındığı bölgeyi temsilen 5 noktada tansiyon infiltrometresi ile infiltrasyon ölçümleri ve horizon esasına göre de Guelph permeametri ile hidrolik iletkenlik ölçümleri yapılmıştır (Şekil 3.7.a-b). Bu bağlamda 495 adet hidrolik iletkenlik testi, 155 adet infiltrasyon testi yapılmış olup, toplam 486 adet toprak örneği alınmıştır. İnfiltrasyon hızının belirlenmesinde kullanımı hızla yaygınlaşan tansiyon infiltrometreleri kullanılmıştır (Şekil 3.7.a).

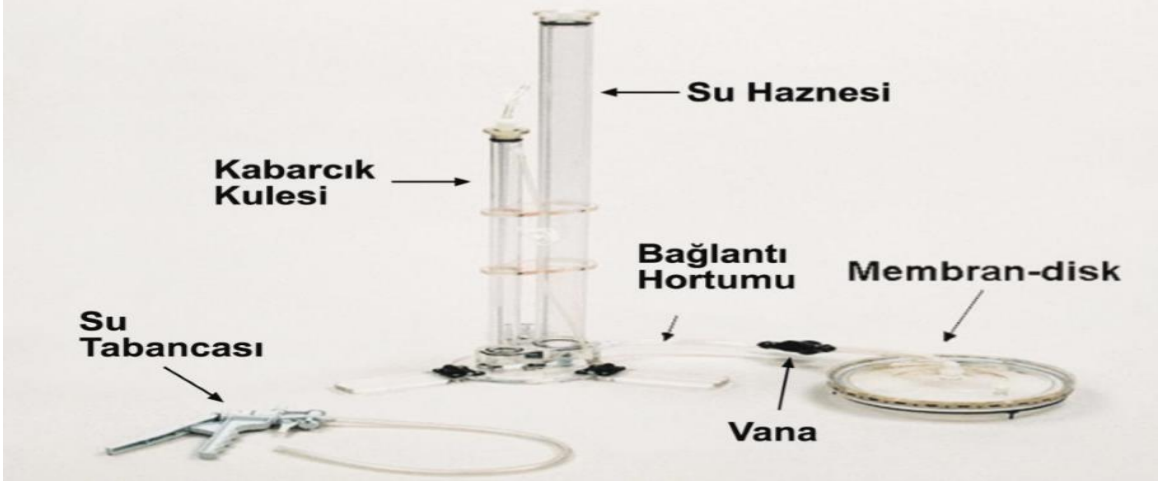
3.2.2.1. Tansiyon İnfiltrometresi

Tansiyon infiltrometresi ile toprakların; doymuş ve doymamış hidrolik iletkenliği, sorptivitesi, makroskopik kapillar uzunluğu ve infiltrasyon hızı belirlenebilmektedir (Perroux and White, 1988). Son yıllarda tansiyon infiltrometresi yarı-doymuş ve doymuş hidrolik iletkenlik ölçümünde tercih edilen bir düzenek olmuştur (Şekil 3.8). Ayrıca tansiyon infiltrometresi yarı doymuş ve doymuş akışı kontrol eden toprak makro yapısında hasara neden olmaz.



Şekil 3.7 Arazide yapılan hidrolik iletkenlik (b) ve infiltrasyon testleri (a)

Tansiyon infiltrometresi 3 ana parçadan oluşmaktadır. Bunlar; kabarcık kulesi (buble tower), su haznesi (reservoir) ve gözenekli plaka (porous baseplate)'dır. Tansiyon infiltrometresinin tasarımı ve kullanımını detaylı olarak araştırmacılar tarafından tanımlanmıştır (Perroux and White, 1988).



Şekil 3.8 Tansiyon infiltrometresinin genel görünümü (Demiray, 2010).

Çalışmada tansiyon infiltrometresi kullanılarak içeriye sızan ve yüzey akışa geçen su miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Belirlenen tepe-eğim pozisyonlarının her birinde infiltrasyon hızı belirlenmiştir. Birikimli infiltrasyon (L), infiltrasyon hızının zamana göre integralidir.

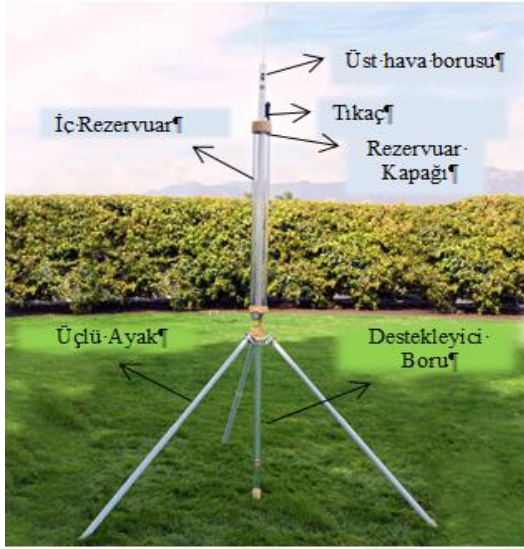
3.2.3 Sorptivite

Toprak kuru olduğu zaman matrik kuvvetlerin etkisi yer çekimi kuvvetinin etkisine göre daha fazladır. Su ile toprak temas ettiği anda matrik kuvvetlerin etkisi azalır ve yerçekimi kuvveti suyun hareketinde baskın kuvvet haline gelir. Toprakta başlangıçta matrik kuvvetlerin etkisi varken ölçülen infiltrasyon hızı sorptivite olarak adlandırılmaktadır (Hussen and Warrick, 1993). Sorptivite; infiltrasyon testinin başlangıçta 0-2 dk'da birikimli infiltrasyon zamanının kareköküne karşı grafiklendiğinde elde edilen doğrunun eğimidir (Minasny and McBratney, 2000).

3.2.4 Doymuş Hidrolik İletkenlik

Arazide açılan 31 adet toprak profilinin çevresindeki 5 noktada horizon esasına göre her bir horizon için hidrolik iletkenlik ölçümleri Guelph Permeametri ile yapılmıştır (Şekil 3.9).

Guelph permeametesinin kullanımı detaylı olarak araştırmacılar tarafından tanımlanmıştır (Reynolds and Elrick, 1985). Guelph permeametesinin kullanılmasının amacı yerinde ölçüm yapmaktır. Tansiyon infiltrometresi ile K_s yaklaşık olarak tahmin edilirken, permeametre ile gerçek sonuç elde edilmektedir.



Şekil 3.9 Guelph Permeametesinin genel görünümü

3.2.5 Temel Toprak Analizleri

Çalışma alanının genel özelliklerini belirlemek amacıyla toprak tekstürü, agregat stabilitesi, pH, elektriksel iletkenlik, toprak organik maddesi, kireç miktarı, tarla kapasitesi, solma noktası, hacim ağırlığı ve kanyon değişim kapasitesi analizleri yapılmıştır. Bu analizlere ait yöntemler aşağıda verilmiştir.

Tarla Kapasitesi; basınçlı kaplar düzeneğinde seramik levha üzerine yerleştirilmiş suyla doymun bozulmamış toprak örneğine 0,33 bar hava basıncı uygulamak suretiyle belirlenmiştir (Cassel and Nielsen, 1986). Daimi solma noktası; basınçlı kaplar düzeneğinde seramik levha üzerine yerleştirilmiş suyla doymun bozulmuş toprak örneği üzerine 15 bar hava basıncı uygulamak suretiyle belirlenmiştir (Cassel and Nielsen, 1986).

Toprak reaksiyonu (pH); 1:2,5 oranında sulandırılmış süspansiyon cam baget yardımıyla ara sıra karıştırılarak 30 dakika bekledikten sonra cam elektrotlu pH metre ile belirlenmiştir (Hendershot et al., 1993). Elektriksel iletkenlik (EC); saf su ile 1:2,5 oranında sulandırılmış süspansiyonda pH ölçümü yapıldıktan sonra aynı süspansiyonda dijital EC metre ile ölçüm yapılmıştır (Janzen, 1993).

CaCO₃ (kireç) içeriği; 0,5 gram toprak örneği tartılarak % 10'luk hidroklorik asit ile Scheibler kalsimetresinde karbondioksit çıkış hacmine göre belirlenmiştir (Kacar, 1996). Organik madde içeriği; Modifiye Walkley - Black yaş yakma yöntemiyle dikromat yükseltgenmesi esasına göre belirlenmiştir (Nelson and Sommers, 1982).

Hacim ağırlığı; hacmi belli (100 cm³) çelik silindirler ile alınmış bozulmamış toprak örneklerinin üzerinden belirlenmiştir (Blake and Hartge, 1986). Toprak tekstürü; toprakların kil, silt ve kum içerikleri Bouyocous Hidrometresi ile ölçülüp tekstür üçgeni kullanılarak belirlenmiştir (Gee and Bauder, 1986).

Agregat stabilitesi; toprakların agregat dayanıklılığı 08.13 ıslak eleme yöntemine göre yapılmıştır (08.13 wet sieving method). (Kemper and Rosenau, 1986). Katyon Değişim Kapasitesi (KDK); sodyum asetat ekstraksiyonu yöntemi ile belirlenmiştir (Chapman and Pratt, 1982).

3.2.6 İstatistiksel Analizler

Çalışma alanından horizon esasına göre alınan her bir toprak örneği için yapılan laboratuvar analiz sonuçları kullanılarak toprak özelliklerinin genel durumunu ve değişimini değerlendirmek için tanımlayıcı istatistikler yapılmıştır. Toprak morfolojik özelliklerini sayısal olarak değerlendirebilmek için kodlama sistemi yapılmıştır. Her bir toprak morfolojik özelliği için ayrı ayrı numaralar verilerek tanımlayıcı istatistikleri yapılmıştır. Tanımlayıcı istatistikte her bir değişken için (kum, kil, silt, pH, EC, organik madde, kireç oranı, katyon değişim kapasitesi, tarla kapasitesi, solma noktası, bitkiye yararlı su içeriği, agregat

stabilitesi, hidrolik iletkenlik, infiltrasyon, sorptivite) aritmetik ortalama, maksimum, minimum, standart sapma, % varyasyon katsayısı, basıklık ve çarpıklık katsayıları SPSS 23 paket programı kullanılarak hesaplanmıştır.

Tanımlayıcı istatistiklerin yapılmasından sonra herbir toprak özelliğini horizon, bakı ve eğim pozisyonu açısından değerlendirebilmek için çift yönlü varyans analizi (ANOVA) ve daha sonra farklılıkların nereden kaynaklandığını görebilmek için post-hoc çoklu karşılaştırma testleri (DUNCAN) yapılmıştır. Burada amaç aynı horizon, bakı ve eğim pozisyonunda yer alan farklı toprakların birbirinden farklı olup olmadığını ve eğer farklı ise farklılığın hangi gruptan kaynaklı olduğunu tespit edebilmektir. Çalışma alanında fazla sayıda değişken olmasından dolayı veri setini basitleştirmek ve toprak değişkenliğinin genel dağılımında etkili olan faktörleri belirleyebilmek için çok değişkenli istatistiksel analiz olan faktör analizi yapılmıştır.

Faktör analizi (principal components) SPSS 23 paket programı kullanılarak önce çalışma alanındaki tüm toprak fiziksel ve kimyasal özellikleri, daha sonra toprak morfolojik özellikleri ve en son olarak da toprak fiziksel, kimyasal ve morfolojik özelliklerinin tümü ayrı ayrı olmak üzere dört aşamada gerçekleştirilmiştir (Nizam et al., 1998). İlk aşamada tüm değişkenler için korelasyon matrisleri hesaplanmıştır Bu aşamada öz değerler ve öz vektörler hesaplanmış olup, öz değerleri 1'e eşit veya 1'den büyük olan gruplar faktör olarak kabul edilmiştir. İkinci aşamada, faktör yüklemesi 0.3 ve daha yüksek olan değişkenler önemli kabul edilerek önemli faktörler scree modeli kullanılarak belirlenmiştir. Üçüncü aşamada, bir değişken birden fazla faktöre yüklenmesinden dolayı analizlerin yorumlanması zorlaştığından değişken sayısını azaltmak için varimax rotasyonu uygulanmıştır. Son aşama olarak faktörler tanımlanmıştır. Toprak özelliklerinin kendi arasındaki interaksiyonlarının yanında toprakların uzaysal ve zamansal değişkenliğinin yüksek olması bölgesel değişkenliğinin karakterizasyonunda zor olduğundan çok değişkenli istatistik yöntemleri ile birlikte jeostatistiksel yöntemler bir arada kullanılmıştır.

Çalışmanın ikinci kısmında jeostatistiksel değerlendirme yapılmıştır. Jeostatistik, toprak özelliklerinin mesafeye bağlı değişimi, örnekler arasındaki ilişkiyi, modelleme ve

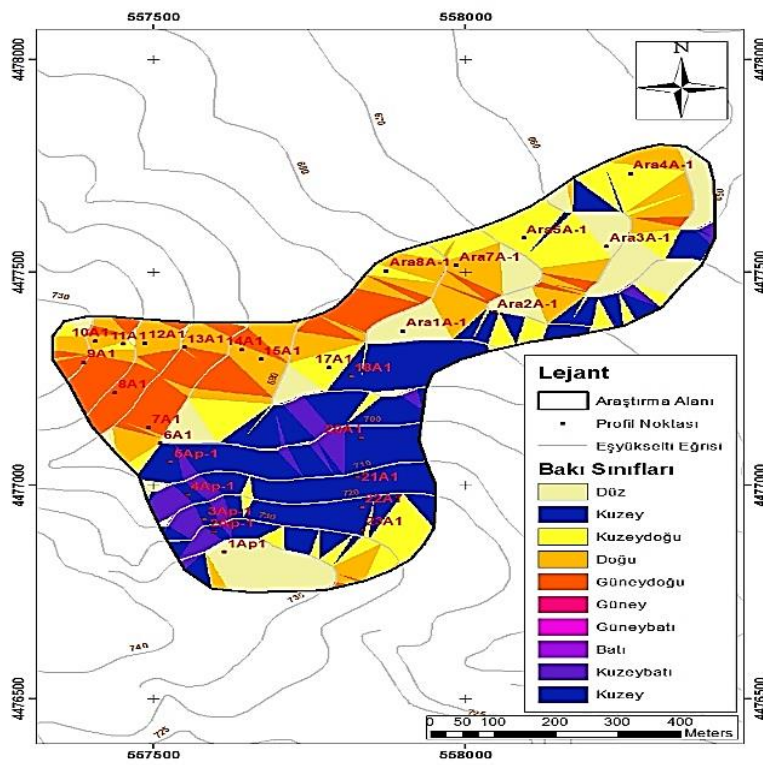
haritalanmasında kullanılan güçlü bir araçtır (Logsdon and Jaynes, 1996; Mulla and McBratney, 2000; Webster and Oliver, 2001). Jeostatistiksel analiz semivariogram ve kriging olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Variogram uzaysal olarak farklı noktalarda bulunan değişkenler arasındaki ilişkiyi ölçerek karakterize ederken, kriging ölçme yapılmayan noktalardaki özelliklerin tahmininde kullanılmaktadır (Trangmar et al., 1985). Çalışma alanına ait semivariogramlar oluşturulurken modelin uygunluğunu gösteren r^2 ve RSS değerlerine bakılarak karar verilmiştir. Bu sebeple Yang et al. (2011)'a göre, en iyi modelin oluşturulması için r^2 değerinin 1'e en yakın, RSS değerinin ise 0'a en yakın olmasına dikkat edilmelidir. Akbaş (2004)'ında belirttiği üzere, uygun semivariogram modelleri aktif lag mesafesi artırılıp azaltılarak seçilmiştir.

Her bir değişken için elde edilen semivariogramlara ait nugget (C_0), range ve sill (C_0+C) değerleri, ayrıca modelin uygunluğunu gösteren r^2 ve RSS değerleri bulunmuştur. Uzaysal bağımlılığın derecesini gösteren % nugget, nugget/sill hesabından elde edilmiştir. Modelleme ile elde edilen parametreler ve çapraz değerlendirme sonucunda ortaya çıkan parametreler tablo halinde verilmiştir. Toprak özelliklerinin mesafeye bağlı değişkenliğinin ifadesinde uzaysal bağımlılık kullanılır. Uzaysal bağımlılık, nugget semivaryansın toplam semivaryansa oranının (C_0/C_0+C) yüzdesel olarak değeridir. Uzaysal bağımlılık değeri $\leq\% 25$ ise değişken kuvvetli uzaysal bağımlı, $\%25-75$ arasında orta derecede uzaysal bağımlı ve $\%75$ 'den fazla ise zayıf uzaysal bağımlı olarak sınıflandırılmaktadır (Di et al., 1989; Isaaks et al., 1989; Trangmar et al., 1985).

Krigleme, semivaryogramın özelliklerini ve örneklenmiş noktaları kullanarak örneklenmemiş noktaları tahmin etmede kullanılan bir yöntemdir (Trangmar et al., 1985). Bunun için daha önce elde edilen en iyi semivariogram modeli ve bu modele ait olan değerler kullanılarak çapraz değerlendirme yapılır. Her bir değişken için elde edilen modellerin başarısını belirlemek amacıyla çapraz değerlendirme yapılmıştır. Bu yöntemde range, sill, nugget, lag sayısı, kullanılan kriging yöntemi ve nokta tahmini için seçilen komşu sayısı oldukça önemlidir (Akbaş, 2004). Bizim çalışmamızda komşu sayısı 16 olarak seçilmiştir. Çapraz değerlendirme sonucunda ölçülen ve tahmin edilen değerler arasındaki korelasyon katsayısı yapılan tahminin başarısını göstermektedir. Korelasyon katsayısı ne kadar yüksek ise yapılan tahmin o derece geçerli olmaktadır (Trangmar et al., 1985).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma alanında 5 farklı bakı (kuzey, kuzeybatı, kuzeydoğu, doğu ve güneydoğu), 1 adet düzlük arazi (Şekil 4.1), 5 farklı eğim pozisyonu (zirve, omuz eğim, arka eğim, ayak eğim ve parmak eğim) ve 4 farklı horizon (A, B_{w1}, B_{w2}, C) bulunmaktadır. Bulguların sunumunda önce çalışma alanından alınan örneklerle ait ilişkin değişkenler bakı, horizon ve eğim pozisyonu ayrımı gözetmeksizin sunulacak, daha sonra herbir değişkenin farklı bakı, eğim pozisyonu ve horizon ile ilişkilerinin belirlenmesi için; bu özelliklere ilişkin analizler bakı, eğim pozisyonu ve horizonlar dikkate alınarak verilecektir.



Şekil 4.1 Çalışma alanına ilişkin bakı haritası

Analiz edilen özelliklerin çok sayıda değişken tarafından etkilenmesinden dolayı, güvenilir ve geçerli bir sonuç elde edebilmek amacıyla post-hoc çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır. Değişkenler arasında fark olup olmadığını, varsa farkın nereden kaynaklandığını değerlendirebilmek için Multiple ANOVA analizi yapılarak sonuçlar verilmiştir. Toprak özelliklerinin kendi aralarındaki ilişkileri ortaya koyabilmek için faktör analizi yapılmıştır.

Faktör analizi önce çalışma alanındaki toprak fiziksel, kimyasal ve morfolojik özellikler için ayrı ayrı daha sonra tüm veriler ele alınarak yapılmıştır.

Bulgular ve tartışma bölümünün ilerleyen kısımlarında. jeostatistiksel değerlendirmede herbir değişkenin mesafeye bağlı değişkenliklerine ait modeller ve model parametreleri ile krigleme sonucu oluşturulan haritalar elde edilmiştir. Son olarak da çalışma alanı topraklarının oluşumu, birbiri ile etkileşimi, sonuçları ve hidropedolojik açıdan değerlendirilmesi yapılmıştır.

4.1 Tanımsal İstatistikler

4.1.1 Çalışma Alanı Topraklarının Parametrik ve Morfolojik Özelliklerine İlişkin Tanımsal İstatistikleri

Çalışma alanına ilişkin toprak özelliklerinin tanımsal istatistikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Çalışma alanı toprakları organik maddece fakir (1,73), kireçli (%22,5), tuzsuz (EC: 0,69 dS/m) ve alkalın (pH: 8,28) dir. Toprakların ortalama kil içeriği % 42,1, kum içeriği % 31,1 ve silt içeriği % 26,8’dir (Çizelge 4.1). Çalışma alanındaki toprak tekstürü genellikle kumlu kildir. Çalışma alanı topraklarının pH’sı 7,45-8,79 arasında değişmektedir

Çalışma alanında K_s için aritmetik ortalama 2,21 (cm/s), en küçük değer 0,01 (cm/s) ve en büyük değer de 14,19 (cm/s) olarak bulunmuştur. Ortalama değer ile en büyük değer arasındaki farkın, ortalama ile en küçük değer arasında farktan büyük olması çalışma alanında bazı aşırı yüksek değerlerin olduğu bölgelerin varlığına işaret eder. Çizelge 4.1’e göre kireç miktarı için aritmetik ortalama 22,53 (%), en küçük değer 3,64 (%) ve en büyük değer de 68 (%) olarak bulunmuştur. En büyük değer en küçük değere göre ortalamadan uzak olması çalışılan alanda aşırı yüksek değerlerin bulunduğu bölgeleri işaret eder (Yetgin, 2004).

Aritmetik ortalama her zaman verilerin değerlendirilmesinde yeterli olmamaktadır. Ortalamanın yanısıra değişkenlik ölçümlerinden varyans, standart sapma ve varyasyon

katsayısının hesaplanması gerekmektedir. Standart sapma veri setinin birimi ile aynı olduğundan varyansa göre daha fazla kullanılmaktadır. Standart sapma ne kadar yüksek ise verilerin değişkenliği o kadar yüksek demektir. Fakat buradaki kısıtlama, standart sapmanın değişkenlik ile aynı birimde olmasından dolayı, farklı ölçü birimleri ile kıyaslanmasının mümkün olmamasıdır. Farklı verilerin birbiri ile kıyaslanmasında değişkenlik (varyasyon) katsayısı kullanılmaktadır (Yetgin, 2004). Varyasyon katsayısı $< \%15$ ise ilgili özelliğin düşük derecede değişken, $\%16-35$ ise orta derecede değişken ve $> \%36$ ise yüksek derecede değişken kabul edilmektedir (Wilding et al., 1994).

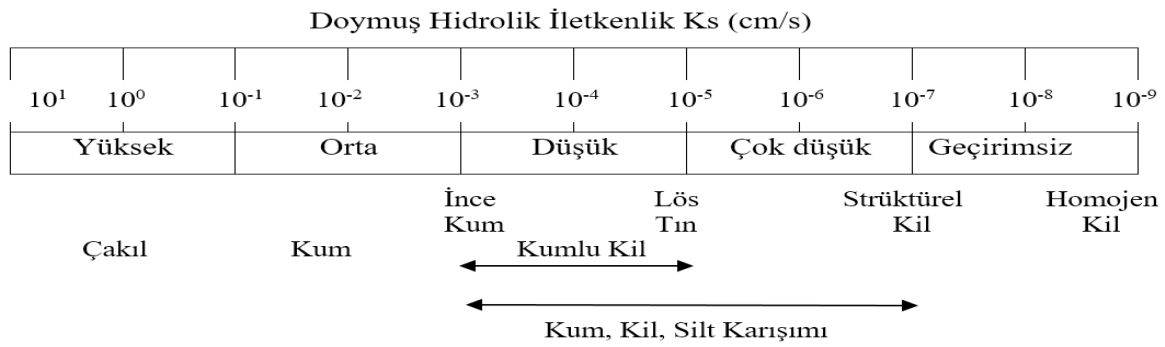
Elde edilen sonuçlara göre D_b , pH ve TOM'a ilişkin standart sapma düşük (0,13, 0,20, 0,85) fakat EC'e değerine ilişkin standart sapma yüksektir (652,93). Standart sapmanın düşük olması bu özelliklerin basık, yüksek olması ise yayvan bir dağılım gösterdiği anlamına gelmektedir (Warrick, 1980). Çalışma alanında ölçülen toprak özelliklerinin değişkenliklerini birbiri ile kıyaslayabilmek için varyasyon katsayılarına bakıldığında, en yüksek EC, agregat stabilitesi ve doymuş hidrolik iletkenliğin (K_s) değişkenlik gösterdiği (sırasıyla $\%94,6$, $\%102,5$, $\%109,5$), pH'nın ise düşük düzeyde değişkenlik gösterdiği ($\%2,41$) görülmektedir. pH'nın az değişkenlik göstermesini yapılan diğer çalışmalar da desteklemektedir (Erşahin, 1999a; Mulla and McBratney, 2000). Bu sonuca göre pH, arazi boyunca daha fazla benzerlik gösterirken, EC'nin ise aşırı farklılık gösterdiği yorumu yapılabilir.

Hacim ağırlığı (D_b) ve pH düşük derecede, tarla kapasitesi (TK)ve solma noktası (SN) orta derecede, toprak organik maddesi (TOM), örnekleme anındaki nem miktarı (öanm), kireç içeriği, EC, kum, kil ve silt miktarı, agregat stabilitesi (AS), bitkiye yararlı su içeriği (BYSİ), doymuş hidrolik iletkenlik (K_s) ve katyon değişim kapasitesi (KDK) yüksek derecede değişkenlik göstermektedir (Çizelge 4.1).

Tokat Kazova'da toprakların uzaysal değişkenliğinin belirlenmesi için yapılan bir çalışmada Erşahin (1999a), en büyük varyasyon katsayısını KDK için, en küçük varyasyon katsayısını ise pH için bulmuştur. Bizim çalışmamızda ise en büyük varyasyon katsayısı K_s için bulunmuştur. Buna benzer yapılan başka bir çalışmada Kaliforniya'da 32,4 ha'lık bir alanda

toprakların uzaysal değişkenliğine bakılmış ve araştırmacılar EC için yüksek, pH için düşük varyasyon katsayısı bulmuşlardır (Corwin and Lesch, 2005).

Çizelge 4.1'e göre araştırma alanı topraklarının K_s ortalaması 0,00071 cm/s çıkmıştır. Bu değer K_s sınıflandırmasında çok düşük sınıfa girmektedir (Şekil 4.2). Çalışma alanı tekstürü killi ve kumlu kil olduğundan bu sonuç beklenmektedir.



Şekil 4.2 Doymuş hidrolik iletkenlik (K_s) sınıflandırması Klute and Dirksen (1986)'dan uyarlanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, en fazla değişkenlik gösteren ($VK= 109,5$) toprak özelliklerinden bir tanesi de K_s (doymuş hidrolik iletkenlik)'dir (Çizelge 4.1). Bu değişkenlik, çalışma alanındaki yersel topografik farklılıklar ile toprak işleme ve tekstürdeki farklılıkların K_s üzerinde yaptığı etkiden kaynaklanmaktadır. Buna benzer sonuçlar yapılan birçok çalışmada rapor edilmiştir. Örneğin, K_s 'in arazi boyunca değişkenliğinin analiz edilmesi amacıyla yapılan bir çalışmada, işlenen ve işlenmeyen topraklarda K_s ölçülmüştür. Çalışma sonunda araştırmacılar işlenen topraklarda varyansın 10,3, işlenmeyen topraklarda ise 4,2 olduğunu rapor etmiş, aradaki farkın toprak işleme sonucu hacim ağırlığındaki değişmeye bağlamışlardır (Öztekın and Erşahin, 2006). Toprakların gözenek şekli ve boyutunun değişmesi, agregat stabilitesindeki farklılıklar, toprağın kil tipi ve organik madde içeriği gibi değişkenler K_s üzerinde önemli değişkenliğe neden olmaktadır. Çalışma alanından elde edilen K_s verilerine ait değişkenlik Çizelge 4.1'de verilen değerler ile uyumludur.

Varyasyon katsayısı, incelenen parametrelerin değişkenliği hakkında bilgi verdiğiinden jeostatistiksel analizler için oldukça önemlidir. Genellikle incelenen özelliğe ait değişkenlik

ne kadar düşük ise, değişken o kadar uzun masafeli uzaysal bağımlılık gösterir (Yetgin, 2004). Yapılan alışmalar sonucunda bazı toprak özelliklerine ait varyasyon katsayısı ve değişkenlik derecesi Mulla and McBratney (2000), tarafından belirlenmiştir (izelge 4.2).

Çizelge 4.2 Bazı toprak özelliklerine ait varyasyon katsayısı ve değişkenlik derecesi (Mulla and McBratney, 2000).

Toprak zelliği	Varyasyon Katsayısı (%)	Değişkenliğin Derecesi
pH	2-15	Düşük
Gözeneklilik	7-11	Düşük
Hacim Ağırlığı	3-26	Düşük-Orta
Kum	3-37	Düşük-Orta
Kil	16-53	Orta-Yüksek
0.01 Mpa Su İçeriği	4-20	Düşük-Orta
1.5 Mpa su İçeriği	14-45	Orta-Yüksek
Organik Madde Miktarı	21-41	Orta-Yüksek
İnfiltrasyon Hızı	23-97	Orta-Yüksek
EC	91-263	Yüksek
Doymuş Hidrolik İletkenlik	48-352	Yüksek

Değişkenlik ölçütleri veri setlerine ait değişkenliği ölçmekte kullanılırdırlar fakat veri setinin dağılma şekillerini belirtmezler. Dağılma şekillerinin belirlenebilmesi için arpıklık ve basıklık katsayılarını göz önünde bulundurmak gerekir. Verilere ait arpıklık katsayısı sıfır ise dağılımın simetrik (normal), sıfırdan büyük ise sağa çarpık ve sıfırdan küçük ise sola çarpık olduğu kabul edilir (Günal et al., 2008).

Basıklık katsayısı verilerin ortalama etrafında nasıl dağıldıklarını göstermektedir. Basıklık katsayısı 3 olduğunda normal dağılım, 3'den büyük olduğunda yayvan ve 3'den küçük olduğunda ise sivri bir dağılım söz konusudur. Diğer bir ifadeyle, sivri dağılımda veriler ortalamanın çevresinde toplanırken, yayvan dağılımda ise veriler ortalamadan uzaklaşmaktadır (Orhunbilge, 2000). Yapılan analiz sonuçlarına göre kil (-0,51) ve solma noktası (-0,60) değişkenleri negatif arpıklık katsayısına sahip olduklarından hafif sola yatık bir dağılım göstermektedir. Diğer bir deyişle, verilerin büyük bir çoğunluğu ortalamanın sağındadır ve az sayıda çok küçük değer vardır ve bu değerler ortalamayı sola doğru çekmektedir. K_s değişkenler arasında en yüksek arpıklık katsayısına sahiptir ve bu da alan içerisindeki bazı bölgelerde aşırı yüksek değerlerin olduğunu göstermektedir (Erşahin, 1999a) (izelge 4.1).

Değişkenlerin basıklık katsayılarına bakıldığında K_s 'in basıklık katsayısı 3'den büyük olduğu için yayvan bir dağılım gösterirken (6,96), diğer toprak özellikleri ise 3'den küçük oldukları için daha sivri bir dağılım göstermektedir. Benzer şekilde Sağlam (2013) tarafından yapılan bir çalışmada, K_s 'in çalışılan toprak özellikleri arasında en yayvan dağılım gösteren toprak özelliği olduğu rapor edilmiştir.

Çalışma alanı topraklarının AS değerleri % 0,02-% 10,99 arasında değişmekte olup, bu değer çalışma alanı topraklarının çok düşük agregat stabilitesine sahip olduğunu göstermektedir (Çizelge 4.1). Çalışma alanı topraklarının kil miktarı, kireç içeriği ve TOM, AS değerinin oldukça değişken olmasına (VK=102,5) neden olmuştur. Yarı-kurak iklimde yer alan çalışma alanı açısından AS'nin kuvvetli olması, agregatların rüzgâr erozyonuna karşı dirençli olmaları açısından önemlidir. Agregat stabilitesinin değişken olması, arazi boyunca belirli bölgelerin rüzgâr erozyonuna hassas olduğuna işaret edebilir. Nitekim yapılan bir çalışmada, tarla koşullarında AS değerlerinin toprakların yüzey akışa ve erozyona dayanıklılıklarının ortaya konulmasında iyi bir gösterge olduğu ve alana özgü yönetim uygulamalarında önemli olduğu belirtilmiştir (Barthes and Roose, 2002).

Çizelge 4.1 Çalışma alanı topraklarının parametrik ve morfolojik özelliklerine ilişkin tanımsal istatistik analiz sonuçları (N:486)

Değişkenler	Örnek sayısı	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Standart sapma	Varyans	Çarpıklık	Basıklık	Varyasyon Katsayısı (VK)
TOM (%)	486	0,03	3,67	1,73	0,85	0,73	0,10	-0,83	49,13
Db (g/cm ³)	486	1,00	1,55	1,27	0,13	0,02	0,11	-1,04	10,20
≠ÖASİ (%)	486	1,39	34,11	14,96	7,41	54,9	0,10	-0,71	49,53
CaCO ₃ (%)	486	3,64	68,00	22,53	8,81	77,68	0,98	1,97	39,10
EC (µS/cm)	486	10,00	2180	690,0	652,93	426322,8	1,15	-0,06	94,62
pH	486	7,45	8,79	8,28	0,20	0,04	0,12	0,08	2,41
Kum (%)	486	7,20	67,00	31,13	12,08	146,04	0,76	0,03	38,80
Kil (%)	486	0,80	74,30	42,05	19,03	362,33	-0,51	-0,86	45,25
Silt (%)	486	0,90	73,40	26,86	15,40	237,32	1,08	0,85	57,33
Agregat Stabilitesi (%)	486	0,02	10,99	2,00	2,05	4,22	1,58	2,35	102,5
TK (%)	486	11,75	53,29	32,86	6,65	44,27	0,17	0,20	20,23
SN (%)	486	5,13	33,09	21,50	4,98	24,81	-0,60	0,37	23,16
BYSİ (%)	486	0,28	35,01	11,22	6,29	39,63	0,60	0,22	56,06
K _s (cm/s)	486	0,01	14,19	2,21	2,42	5,90	2,43	6,96	109,50
KDK (meq/100gr)	486	1,13	41,56	24,4	10,03	100	-0,46	-0,93	41,10
Sorptivite (cmsn ^{-0.5})	174	0,19	16,40	2,20	2,80	7,87	2,46	6,41	127,00
İnfiltrasyon Hızı (cmsa ⁻¹)	174	0,10	11,18	3,35	2,81	7,92	0,80	-0,43	83,88
Benek (Mottles)	81	0,00	3,00	0,24	0,68	0,46	2,57	5,27	283,30
Konsantrasyonlar	81	0,00	20,00	5,11	5,90	34,82	0,97	-0,37	115,45
Pedalite	81	1,00	22,00	7,24	5,38	29,03	0,73	0,16	74,30
Kırılganlık	81	1,00	19,00	7,65	4,64	21,55	0,46	-0,96	60,65
Yapışkanlık	81	1,00	4,00	2,00	0,79	0,62	0,15	-0,97	39,50
Plastiklik	81	1,00	4,00	2,01	0,74	0,56	0,16	-0,70	36,81
Gözenek Sınıfı	81	0,00	3,00	1,06	0,59	0,35	0,33	0,96	55,60
Gözenek Boyutu	81	0,00	5,00	1,37	0,99	0,98	1,15	1,88	72,20
Gözenek Şekli	81	0,00	4,00	1,34	1,05	1,10	1,18	0,79	78,30
Kök Sınıfı	81	0,00	3,00	1,07	0,59	0,35	0,33	0,96	55,10
Kök Boyutu	81	0,00	5,00	1,40	0,99	0,99	1,03	1,63	70,70
Kök Şekli	81	0,00	4,00	1,34	1,05	1,10	1,18	0,79	78,30

TOM: Toprak Organik Maddesi, D_b: Hacim Ağırlığı, ≠: Örnekleme Anındaki Su İçeriği, TK: Tarla Kapasitesi, SN: Solma Noktası, BYSİ: Bitkiye Yararlı Su İçeriği, K_s: Doymuş Hidrolik İletkenlik, KDK: Katyon Değişim Kapasitesi.

Çalışma alanında açılan 31 adet toprak profilinin herbirinin etrafında 5 noktada infiltrasyon testleri yapılmış olup infiltrasyon testlerine ilişkin tanımlayıcı istatistik sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Buna göre infiltrasyon hızı için aritmetik ortalama $3,35 \text{ (cmsa}^{-1} \text{)}$, en küçük değer $0,10 \text{ (cmsa}^{-1} \text{)}$ ve en büyük değer ise $11,18 \text{ (cmsa}^{-1} \text{)}$ olarak bulunmuştur. En büyük değer en küçük değere göre ortalamadan uzak olması çalışılan alanda bazı aşırı yüksek değerlerin bulunduğu bölgelerin varlığına işaret etmektedir. Benzer çıkarımlar sorptivite için de yapılabilir. Çizelge 4.1’e göre İH ortalaması $3,35 \text{ (cmsa}^{-1} \text{)}$ olup, infiltrasyon hızı için yapılan sınıflandırmada orta sınıfa girmektedir (Tablo 4.1).

Tablo 4.1 İnfiltrasyon hızı sınıfları Kohnke (1968)’dan uyarlanmıştır.

İnfiltrasyon Sınıfı	İnfiltrasyon Hızı (cm/sa ⁻¹)
Çok yüksek	> 25,4
Yüksek	12,7 - 25,4
Orta yüksek	6,3 - 12,7
Orta	2 - 6,3
Orta düşük	2 - 0,5
Düşük	0,5 - 0,1
Çok düşük	< 0,1

Çizelge 4.1’e göre İH yüksek derecede değişkendir. İnfiltrasyon toprak yüzeyinin topografik yapısından oldukça etkilenmektedir. Tepe-eğim arazilerin depresyon bölgelerinde toprak su içeriği daima daha fazladır. Bu fazlalık, tepe-eğimin diğer pozisyonlarındaki infiltrasyon değeri ile kıyaslandığında değişkenliğe sebep olmaktadır. Çıkan sonuca benzer bir çalışmada (Rifat, 2015), infiltrasyon hızınının değişkenliğine bakılmış olup, araştırmacılar infiltrasyonun bu denli yüksek değişkenliğini mikro-rölyefin etkisine bağlamışlardır. İnfiltrasyon çoğu zaman yüzey toprağının karakteristikleri etkisindedir. Toprağın gözenekliliği ve hacim ağırlığı infiltrasyonu önemli derecede etkiler. Çalışma alanındaki bazı bölgelerin işlenmiş olması hacim ağırlığını düşürerek arazi boyunca infiltrasyonun değişkenliğini artırmıştır. Toprak hidrolik özelliklerinin değişimine bakıldığı bir çalışmada infiltrasyondaki yüksek değişkenliğin en önemli kaynağı olarak toprak işleme uygulamaları gösterilmiştir (Van Es et al., 1999). Elde edilen sonuçlara göre, infiltrasyon testlerinin yapıldığı yüzey toprağında ortalama TOM % 2,35’tir. TOM değeri göz önüne alındığında bu miktar yüksektir. Bunun nedeni infiltrasyon testlerinin yapıldığı dönemde bazı bölgelerde toprak yüzeyinin bitkilerle kaplı olması ve ve bu bitkilerin toprağa karışarak organik madde miktarını artırması olabilir. Yapılan diğer çalışmalar, bu çalışmada bulunan sonucu destekler niteliktedir (Demiray, 2010; Li et al., 2011; Sela et al., 2014).

Sorptivite değişik topraklara göre değişik değerler alan toprak hidrolik özelliğidir. Bizim alışmamızda sorptivite yüksek derecede değişkenlik ($VK=127$) göstermiştir. Sorptivite toprağın başlangıç su içeriğine bağlı olarak değişmektedir. Sorptivitedeki yüksek değişkenlik, çalışma alanı topraklarının infiltrasyon ölçümleri esnasındaki su içeriğinin değişken olmasından da kaynaklanmış olabilir. İnfiltrasyon hızını etkileyen tüm özellikler sorptivite üzerinde de etkili olmaktadır. Bu sebeple, arazinin eğim durumu, topografik yapısı, toprak işleme ve tekstür gibi özelliklerin farklı olması, arazide sorptivitenin farklı değerler almasına sebep olmuştur. Sorptivite ve İH, toprak yüzey özellikleri tarafından önemli şekilde kontrol edildiğinden, toprak yüzeyini etkilyen süreçler ve bu süreçlerin uzaysal ve zamansal değişimi sorptivite ve İH değişkenliği üzerinde oldukça etkilidir.

Toprak morfolojik zellikleri Schoeneberger (2012) tarafından belirtilen şekilde belirlenmiştir. Profil tanımlama kartlarına not edilen özellikler daha sonra istatistiksel analiz için yine (Schoeneberger, 2012) belirttiği şekilde kodlama yapılarak analiz edilmiştir. Yapılan yorumlar da kodlama sistemi esas alınarak yapılmıştır. zelliklere ait yapılan tüm kodlamaların ayrıntıları Ek 3’de verilmiştir.

Çalışma alanında yapılan toprak morfolojik özelliklerine ait tanımsal istatistik izelge 4.1’de verilmiştir. Toprak profillerinin tanımlanması esnasında, birçok profile beneklerin (mottles) olduğu gözlenmiştir. Redoks zellikler (mottles, düşük kromalı renk benekleri) demir (Fe) ve mangan (Mn) bileşiklerinin toprakta indirgenme koşulları tarafından meydana gelir (Galbraith, 2005). Redoksimorfik özelliklerden benekler miktar ve büyüklük açısından 0-3 arasında sınıflandırılmış olup, ‘ok az’ sınıfında yer almaktadırlar. Ancak arazide açılan bazı profillerde, tanımlama esnasında 40 cm’den sonra ve de çoğu horizontda ped içi gri benekler de grlmştir. Bunun nedeninin bu arazilerde yüzey sularının burada birikmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çalışma alanında açılan 16 ve 19. profillerde su bulunması sebebiyle tanımlama yapılamamış, ancak bu topraklarda sarımsı-kırmızımsı benekler gözlenmiştir. Bunun nedeni profilin belirli bir derinlikten sonraki kısmının su ile doygun olmasına bağlanmıştır. Nitekim bu sonuca benzer sonuçlar, yapılan bir çalışmada da rapor edilmiştir (Durak and Kılıç, 1997) (şekil 4.3).

Profilde ped içindeki grileşme su tablasının ortalama pozisyonunu belirtirken, redoks konsantrasyonlar su tablası seviyesindeki dalgalanmalar ile ilgilidir (Vepraskas and Guertal, 1992). Redoksimorfik özellikler geçmiş hidrolojik koşullar hakkında bilgi verebilirler fakat bu özellikler paleo iklim ile ilişkilendirilirken dikkat edilmesi gerekmektedir (Rabenhorst and Lindbo, 1998).



Şekil 4.3 Çalışma alanında parmak eğimde (toeslope) taban suyu ve bunun neden olduğu benekler

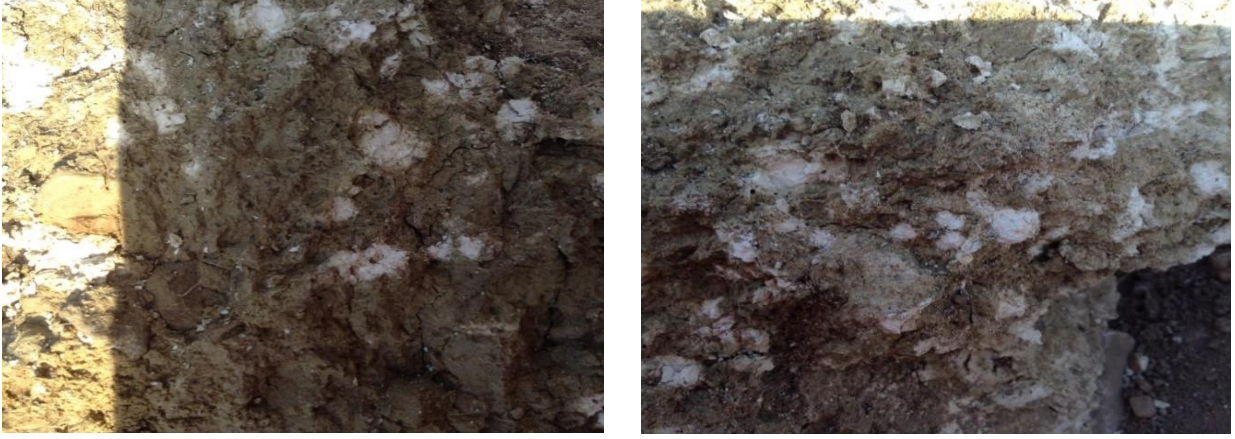
Redoksimorfik özellikler azalan Fe ve oksitlenebilir karbon miktarına bağlıdır. Redoksimorfik olaylar ölü bitki köklerinin çevresinde gerçekleşir. Yüzey toprağında ve A horizonunda bitki kökleri daha yoğunken, C horizonunda organik karbon seviyesi düşük olduğundan kökler az sayıdadır. C horizonunda mikrobiyal popülasyonun düşük olmasından dolayı indirgenme ilk olarak az olan köklerin etrafında gerçekleşir (Severson et al., 2008).

Literatürde tanımlanan üç çeşit redoksimorfik konsantrasyon vardır. Bunlar; nodüller ve konkresyonlar, kütleler ve gözenek kaplamalarıdır. Nodüller ve konkresyonlar sert ve taş benzeri Fe-Mn oksit birikimleri; demir kütleleri matriste bulunan yumuşak birikimler ve gözenek kaplamaları kök kanalı veya yapısal (structural) çatlak boyunca veya çevresinde meydana gelen yumuşak dokulu birikimlerdir (Vepraskas et al., 2000). Kumlu topraklarda organik C düşük olduğundan redoks özelliklerin oluşum hızı da düşüktür. Ancak kumlu toprakların drenaj hızı fazla olduğundan bu topraklarda demir indirgenmesinin önlenmesi unutulmamalıdır (Morgan and Stolt, 2006). Toprakların redoksimorfik özellikleri mevsimlere göre önemli değişiklikler gösterir. Ortaya çıkan en büyük değişiklik taban suyu veya durgun suyun etkisi altında olan horizonlarda görülmektedir. Demir ve manganın redoks durumlarının farklı olması, bu elementlerin

birbirinden ayrı ayrı horizonlarda veya bölgelerde birikmelerine veya farklı konkresyon şeklinde ortaya çıkmalarına neden olur (Schaetzl and Anderson, 2005).

Toprakta meydana gelen redoksimorfik özellikler, farklı bileşiklerin kendine özgü redoks özellikleri tarafından belirlenen sıraya göre değişir. Örneğin, O₂ ortamda tamamen bitmeden hemen önce ilk olarak nitratın NO, N₂O ve N₂'ye redüksiyonu başlar. Meydana gelen bu süreç tarımsal açıdan büyük önem taşımaktadır çünkü toprağa nitrat şeklinde verilen azotun önemli bir kısmının gaz halinde kayıplarına neden olur (Scheffer and Schachtschabel, 2001). Mikrobiyal olarak başlayan redoks özellikler mikro ölçekteki birçok pedolojik faktörün mikromorfolojik karakteristikleriyle daha iyi anlaşılabilir. Bir matris içinde organik veya mineral kökenli öğelerin konsantrasyon ya da dağılımlarının farklılaşmasıyla ortaya çıkan pedolojik özellikler daha ayrıntılı incelenmelidir (Lin, 1999).

Konsantrasyonlar nodülleri ve konkresyonları kapsamaktadır. Konkresyonlar genelde ikiye kırılabilir bir yapıya sahipken, nodüller genelde üniform dağılırlar (Durak and Kılıç, 1997). Bu tanımlamaya göre, çalışma alanında gözlemlenen yapılar nodül olarak kabul edilmiştir. Nodüller sınıf-büyüklik-şekillerine göre 0-20 arasında sınıflandırılmış olup, ortalaması 5,11'dir (Çizelge 4.1). Bu sonuca göre arazide genel olarak 'az -orta -silindirik' yapıda nodüller bulunmaktadır. Nodüllere genel olarak omuz eğim (shoulder) ve arka (back slope) eğimde rastlanmıştır. Bunun nedeni, bu eğim pozisyonlarında toprak neminin azalmasına bağlı olarak kalsiyum karbonatın çökmesinden kaynaklanmış olabilir. Nitekim yarı-kurak bir alanda yapılan bir çalışmada alt horizonlarda kireç benekleri gözlenmiş olup, araştırmacılar bunun nedenini ana materyalin etkisine bağlamışlardır (Dengiz et al., 2009). Toprak yüzeyinden alt horizonlara doğru yıkanan kirecin biriktiği derinlik tekstür, geçirgenlik, su tutma kapasitesi ve toprak içine taşınan suyun miktarına bağlıdır (Amit et al., 2010; Shankar and Achyuthan, 2007). Bu sebeple kireç birikmeleri çalışma alanı genelinde farklı derinliklerde görülmüştür (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Çalışma alanında 31 nolu profilde görülen nodüller

Çalışma alanında açılan profillerde artan toprak derinliği ile redoksimorfik özelliklerin meydana gelmesinden dolayı düşük kromalı renkler ortaya çıkmıştır. Bu sebeple A horizonunun daha koyu renkli olduğu görülmektedir. Tepe-eğim modelinin depresyon bölgelerinde suyun akış yollarından dolayı redoks özellikler karmaşık bir dağılım sergiler. Redoksimorfik özellikler por ve boşluk gibi yerlerde oluştuysa 'in-situ' (Lindbo and Richardson, 2001), yıkanan eğer kil ve organik madde ile kaplıysa muhtemelen kalıntı olurlar (Vepraskas and Wilding, 1983). Bir horizontunda hem eski, hem de yeni oluşmuş redoks özellikler olabilir ve bunlar topraktaki hidrolojik koşullar hakkında önemli bilgiler sunarlar. Ancak mevcut hidrolojik koşulların değerlendirilmesinde yeni oluşan redoksimorfik özelliklerin dikkate alınması gerekmektedir (Muggler et al., 2001).

Redoksimorfik özelliklerin hangi zamanda meydana geldiğini anlayabilmek için, nodüllerin şekillerine bakılmaktadır. Özellikle yuvarlak nodüllerin mevcut hidroloji ile alakalı olduğu (Richardson and Hole, 1979), diğer şekillerin ise yerinde oluşmamış nodüller olduğu söylenebilir (McCarthy and Plint, 1998). Çalışma alanında çok net olmamakla birlikte nodüllerin genellikle yuvarlak olduğu düşünülmektedir (Şekil 4.4). Ancak redoksimorfik özelliklerin hidroloji ile ilişkilendirilebilmesi için daha detaylı mikroskobik araştırılmasının yapılması gerekmektedir (Vepraskas and Guertal, 1992). Toprak mikromorfolojisindeki detaylı ayrıntıların belirsizliğini giderebilmek için ince kesitlerin örnekleri alınıp, hidrolojik ve redoks koşulların izlenmesi gerekmektedir (Kemp et al., 1998).

Karbonatlar çoğunlukla topraktan evaporasyon ile su kaybının yoğun olduğu yarı-kurak iklimlerde yağışın karbonatları toprak profilinden uzaklaştırmaya yetmediği durumlarda toprak

profili içerisinde birikmektedirler (Gunal, 2001). Çalışma alanı topraklarında pedogenik süreçler sonucunda toprak profili içerisinde kalsiyum karbonat birikiminin olduğu ve bu birikim sonucunda kalsik ve zamanla sertleşip çimentolaşmanın etkisi ile petrokalsik horizonlarının olduğu görülmektedir. Kalsik ve petrokalsik horizonun varlığı toprakta kalsiyum ve magnezyum karbonatların birikiminden kaynaklanmaktadır (Schoeneberger, 2012). Kalsik horizona sahip topraklar dünyanın birçok bölgesinde yarı-kurak iklimelerde yaygın olarak görülmektedir (Sobecki and Wilding, 1982). Kalsik horizona kireç birikimini tanımlamak kolaydır. Çalışma alanında beyaz ve gri ağimsı yapılar gözlenmiştir. Bu yapılar profilde genelde beyaz pudramsı dolgular, konkresyonlar ve sarkıtlar şeklinde bulunur (Dinç et al., 1987) (Şekil 4.4).

Morfolojik gözlemlere dayanan pedalite ‘tip, -sınıf, -boyut’ olarak 1-22 arasında sınıflandırılmış olup, çalışma alanında genel olarak ‘zayıf, -çok küçük, -yarı-köşeli blok’ pedalite hâkimdir. Bu pedaliteye sahip topraklarda erozyon ve yüzey akışı sık sık görülmektedir. Toprak kıvamı; toprak yapışkanlığı, kırılgenlik ve dağılıbilirlik özelliklerini içerir. Çalışma alanında kırılgenliğe kuru ve nemli iken bakılmış olup, kırılgenlik değeri 1-19 arasında sınıflandırılmıştır. Genel olarak çalışma alanı topraklarının kırılgenliği kuru iken ‘az sert’; nemli iken ‘çok kırılgen’ dir. Nitekim profil tanımlaması esnasında toprak neminin düşük olduğu eğim pozisyonlarındaki toprakların daha sert olduğu gözlenmiştir.

Toprak kıvamının yeterli olmaması, toprak işlemede önemli sorunlara yol açmaktadır. Toprak kıvamı, toprağın sıkışması, parçalanması, dağılıbilirlik, plastiklik ve yapışkanlık gibi özelliklerini içerir (Erşahin, 2001). Yeşilsoy (1995)’e göre dağılıbilirlik, toprağın küçük toprak parçacıklarına kolayca parçalanabilmesini ifade eder. Böyle bir durumda toprak zerreleri arasındaki kohezyon çok düşüktür ve toprağın nem içeriği plastiklik oluşturabilecek kadar fazla değildir. Dağılıbilir kıvam ise, bitki gelişimi bakımından tavin optimum duruma eriştiği durumdur. Diğer bir deyişle dağılıbilir kıvam, toprağın minimum kuvvetle en iyi şekilde işlendiği toprak kıvamıdır (Erşahin, 2001). Yapılan bir çalışmada (Tuncer and Birand, 1978), killi bir toprağın organik madde içeriğinin toprak kıvamını, plastikliği ve yapışkanlığı artırdığı araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir. Bizim çalışmamızda yapışkanlık ve plastiklik 1-4 arasında sınıflandırılmış olup, bu iki özellik ‘düşük’ sınıfa girmektedir. Çalışma alanı topraklarının az yapışkan ve az plastik olması kıvam ile uyumludur (Çizelge 4.1). Elde edilen

sonuçlara benzer sonuçlar literatürde bulunmaktadır (Canbolat and Öztaş, 1997; Demir et al., 2012; Hanay, 1992).

Kök ve gözeneklerin sınıflandırılmasında ‘miktar, -boyut, -şekil’ dikkate alınmış olup, buna göre çalışma alanı toprakları genel olarak ‘az,-ince,-dendritik’ kök ve ‘az,-çok ince,-dendritik’ porlara sahiptir. Çalışmamızda Genellikle C horizonunda köklere rastlanmamıştır. Gözenek ve kökler toprak havalanması açısından önemlidir. Yarı-kurak alanlarda jips ve kireç birikimi ile oluşan sıkışmış tabakalar su ve besin iletimini sınırlar. Çalışma alanında gözlenen sıkışmış jips katmanları dolayısıyla bitki kökleri zayıf gelişmiştir. Aynı zamanda arazinin bir kısmında buğday tarımı yapıldığından dendritik köklerin oluşması beklenen bir olaydır. Arazinin bir kısmında, sazlık türü bitkilerin bulunması nedeniyle bu kısımlarda kaba köklerin varlığı gözlenmiştir. Bu köklerin hemen yanında pas lekelerinin olması, kök kanalları boyunca taşınan oksijenin köklerin hemen bitişiğindeki demiri oksitlediğini düşündürmektedir (Şekil 4.5). Bu süreç çözülmüş maddelerin O_2 'nin kısmi basıncının difüzyon ile yayılması ve havanın oksijeninin hızlı şekilde Fe^{+2} ve Mn^{+2} 'ye ulaşarak burada oksitlenmesi ile oluşur. Agregatların dış yüzeylerinde meydana gelen sarımsı-kırmızı renk pas lekeleri ve konsolidasyonların varlığı; kahverengi götit mineralini; turuncu renk lipidokroit ve kahverengimsi siyah renk ise fazlaca Mn oksit varlığına işaret eder (Scheffer and Schachtschabel, 2001).



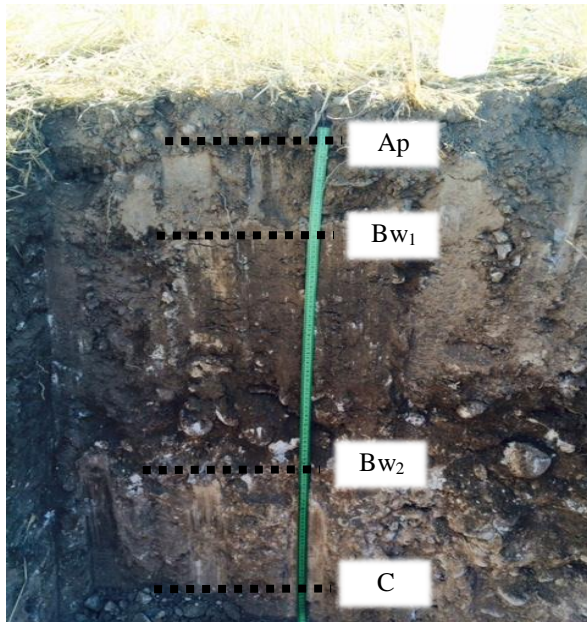
Şekil 4.5 Çalışma alanında 17. nolu profilde gözlenen kökler ve pas lekeleri

Yapılan tanımsal istatistik analizlerine göre, toprak morfolojik özelliklerinden benekler, plastiklik ve yapışkanlığa ilişkin standart sapma değerleri nispeten düşük (sırasıyla 0.68, 0.56,

0.62), diğer özelliklere ilişkin standart sapma değerleri ise yüksektir. Değişkenlerin varyasyon katsayılarına bakıldığında, tüm morfolojik özellikler yüksek derecede değişkendir (Çizelge 4.1). Arazinin topografik durumu, toprak suyu, bitki örtüsü, arazi kullanımı ve arazide yapılan mekanik uygulamalar toprak morfolojik özelliklerinde yüksek değişkenliğe neden olmuştur. Yarı-kurak tepe-eğim arazilerde zirve ve parmak araziler arasındaki ana materyal, nem ve tekstür farklılıkları da toprak morfolojik özelliklerini oldukça etkilemektedir (Lin, 1999).

Toprak morfolojik özelliklerinin hidropedoloji ile ilişkilendirilebilmesi için, hidrolojik koşulların bilinmesi, doyumluk özellikleri ve doyumluğun süresi/sıklığı da bilinmelidir. Bahsedilen özellikler arazinin özellikleri, bakı ve topografyaya göre değişmektedir. Toprak morfolojisi ile ilgili birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen, bu tür özellikler ve bu özelliklerin arkasındaki süreçler toprağın mevcut hidrolojisi ile ilişkilendirilmediği sürece anlaşılabilir (Lin et al., 2005a).

Çalışma alanı topraklarının bazılarında Ap-B_{w1}-B_{w2}-C horizon dizilimi görülmektedir. Genelde horizon dizilimi ise Ap-C şeklindedir (Ek 1). Yüzey horizonu genelde sarımsı kahverengi, yüzeyaltı horizonu ise açık kahverengidir (Şekil 4.6 ve Ek 1). Çalışma alanı topraklarının organik madde içeriği oldukça düşük olmasına rağmen, yüksek organik madde içeriğinin bir göstergesi olarak nadiren de olsa koyu renkli topraklara rastlanmaktadır.



Şekil 4.6 Çalışma alanında tipik bir Ap-B_{w1}-B_{w2}-C horizonu (1 nolu profil)

Petrojipsik horizonlar, sert ve çimentolaşmış horizonlardır. Bu horizonlar kuru iken burgu veya kürekle kazılamaz ve hidrolik iletkenlikleri çok yavaştır (Schoeneberger, 2012). Tepe-eğim ölçeğinde petrojipsik horizonun oluşması, tepe-eğim hidrolojisinde çok önemli bir faktördür (Gburek et al., 2006).

Çalışma alanında bazı profillerde petrojipsik ve jipsik horizonlara rastlanmış olup (Şekil 4.7), jipsik horizonlar çoğunluktadır. Topraklarda jips birikimi olabilmesi için dört faktörün olması gerektiği belirtilmiş olup bunlar; 1) mevcut ana materyalin ayrışmaya maruz kalması, 2) deniz çökmesi sonucu toprağın sülfatça zenginleşmesi, 3) jips veya SO_4 açısından zengin tortulların ortamda bulunması ve 4) sülfat minerallerinin oksidasyonudur (Owliaie et al., 2006). Ayrıca jipsli marnlarda bulunan kalsiyum sülfat yüzey veya yeraltı suları ile taşınabilmektedir (Porta, 1998).



Şekil 4.7 Çalışma alanında 11 nolu profilde tanımlanan jipsik horizon

Birikim horizonu olan B_w horizonu pedojenik gelişimi yansıtmakta ve toprağın genel hidrolojik rejimi üzerinde güçlü bir etki yaratmaktadır. A ve B_w horizonundaki doygunluk kısa sürdüğü halde, kış ve erken ilkbaharda tekrar tekrar meydana gelir. B_w horizonu su tablası seviyelerinin hızlı düşüş ve yükselişini yansıtarak, arazinin hidrolojisi hakkında fikir verir (Kemp et al., 1998).

Ap horizonu biyolojik boşluklar ve vughlara (boşluk) sahip olması nedeniyle bu horizonta makrogözeneklilik yüksektir. Yüzey toprağında fauna ve floral etkilerin daha baskın olduğu

söylenbilir (Kemp, 1998). Bizim çalışmamızda faunal etki yer yer alt horizonlarda da görülmüş olup, bunların meydana getirdiği boşluklara yukarıdan yıkanıp gelen jips, kireç ve kilin birikmiş olması muhtemeldir. Çalışma alanında bazı profillerde üst ve C horizonunda dahi krotovinalara rastlanmış olup, yukarıdan yıkanan toprak materyallerinin buralarda biriktiği açıkça görülmektedir. Toprak canlılarının bu gibi faaliyetleri toprakların bir horizontdan diğerine taşınması ile sonuçlanır ve kimi zaman horizonlarda farklılık meydana getirir. Bu gibi taşınma, ve yer değiştirme süreçleri horizon oluşumunu artırabilir ya da azaltabilir.

Çalışma alanı toprakları toprak taksonomisine göre Fluventic Xerorthent olarak tanımlanmıştır (Schoeneberger, 2012). Çalışma alanının büyük bir bölümünde jipsli topraklar bulunmaktadır. Jipsli toprakların fiziksel ve kimyasal karakteristikleri yalnızca jips birikimlerinin orjinlerine bağlı olmamakla birlikte, toprak profilinde bir jips tabakasının meydana gelmesine elverişli bir toprak derinliğinin de bulunup bulunmamasına bağlıdır (Van Alphen and de los Ríos Romero, 1971).

Toprak değişkenlerinin normal dağılıma sahip olup olmaması istatistiksel analizler için büyük önem taşımaktadır. Klasik istatistik tekniklerin önem testi ve güven sınırlarının hesaplanması dağılımların normal olduğu varsayımı ile yapılmaktadır. Young et al. (1999)'a göre, dağılımın normal olmadığı durumlarda non-parametrik testlerin yapılması tavsiye edilmektedir. Varyans analizinin ön koşulu olan normal dağılım, tüm çalışma alanı dikkate alındığında 17 değişkenden sadece birinde sağlandığından, normal dağılım göstermeyen değişkenler log-dönüşüm veya karekök dönüşüm yapılarak normal dağılıma yaklaştırılmıştır. Örnek sayısının fazla olması ve çarpıklık katsayılarının yüksek olmaması koşuluyla parametrik tek yönlü ANOVA analizinin yapılabileceği, bu koşulda yapılan nonparametrik tek yönlü ANOVA analizinden elde edilen sonuçların parametrik tek yönlü ANOVA ile benzer olacağı bildirilmiştir (Ott, 1993). Bu koşulların sağlanması için dönüşüm yapılmasına rağmen normal dağılım göstermeyen değişkenlere ait ekstrem değerler varyans analizinden önce SPSS box plot analizi ile belirlenerek çıkarılmıştır.

Çizelge 4.1'de verilen veri setinde toprak özelliklerinin normal dağılım gösterip göstermediği araştırılmıştır. Normalite testi için örnek sayısı 50'den fazla olduğu için Kolmogorov-Smirnow testi uygulanmış olup, sonuçlar Çizelge 4.3'de verilmiştir. Çizelgede hesap edilen P değerinin 0.05'den küçük olması veri setinin normal dağılımdan saptığını göstermektedir.

Çizelge 4.3 Normalite test sonuçları

	Kolmogorov-Smirnov(a)		
	Statistic	SD	P
TOM	0,051	485	0,004
Db	0,083	485	0,000
≠ Nem	0,057	485	0,001
CaCO ₃	0,107	485	0,000
EC	0,162	485	0,000
pH	0,073	485	0,000
Kum	0,135	485	0,000
Kil	0,179	485	0,000
Silt	0,130	485	0,000
Agr. Stab.	0,229	485	0,000
Tarla Kapasitesi	0,034	485	0,200(*)
Solma Noktası	0,090	485	0,000
Bitkiye Yarayırlı Su İçeriği	0,055	485	0,001
K _s	0,195	485	0,000
Kasyon Değişim Kapasitesi	0,157	485	0,000
İnfiltrasyon Hızı	0,165	174	0,000
Sorptivite	0,154	174	0,000

TOM: Toprak Organik Maddesi, Db: Hacim Ağırlığı, ≠: Örnekleme Anındaki Su İçeriği, TK: Tarla Kapasitesi, SN: Solma Noktası, BYSI: Bitkiye Yarayırlı Su İçeriği, K_s: Doymuş Hidrolik İletkenlik, KDK: Kasyon Değişim Kapasitesi.

Çalışma alanı toprak örnekleri için yapılan dağılım testi sonucu sadece TK (tarla kapasitesi) normal dağılım göstermekte diğer toprak özellikleri normal dağılım göstermemektedir. Oysaki Çizelge 4.1’de verilen tanımsal istatistik sonuçlarında çarpıklık (0,12) ve basıklık katsayılarına (0,08) bakıldığında pH’nın da normal bir dağılım gösterdiği söylenebilir. Toprak özelliklerinin parsel ve tarla ölçeğinde normal dağılım göstermediği birçok çalışmada rapor edilmiştir. Örneğin ABD’de yürütülen bir çalışmada Brejda et al. (2000), 17 toprak özelliğinden sadece pH’nın 4 alandan 3’ünde normal dağılım gösterdiği, diğer toprak özelliklerinin normal dağılım göstermediği bildirilmiştir. Bunun sonunda araştırmacılar toprak özelliklerinin bölgesel ölçekte normal dağılım göstermediğini rapor etmişlerdir. Yapılan başka bir çalışmada Young et al. (1999), incelenen 60 toprak özelliğinden 55 tanesinin normal dağılım göstermediğini bildirilmiştir.

Alüvyal bir alanda arazide yapılan bir çalışmada (Akbaş, 2004), araştırmacı sadece 1 toprak özelliğinin normal dağılım gösterdiğini bildirmiş olup, bunun çalışma alanının farklı zamanda depolanmış materyallerden oluşmasına bağlamıştır. Benzer şekilde Young et al. (1992)’ın yaptığı bir çalışmada, araştırmacılar 12 adet toprak özelliğinin tamamının normal dağılım

göstermediğini belirterek ve bunun nedenini de çalışma alanındaki depozitlenmeden dolayı toprak özelliklerinin çarpık dağılım göstermesine bağlamışlardır. Bizim çalışmamızda toprak özelliklerinin bir adeti hariç diğerlerinin normal dağılım göstermemesi topografya ve anamateryaldeki farklılıklara bağlanabilir.

Toprakların kil miktarı ve organik madde içeriği kation değişim kapasitesini (KDK) etkileyen önemli özelliklerdir. Topraktaki kil miktarı ve TOM arttıkça KDK değeri de bu özelliklere paralel olarak artmaktadır. Çalışma alanı topraklarında TOM ortalaması %1,73, varyasyon katsayısı %49,13 ve KDK'nın ortalaması 24,4 (meq/100gr) ve varyasyon katsayısı 41,1'dir. Bu iki özelliğin de değişkenliği yüksek bulunmuştur. Bunun yanında değişkenlik, çalışma alanı topraklarının kil tipindeki farklılık ve kilin toprak profilindeki değişkenliğinden kaynaklanmış olabilir. Yarı-kurak alanlardaki yağış azlığı, profillerde yüksek bazla doyumluk değerlerinin oluşmasına neden olabilir. Çalışma alanında zirve arazilerden su ile taşınan sediment ve kimyasal maddelerin parmak arazilerde birikmesi KDK'nın değişkenliğini tetiklemiş olabilir. Çıkan sonuç literatürler ile uyum göstermektedir (Başkan, 2004; Budak, 2012)

4.1.2 Toprak Parametrik ve Morfolojik Özelliklerine İlişkin Korelasyon Analizi

İncelenen değişkenler için yapılan korelasyon analizlerinde; İH ile kil ($P<0,05$) ve SN ($P<0,01$) arasında önemli pozitif, İH ile sorptivite ve silt arasında ise negatif ($P<0,01$) bir ilişkinin olduğu anlaşılmaktadır. Sorptivite ise pH ($P<0,01$), silt ($P<0,05$) ve K_s ($P<0,05$) ile pozitif; kireç ($P<0,05$), EC ($P<0,05$), kil, AS ($P<0,05$) ve KDK ($P<0,05$) ile negatif ilişkilidir (Çizelge 4.4).

Kil miktarı ile K_s arasında 0.01 seviyesinde önemli negatif ilişki bulunmuştur. Doymuş koşullarda kil parçacıkları iletkenliği zorlaştırmaktadır. (Hu et al., 2008). K_s çalışma alanı içerisinde yüksek değerlere silt içeriği fazla olan alanlarda ulaşırken kil içeriğinin yüksek olduğu alanlarda K_s düşük bulunmuştur. Kireç miktarı ile K_s arasında 0.01 seviyesinde önemli bir negatif ilişki bulunmuştur (Çizelge 4.4). Kirecin topraklarda agregatlaşmayı artırdığı bilinmektedir. Çalışma alanı topraklarında EC ile K_s arasında 0.05 seviyesinde önemli negatif ilişki bulunmuştur (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4 Çalışma alanında toprak parametrik özelliklerine ilişkin korelasyon analizi sonucu (N: 174)

	TOM (%)	Db (g/cm ³)	Nem (%)	CaCO ₃ (%)	EC (µS/cm)	pH	Kum (%)	Kil (%)	Silt (%)	AS (%)	TK (%)	SN (%)	BYSİ (%)	Ks (cm/s)	KDK (meq/100gr)	Sorptivite (cmsn ^{1/2})	İH (cm/sa ⁻¹)	
TOM (%)	1,00																	
Db(g/cm ³)	0,12	1,00																
# ÖASİ (%)	-0,05	-0,19**	1,00															
CaCO ₃ (%)	0,16*	-0,02	-0,05	1,00														
EC(µS/cm)	0,08	-0,17*	-0,17*	0,19*	1,00													
pH	0,05	0,10	-0,01	0,06	-0,37**	1,00												
Kum (%)	-0,09	0,39**	-0,17*	-0,23**	0,109	-0,01	1,00											
Kil (%)	0,29**	-0,25**	0,18*	0,25**	-0,069	-0,07	-0,56**	1,00										
Silt (%)	-0,31**	0,11	-0,14	-0,19*	0,030	0,09	0,20**	-0,92**	1,00									
AS (%)	0,24**	0,02	-0,14	0,10	0,005	-0,02	-0,00	0,22**	-0,26**	1,00								
TK (%)	-0,23**	0,01	0,08	-0,10	-0,390**	0,21**	0,04	-0,15*	0,16*	-0,34**	1,00							
SN (%)	-0,18*	0,19**	-0,04	-0,13	-0,117	0,08	0,10	-0,04	0,00	-0,17*	0,45**	1,00						
BYSİ (%)	-0,18	-0,13	0,13	-0,01	-0,34**	0,17*	-0,03	-0,13	0,18*	-0,24**	0,76**	-0,22**	1,00					
Ks (cm/s)	-0,33**	-0,13	0,17*	-0,25**	-0,15*	0,24**	0,04	-0,38**	0,42**	-0,31**	0,25**	0,16*	0,164**	1,00				
KDK(meq/100gr)	0,43**	-0,22**	0,17*	0,26**	-0,051	-0,06	-0,55**	0,98**	-0,91**	0,25**	-0,18*	-0,06	-0,14*	-0,41**	1,00			
Sorptivite(cmsn ^{1/2})	-0,008	-0,07	-0,05	-0,27**	-0,16*	0,21**	0,05	-0,16*	0,17*	-0,23**	0,08	0,11	0,005	0,15*	-0,16*	1,00		
İH (cm/sa ⁻¹)	-0,07	0,12	-0,11	0,03	-0,02	-0,12	0,12	0,15*	-0,23**	0,13	0,06	0,24**	-0,10	-0,1	0,13	-0,44**	1,00	

TOM: Toprak Organik Maddesi, Db: Hacim Ağırlığı, #: Örnekleme Anındaki Su İçeriği, AS: Agregat Stabilitesi, TK: Tarla Kapasitesi, SN: Solma Noktası, BYSİ: Bitkiye Yarayışlı Su İçeriği, Ks: Doymuş Hidrolik İletkenlik, KDK: Katyon Değişim Kapasitesi, İH: İnfiltrasyon Hızı ** 0.01 önem seviyesi *0.05 önem seviyesi, # Nem: Toprağın örnekleme esnasındaki su içeriği (ağırlık üzerinden).

Yapılan birçok çalışmada kil ile infiltrasyon hızının negatif ilişkili olduğu belirtilirken (Ben-Hur et al., 1985; Dontsova and Norton, 2002; Rawls et al., 1982), bizim çalışmamızda kil ile İH arasında önemli bir pozitif ilişki olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.4). Bunun nedeninin mikro tekstür, mikro agregasyon ve agregat dayanıklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bizim çalışmamızdaki sonuca benzer şekilde, bir çalışmada kil ile İH arasında pozitif bir ilişki bulunmuş olup, araştırmacılar bunun nedenini killi toprakların sahip olduğu iyi gelişmiş pedolojik gözeneklere bağlamışlardır (Lin et al., 1997).

Kil ve kireç taşından oluşmuş topraklarda 2:1 tipi kil mineralleri, özellikle de illit ve smektit başattır (Blume et al., 2015). Aynı zamanda kil tipinin infiltrasyon hızında etkili olmasından dolayı, çalışma alanında smektit kil mineralinin baskın olduğu düşünülmektedir. Ancak kil tipinin belirlenmesi için detaylı analizlerin yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda 2:1 tipi killerin yaygın olduğu topraklarda yapılan bir çalışmada Ertuğrul and Apan (1979), toprağın kurudukça çatlaklar oluşturduğu ve bu çatlaklar nedeniyle başlangıç infiltrasyon hızının yüksek olduğu belirtilmiştir. Kuzey Amerika'da killi tekstüre sahip topraklarda yapılan bir çalışmada Lin et al., (1997), infiltrasyon hızının yüksek olduğu ve bunun nedeninin, topraklardaki iyi gelişmiş stürktür ve makrogözeneklerden kaynaklandığı rapor edilmiştir. Aynı zamanda araştırmacılar kötü gelişmiş bir yapıya sahip killi toprakların düşük infiltrasyon hızına sahip olduğunu da bildirmişlerdir. Bu sonuçları destekler nitelikte başka bir çalışma da bulunmaktadır (Jarvis and Messing, 1995).

Genellikle toprak organik maddesi (TOM)'nin K_s ile pozitif ilişkili olduğu varsayılmaktadır. Ancak yapılan son hidropedolojik çalışmalar K_s -TOM arasında negatif bir ilişkinin olabileceğini göstermiştir. Bizim çalışmamızda TOM ve K_s arasında önemli negatif (-0.33**) bir ilişki olduğu görülmektedir (Çizelge 4.4). Bunun nedeninin TOM'un ıslanılabilirliği azaltıp su akışını engelleyerek K_s 'i düşürmesinden kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Nitekim yapılan bir çalışmada (Wang et al. 2009), özellikle yarı-kurak bölgelerde toprak organik karbonunun % 0.1'in altına düştüğünde K_s -TOM ilişkisinin negatif olacağı bildirilmiş olup, araştırmacılar bunun nedenini toprak organik maddesinin ıslanabilirlik üzerinde uzun süre etkili olmasına bağlamışlardır. Yapılan diğer çalışmalar da elde edilen sonuçlar bu yorumu destekler niteliktedir (Nemes et al., 2005; Rawls et al., 2004).

Çalışma alanında toprak morfolojik özelliklerinin fiziksel ve kimyasal özellikler ile korelasyon analizine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.5’de verilmiştir. Ana materyal ile TOM 0.05 seviyesinde önemli bir ilişki çıkmıştır (Çizelge 4.5). Yarı-kurak bölgelerde ayrışma hızı düşük olduğundan bu sonucun çıkması muhtemeldir. Bu sonucu yapılan diğer çalışmalar destekler niteliktedir (Dengiz and Gülser, 2014; Jeffrey and Graham, 1990). Bazı araştırmacıların mottles ile ana materyalin ilişkili olduğunu bildirmelerine rağmen (Dengiz et al., 2009), bizim çalışmamızda herhangi bir ilişki bulunamamıştır. Kum miktarı ve plastiklik arasında 0.01 seviyesinde önemli negatif, kil miktarı ile plastiklik arasında 0.05 seviyesinde önemli pozitif ilişki bulunmuştur. Kum miktarı arttıkça su tutma kapasitesi azalmakta ve bunun sonucunda kıvam limitindeki su yüzdesi de azalmaktadır. Yapılan diğer çalışmalar yapılan bu yorumu destekler niteliktedir (Feng, 2000; Jong et al., 1990).

Çalışma alanında genel olarak ‘az, -çok ince, -dendritik’ gözenekler bulunmaktadır (Çizelge 4.5). Gözenek sınıfı ve boyutu ile K_s arasında bir ilişki bulunamazken, gözenek şekli ile K_s arasında 0.01 seviyesinde önemli negatif ilişki bulunmuştur. Bu sonuca göre dendritik gözeneklerde K_s daha yüksek iken, vesikular gözeneklerde daha düşük değerler almaktadır. Bunun nedeninin dendritik gözenekler arasındaki bağlantıların daha sürekli ve su akışına müsait olmasından kaynaklı olduğu söylenebilir.

Çalışma alanında genellikle ‘az sayıda, -ince, -dendritik kökler’ bulunmaktadır. KDK ile kök şekli arasında 0.01 seviyesinde, kök sınıfı arasında 0.05 seviyesinde önemli bir pozitif ilişki ve kök boyutu arasında 0.05 seviyesinde önemli negatif bir ilişki bulunmuştur (Çizelge 4.5). Köklerin salgıladıkları madde ile ortamda az da olsa organik madde miktarı artmakta ve bu da KDK’da bir yükselişe sebep olmaktadır. Kök sınıfı-boyutu ve şekli ile TOM arasında önemli bir ilişki bulunmamasına rağmen, TOM’daki küçük bir artışın bile KDK’yı etkilediği düşünülmektedir. Benzer sonuçlar başka çalışmalarda da rapor edilmiştir (Chaney and Swift, 1984; Loveland and Webb, 2003).

Çizelge 4.5 Çalışma alanında toprak morfolojik ve parametrik özelliklerine ilişkin korelasyon analizi sonucu (N: 81)

	Ana Materyal	Benekler (Mottles)	Konsantrasyonlar	Pedalite	Kırılgenlık	Yapışkanlık	Plastiklik	Kök sınıfı	Kök Boyutu	Kök Şekli	Gözenek Sınıfı	Gözenek Boyutu	Gözenek Şekli
Ana Materyal	1,00												
Benek (Mottles)	-0,07	1,00											
Konsantrasyonlar	0,06	0,08	1,00										
Pedalite	-0,08	0,17	0,03	1,00									
Kırılgenlık	0,13	0,02	0,18	0,38**	1,00								
Yapışkanlık	0,13	0,00	0,23*	0,17	0,39**	1,00							
Plastiklik	0,20	0,11	0,22	0,15	0,43**	0,60**	1,00						
Kök Sınıfı	0,29**	0,14	0,15	0,08	0,27*	0,26*	0,30**	1,00					
Kök Boyutu	0,27**	0,03	0,17	0,09	0,19	0,07	0,19	0,60**	1,00				
Kök Şekli	0,09	0,08	0,08	0,10	0,16	0,12	0,26*	0,60**	0,67*	1,00			
Gözenek Sınıfı	0,20**	0,14	0,15	0,08	0,20*	0,20*	0,30**	0,90**	0,60**	0,60*	1,00		
Gözenek Boyutu	0,20**	0,04	0,14	0,09	0,18	0,09	0,21	0,60**	0,90**	0,70*	0,60**	1,00	
Gözenek Şekli	0,09	0,08	0,08	0,10	0,16	0,12	0,20*	0,60**	0,60**	0,90**	0,60**	0,70**	1,00
TOM (%)	0,24*	-0,05	-0,20	0,11	0,26*	0,24*	0,30**	0,13	0,14	0,12	0,23*	0,13	0,10
Db (g/cm ³)	0,07	-0,08	0,11	-0,14	-0,05	0,30**	0,18	-0,10	-0,05	-0,02	-0,12	-0,06	-0,11
# ÖASİ	-0,02	-0,10	0,25*	0,06	-0,10	0,03	-0,00	-0,00	0,30**	0,30**	0,10	0,30**	-0,00
CaCO ₃ (%)	0,11	0,02	0,07	-0,03	-0,00	-0,06	-0,02	0,15	-0,15	-0,15	-0,09	-0,13	0,17
EC (µS/cm)	-0,26*	-0,20	-0,25*	-0,08	-0,18	-0,18	-0,30**	-0,10	-0,11	-0,10	-0,20	-0,04	-0,12
pH	0,16	0,20*	-0,17	0,11	-0,05	-0,10	0,06	0,01	0,05	0,13	0,06	-0,00	-0,01
Kum (%)	0,07	0,01	-0,10	-0,23*	-0,30**	-0,30**	-0,30**	-0,3**	-0,30**	-0,30**	-0,40**	-0,30**	-0,30**
Kil (%)	0,09	-0,10	0,16	0,17	0,30**	0,21	0,26*	0,30**	0,30**	0,27	0,30**	0,30**	0,30**
Silt (%)	-0,17	0,10	-0,12	-0,03	-0,08	0,00	-0,03	-0,10	-0,16	-0,06	-0,15	-0,12	-0,15
AS (%)	-0,01	0,09	0,18	0,20	0,02	0,04	0,10	0,16	0,05	-0,07	-0,15	-0,07	0,09
TK (%)	-0,06	-0,40	-0,06	-0,09	0,04	0,03	0,10	0,02	0,07	0,09	0,07	0,09	0,03
SN (%)	-0,03	-0,00	-0,09	-0,02	0,05	-0,00	-0,01	0,00	0,08	-0,04	0,08	-0,04	-0,00
BYSİ (%)	-0,01	-0,00	-0,01	-0,09	-0,00	0,04	0,12	-0,00	-0,02	0,14	-0,02	0,14	0,01
Ks (cm/s)	-0,05	0,03	-0,16	-0,09	-0,15	-0,20*	-0,17	-0,20	-0,02	-0,23*	-0,20	-0,21	-0,23*
KDK(meq/100gr)	0,13	-0,10	0,11	-0,09	0,30**	0,24*	0,30**	0,30**	-0,30**	0,27*	0,30**	0,27*	0,33**

TOM: Toprak Organik Maddesi, Db: Hacim Ağırlığı, #: Örnekleme Anındaki Su İçeriği, AS: Agregat Stabilitesi, TK: Tarla Kapasitesi, SN: Solma Noktası, BYSİ: Bitkiye Yararlı Su İçeriği, Ks: Doymuş Hidrolik İletkenlik, KDK: Katyon Değişim Kapasitesi, ** 0.01 önem seviyesi *0.05 önem seviyesi

4.1.3 Toprak Parametrik ve Morfolojik Özelliklerine İlişkin Çoklu Karşılaştırma Testleri

Yapılan amenajman uygulamaları ve toprak oluşum süreçlerinden kaynaklı toprak özelliklerinin zamansal ve uzaysal değişimlerinin ortaya konulması alınacak tedbirler açısından önemlidir. Ancak bu süreçler ve uygulamaların toprak özellikleri üzerine olan etkilerinin hem doğrusal olmaması hem de ölçek bazındaki farklılıklar göstermesi, bu ilişkilerin klasik yöntemlerle değerlendirilmesinde bazı zorluklar ortaya çıkabilmektedir. Bu gibi durumlarda, çok değişkenli konumsal yapıların açıklanması veya analiz edilmesi daha doğru bir yol olup, incelenen özellikler arasındaki ilişkilere dayalı olarak ortaya konulan ikincil bilgilerle yapılan tahminler, tek değişkenli istatistiksel yöntemlere oranla daha iyi sonuçlar vermektedir (Bishop and McBratney, 2001).

Çok değişkenli istatistiksel analiz fazla sayıda değişkenden oluşan veri yapısını daha basit bir forma dönüştürerek uygun çözümler için gerekli bilgileri ortaya koyan bir yöntemdir. İncelenen değişkenler ayrıntılı olarak ele alındığında, birçok değişkenin bağımsız olarak dağılım göstermediği, bir ya da daha fazla değişken ile ilişki içinde olduğu görülmektedir. Bu farklılığı problemlerin çözümüne katmak ve gerçekçi çözümlere ulaşmak için çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden yararlanmak gerekmektedir (Sağlam, 2013). Çalışma alanında 5 farklı bakı, 1 adet düzlük, 4 farklı horizon ve 5 farklı eğim pozisyonu bulunmaktadır (Tablo 4.2).

Tablo 4.2 Çalışma alanında bulunan bakı ve eğim pozisyonları

Bakı	Profiller	Eğim Pozisyonu	Profiller
Kuzeybatı	1-2-3-4-5	Zirve	1-10-11-23- Ara 8
Güneydoğu	6-7-8-9-10	Omuz eğim	2-9-12-22- Ara 7
Doğu	11-12-13-14-15-Ara7-Ara8	Arka eğim	3-8-13-21- Ara 6
Kuzeydoğu	17-Ara4- Ara5- Ara6	Ayak eğim	4-7-14-15-20- Ara2- Ara3- Ara5
Kuzey	18-20-21-22-23	Parmak eğim	5-6-17-18- Ara1- Ara4
Düzlük	Ara1- Ara2- Ara3		

Analiz edilen özelliklerin bizim çalışmamızdaki gibi çok sayıda değişken tarafından etkilendiği durumlarda, güvenilir ve geçerli sonuçların elde edilebilmesi için varyasyonu oluşturan tüm faktörlerin dikkate alınması ve elde edilen değişkenlerin bütün yönleri ile değerlendirilmesi gerektiğinden çoklu karşılaştırma testleri yapılmıştır (Çizelge 4.6)

Çizelge 4.6 Çalışma alanında toprak parametrik ve morfolojik özelliklerine ilişkin çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Faktör	F	SD	P	Kısmi Kareler (ETA)
<i>Bakı</i>	2,48	80	0,06	0,95
<i>Horizon</i>	0,83	32	0,68	0,93
<i>Eğim pozisyonu</i>	3,75	64	0,04	0,97
<i>BakıxHorizon</i>	1,14	160	0,34	0,82
<i>BakıxEğim Pozisyonu</i>	2,61	224	0,00	0,86
<i>HorizonxEğim Pozisyonu</i>	1,39	128	0,19	0,87
<i>BakıxHorizonxEğim Pozisyonu</i>	1,21	336	0,17	0,80

SD: Serbestlik derecesi

Çizelge 4.6’da bakı, horizon ve eğim pozisyonu değişkenlerinin bağımsız değişkenler üzerindeki ana etkileri ve *BakıxHorizon*, *BakıxEğim Pozisyonu*, *HorizonxEğim Pozisyonu* ve *BakıxHorizonxEğim Pozisyonu* etkileşiminin değişkenler üzerindeki etkisinin sonuçları verilmiştir. Çizelgedeki P kolonuna bakıldığında, sadece *Eğim Pozisyonu* ve *BakıxEğim Pozisyonu* etkileşiminin toprak değişkenleri üzerindeki etkileri önemlidir. Çoklu karşılaştırma sonuçlarında kısmi kareler kolonu faktörün etki düzeyini anlamada önemlidir. Bu değer 1’ yaklaştıkça etki artmaktadır (Kalaycı, 2010). Buna göre, ETA kolonuna bakılırsa *Eğim Pozisyonunun* değeri 0.97, *BakıxEğim Pozisyon’un* değeri 0.86’dır. Buna göre eğim pozisyonunun toprak fiziksel, kimyasal ve morfolojik özellikleri üzerinde etkisi en fazladır.

Herbir bağımsız değişkenin, toprak morfolojik ve parametrik özellikleri üzerindeki etkisine bakmak amacıyla varyans analizi yapılmıştır (Çizelge 4.7). Elde edilen sonuçlara göre, toprak morfolojik özelliklerinden; pedalite, kırılgenlik, yapışkanlık, plastiklik; toprak fiziksel özelliklerinden; TK, SN, BYSİ ve AS, kimyasal toprak özelliklerinden ise EC, ve kireç içeriğinin hiçbir faktör ve etkileşimlerinde önemli bir etkisi yoktur. Herbir faktör ve etkileşimlerinde ortak olarak konsantrasyon, kök şekli ve por şeklinin önemli bir etkisi vardır ($P<0,05$). ETA kolonuna bakılacak olursa; bağımsız değişkenlerden *BakıxEğim Pozisyon’un* bağımlı değişkenler üzerinde etkisi en fazladır (Çizelge 4.7). Burada dikkati çeken bir husus, bağımsız değişkenlerin toprak morfolojik özelliklerine etkisinin daha fazla olmasıdır. Topografik faktörler, yarı-kurak alanlarda tepe-eğim ölçeğinde toprakların özellik kazanmasında önemlidir. Bakı ve eğim pozisyonu toprak-su bütçesi, erozyon ve yıkanma gibi olayları etkileyerek, toprak profilinin gelişimini etkiler ve bu etkileşim toprak özelliklerinin değişimine neden olur. Topografik faktörler yerel bir mikroklima oluşturarak toprak özelliklerini makroklimadan daha çok etkiler (Schaeztl and Anderson, 2005).

Çizelge 4.7 Çoklu karşılaştırma testi sonucunda toprak parametrik ve morfolojik özelliklerine ilişkin P değerleri

Baki			Horizon			Pozisyon			BakıxHorizon			BakıxEğimPozisyonu			HorizonxPozisyon			BakıxHorizonxPozisyon		
Değişken	P	ETA	Değişken	P	ETA	Değişken	P	ETA	Değişken	P	ETA	Değişken	P	ETA	Değişken	P	ETA	Değişken	P	ETA
Mottles (Benek)	0,01	0,58	Mottles (Benek)	0,65	0,05	Mottles (Benek)	0,09	0,37	Mottles (Benek)	0,99	0,08	Mottles (Benek)	0,00	0,81	Mottles (Benek)	0,99	0,05	Mottles (Benek)	1,00	0,21
Kons.	0,00	0,74	Kons.	0,00	0,73	Kons.	0,00	0,86	Kons.	0,09	0,56	Kons.	0,00	0,81	Kons.	0,01	0,64	Kons.	0,02	0,78
Pedalite	0,28	0,30	Pedalite	0,53	0,07	Pedalite	0,71	0,11	Pedalite	0,79	0,27	Pedalite	0,56	0,44	Pedalite	0,44	0,34	Pedalite	0,75	0,49
Kırılgenlik	0,07	0,43	Kırılgenlik	0,15	0,21	Kırılgenlik	0,43	0,20	Kırılgenlik	0,92	0,19	Kırılgenlik	0,68	0,40	Kırılgenlik	0,86	0,18	Kırılgenlik	0,43	0,58
Yapiskanlık	0,14	0,37	Yapiskanlık	0,48	0,08	Yapiskanlık	0,24	0,27	Yapiskanlık	0,74	0,29	Yapiskanlık	0,33	0,52	Yapiskanlık	0,39	0,36	Yapiskanlık	0,79	0,47
Plastiklik	0,19	0,34	Plastiklik	0,39	0,11	Plastiklik	0,48	0,18	Plastiklik	0,92	0,20	Plastiklik	0,73	0,38	Plastiklik	0,88	0,18	Plastiklik	0,97	0,34
Kök sınıfı	0,00	0,60	Kök sınıfı	0,30	0,13	Kök sınıfı	0,31	0,24	Kök sınıfı	0,55	0,35	Kök sınıfı	0,99	0,17	Kök sınıfı	0,94	0,14	Kök sınıfı	0,85	0,44
Kök boyutu	0,04	0,48	Kök boyutu	0,18	0,19	Kök boyutu	0,07	0,39	Kök boyutu	0,58	0,34	Kök boyutu	0,17	0,58	Kök boyutu	0,35	0,37	Kök boyutu	0,45	0,58
Kök şekli	0,00	0,76	Kök şekli	0,04	0,33	Kök şekli	0,00	0,57	Kök şekli	0,00	0,73	Kök şekli	0,00	0,80	Kök şekli	0,01	0,62	Kök şekli	0,00	0,84
Por sınıfı	0,00	0,60	Por sınıfı	0,30	0,13	Por sınıfı	0,31	0,24	Por sınıfı	0,55	0,35	Por sınıfı	0,99	0,17	Por sınıfı	0,94	0,14	Por sınıfı	0,85	0,44
Por boyutu	0,02	0,52	Por boyutu	0,09	0,25	Por boyutu	0,03	0,46	Por boyutu	0,61	0,34	Por boyutu	0,23	0,56	Por boyutu	0,25	0,41	Por boyutu	0,35	0,61
Por şekli	0,00	0,76	Por şekli	0,04	0,33	Por şekli	0,00	0,57	Por şekli	0,00	0,73	Por şekli	0,00	0,80	Por şekli	0,01	0,63	Por şekli	0,00	0,82
TOM (%)	0,07	0,43	TOM (%)	0,00	0,75	TOM (%)	0,59	0,15	TOM (%)	0,56	0,35	TOM (%)	0,02	0,71	TOM (%)	0,24	0,42	TOM (%)	0,95	0,36
Db (g/cm ³)	0,02	0,52	Db (g/cm ³)	0,12	0,23	Db (g/cm ³)	0,01	0,53	Db (g/cm ³)	0,03	0,63	Db (g/cm ³)	0,00	0,75	Db (g/cm ³)	0,00	0,66	Db (g/cm ³)	0,10	0,71
≠ ÖASİ	0,11	0,39	≠ ÖASİ	0,00	0,65	≠ ÖASİ	0,07	0,39	≠ ÖASİ	0,23	0,47	≠ ÖASİ	0,03	0,70	≠ ÖASİ	0,77	0,22	≠ ÖASİ	0,84	0,44
CaCO ₃ (%)	0,15	0,36	CaCO ₃ (%)	0,94	0,00	CaCO ₃ (%)	0,39	0,21	CaCO ₃ (%)	0,27	0,46	CaCO ₃ (%)	0,05	0,67	CaCO ₃ (%)	0,25	0,42	CaCO ₃ (%)	0,76	0,48
EC (μS/cm)	0,12	0,38	EC (μS/cm)	0,81	0,02	EC (μS/cm)	0,63	0,14	EC (μS/cm)	0,99	0,08	EC (μS/cm)	0,71	0,39	EC (μS/cm)	0,97	0,10	EC (μS/cm)	1,00	0,17
pH	0,00	0,62	pH	0,31	0,13	pH	0,03	0,45	pH	0,99	0,10	pH	0,33	0,52	pH	0,92	0,15	pH	0,91	0,41
Kum (%)	0,00	0,62	Kum (%)	0,00	0,61	Kum (%)	0,02	0,48	Kum (%)	0,24	0,47	Kum (%)	0,19	0,57	Kum (%)	0,11	0,49	Kum (%)	0,07	0,72
Kil (%)	0,00	0,67	Kil (%)	0,08	0,27	Kil (%)	0,08	0,38	Kil (%)	0,22	0,48	Kil (%)	0,00	0,81	Kil (%)	0,13	0,48	Kil (%)	0,33	0,61
Silt (%)	0,03	0,50	Silt (%)	0,74	0,03	Silt (%)	0,05	0,42	Silt (%)	0,76	0,28	Silt (%)	0,03	0,69	Silt (%)	0,62	0,28	Silt (%)	0,98	0,32
AS (%)	0,08	0,42	AS (%)	0,98	0,00	AS (%)	0,64	0,13	AS (%)	0,82	0,26	AS (%)	0,87	0,31	AS (%)	0,86	0,18	AS (%)	0,61	0,53
TK (%)	0,65	0,17	TK (%)	0,68	0,04	TK (%)	0,36	0,22	TK (%)	0,50	0,37	TK (%)	0,05	0,67	TK (%)	0,98	0,09	TK (%)	0,94	0,38
SN (%)	0,91	0,08	SN (%)	0,08	0,26	SN (%)	0,62	0,14	SN (%)	0,56	0,35	SN (%)	0,12	0,61	SN (%)	0,80	0,21	SN (%)	0,93	0,39
BYSİ (%)	0,81	0,12	BYSİ (%)	0,30	0,13	BYSİ (%)	0,88	0,06	BYSİ (%)	0,90	0,21	BYSİ (%)	0,27	0,54	BYSİ (%)	0,88	0,18	BYSİ (%)	0,95	0,36
K _s (cm/s)	0,00	0,70	K _s (cm/s)	0,20	0,18	K _s (cm/s)	0,06	0,40	K _s (cm/s)	0,06	0,59	K _s (cm/s)	0,09	0,63	K _s (cm/s)	0,23	0,42	K _s (cm/s)	0,44	0,58
Sorptivite	0,00	0,48	Sorptivite	0,00	0,10	Sorptivite	0,00	0,10	Sorptivite	0,00	0,58	Sorptivite	0,00	0,58	Sorptivite	0,00	0,58	Sorptivite	0,00	0,58
İH (cmsa ⁻¹)	0,00	0,34	İH (cmsa ⁻¹)	0,00	0,09	İH (cmsa ⁻¹)	0,00	0,09	İH (cmsa ⁻¹)	0,00	0,30	İH (cmsa ⁻¹)	0,00	0,30	İH (cmsa ⁻¹)	0,00	0,30	İH (cmsa ⁻¹)	0,00	0,30

Kons: Konsantrasyon, TOM: Toprak Organik Maddesi, D_b: Hacim Ağırlığı, #: Örnekleme Anındaki Su İçeriği, AS: Agregat Stabilitesi, TK: Tarla Kapasitesi, SN: Solma Noktası, BYSİ: Bitkiye Yararlı Su İçeriği, K_s: Doymuş Hidrolik İletkenlik, KDK: Katyon Değişim Kapasitesi, İH: İnfiltrasyon Hızı.

Eğim pozisyonlarında toprak özelliklerindeki değişim ve farklılığın toprakta su hareketinin bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Nitekim yapılan çalışmalar bunu destekler niteliktedir (Clay et al., 2001; Öztaş, 1996; Pachepsky et al., 2001). Toprak morfolojik özelliklerinden konsantrasyonun herbir faktör ve etkileşimlerinde önemli bir etkiye sahip olması, çalışma alanında yıkanma ve taşınma olaylarının değişkenliğine işaret etmektedir. Kök gelişiminde toprak tekstürü, pedelite, toprak pH'sı, sıcaklık ve nem gibi faktörlerin yanısıra amenajman uygulamaları ve iklimsel faktörler de önemli olmaktadır (Lin, 2010c). Özellikle yarı-kurak koşullarda fiziksel ve kimyasal nedenlerle kök gelişimi önemli ölçüde zarar görür (Bengough et al., 2011). Bu sebeple bakı ve horizonlar arasında toprak nemindeki en ufak bir değişimin konsantrasyon ve kök gelişiminde yüksek etkiye sahip olduğu düşünülmektedir. İlerleyen kısımlarda bağımlı ve bağımsız değişkenlerin etkilerini daha detaylı inceleyebilmek amacıyla herbir bakı, horizon ve eğim pozisyonu için analizler ayrı ayrı yapılarak tartışılmıştır.

4.1.4 Bakı-Toprak Parametrik ve Morfolojik Özellikleri İlişkileri

Çalışma alanından elde edilen DEM'e göre 5 farklı bakı ve 1 adet düzlük bulunmaktadır. Profillerin ait oldukları bakılar tablo halinde verilmiştir (Tablo 4.2). Çalışma alanında bakılara göre toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tanımlayıcı istatistikler Çizelge 4.8'de verilmiştir. Tüm bakılar gözönüne alındığında K_s , İH, AS, EC, BYSİ, TOM, KDK ve örnekleme anındaki nem içeriği en yüksek; pH, D_b en düşük ve diğer özellikler ise düşük-orta ve yüksek-orta derecede değişkenlik göstermektedir. Bu sonuca göre pH ve D_b tüm bakılarda homojen bir dağılıma sahip olup daha fazla benzerlik göstermektedir.

Toprakların örnekleme esnasındaki nem içeriği tüm bakılarda yüksek değişkenlik göstermektedir. Ancak ortalama dikkate alındığında, nem içeriğinin kuzey bakı ve düzlükte daha yüksek olduğu görülmektedir. Kuzey bakıda nemin daha fazla olması, güneşlenme hızından kaynaklanmış olabilir. Nitekim yapılan bir çalışmada Hanna et al. (1982), kuzey bakıdaki toprakların güney bakıya göre daha nemli olduğu bulunmuş olup, araştırmacılar bunun nedenini kuzey bakının daha az güneşlenmesine bağlamışlardır. Oysaki yapılan başka bir çalışmada Gündoğan (2005), kuzey bakının güney bakıya oranla daha düşük toprak su içeriğine sahip olduğunu rapor etmiş olup, araştırmacılar bunun nedeni toprak su içeriğinin güneşlenmeden daha çok rüzgârın etkisinde olmasına bağlamışlardır.

Çizelge 4.8 Toprak parametrik özelliklerinin bakılara göre tanımsal istatistik analiz sonuçları

Toprak Özellikleri		TOM %	Db g/cm ³	÷ÖASI	CaCO ₃ %	EC µS/cm	pH	Kum %	Kil %	Silt %	AS %	TK %	SN %	% BYSİ	Ks cm/s	KDK meq/100gr	İH cmsa ⁻¹
BAKI																	
En Küçük	K (N:96)	0,30	1,05	3,27	14,74	10,00	7,45	10,70	15,60	9,00	0,35	21,53	8,81	0,71	0,41	12,20	0,10
	Kb (N:84)	1,06	1,00	1,39	3,64	100	7,86	11,60	17,90	1,20	0,18	21,84	8,75	0,28	0,01	11,29	0,78
	Kd (N:72)	0,13	1,06	3,85	9,50	60,00	7,94	7,20	30,80	7,90	0,21	11,75	10,04	1,71	0,05	18,06	0,21
	D (N:108)	0,06	1,00	3,99	7,65	10,00	7,91	21,20	12,35	2,50	0,02	19,79	5,13	1,06	0,14	7,86	1,77
	Gd (N:72)	0,03	1,01	1,45	9,87	170,00	8,06	18,20	0,80	0,90	0,02	18,04	8,58	2,10	0,68	1,13	0,13
	Düz (N:54)	0,17	1,15	7,00	14,22	10,00	8,01	15,80	16,70	3,87	0,34	22,46	13,04	0,98	0,12	10,21	0,19
En Büyük	K (N:96)	3,67	1,52	30,01	42,90	2140,0	8,51	51,30	74,30	53,00	10,48	52,89	31,09	30,83	3,98	41,56	6,61
	Kb (N:84)	3,13	1,50	34,11	56,74	2180,0	8,74	67,00	68,40	62,50	10,99	51,27	31,65	30,30	9,15	39,40	8,09
	Kd (N:72)	3,60	1,55	25,60	34,82	2020,0	8,56	58,60	69,10	35,38	8,16	46,52	32,01	23,16	2,71	39,42	4,41
	D (N:108)	3,27	1,55	25,60	34,44	2120,0	8,77	62,10	62,11	53,00	7,50	53,29	31,64	35,01	13,55	34,03	11,18
	Gd (N:72)	2,94	1,47	33,71	68,00	990,00	8,79	65,70	60,90	73,40	1,19	47,40	30,00	27,31	14,19	36,31	6,52
	Düz (N:54)	3,39	1,52	33,60	31,04	1030,0	8,57	52,03	64,60	45,60	6,12	51,35	33,09	25,98	5,83	37,44	9,44
Ortalama	K (N:96)	1,79	1,27	16,40	23,17	736,12	8,16	28,70	44,00	27,28	2,52	32,72	21,82	10,89	1,63	25,59	2,41
	Kb (N:84)	1,85	1,25	15,11	26,97	381,6	8,41	30,73	46,58	22,67	1,90	35,72	21,28	13,63	2,01	27,00	3,22
	Kd (N:72)	1,87	1,29	15,29	20,48	730,3	8,24	22,67	56,57	20,27	3,27	30,10	20,56	9,54	0,75	32,04	1,80
	D (N:108)	1,43	1,30	13,63	20,02	1166	8,23	38,97	34,73	26,29	1,41	32,34	21,52	10,81	2,85	20,24	5,28
	Gd (N:72)	1,52	1,19	12,19	22,71	500,9	8,45	30,16	28,86	41,36	0,67	34,29	21,24	13,05	4,77	17,47	1,73
	Düz (N:54)	1,86	1,32	18,10	22,02	339,2	8,20	32,93	44,43	22,62	2,49	31,44	22,80	8,63	0,77	25,94	5,41
Standart Sapma	K (N:96)	0,92	0,14	7,17	6,49	709,31	0,17	10,02	19,85	12,93	2,20	7,13	4,09	6,67	0,85	9,80	2,70
	Kb (N:84)	0,61	0,12	8,82	10,57	452,64	0,23	12,80	16,49	15,00	2,20	5,15	4,43	6,16	1,86	8,15	2,20
	Kd (N:72)	0,95	0,13	6,18	7,93	407,71	0,13	11,75	8,36	5,05	2,41	7,90	5,15	5,16	0,52	4,90	1,26
	D (N:108)	0,86	0,14	6,11	6,73	882,10	0,18	11,35	13,37	11,94	1,50	6,21	5,97	6,58	2,75	7,69	2,76
	Gd (N:72)	0,77	0,12	7,21	12,74	182,36	0,15	9,04	24,72	22,28	0,28	5,09	5,24	5,33	3,37	12,79	1,80
	Düz (N:54)	0,88	0,11	8,03	3,97	219	0,14	10,32	15,22	12,16	1,93	6,85	4,28	6,07	0,90	8,85	3,23
Varyasyon Katsayısı	K (N:96)	51,40	11,02	43,72	28,01	96,36	2,08	34,91	45,11	47,40	87,30	21,79	18,74	61,25	52,15	38,29	112,03
	Kb (N:84)	32,97	9,60	58,37	39,19	118,6	2,73	41,65	35,40	66,16	115,78	14,41	20,81	45,19	92,53	30,1	68,32
	Kd (N:72)	50,80	10,07	40,49	38,72	55,82	1,57	51,83	14,77	24,33	73,70	26,24	25,04	54,08	69,33	15,29	70
	D (N:108)	60,13	10,76	44,82	33,61	75,65	2,18	29,12	38,49	45,41	106,38	19,20	27,74	60,86	96,49	37,09	52,27
	Gd (N:72)	50,65	10,08	59,14	56,09	36,4	1,77	29,97	85,65	53,86	41,79	14,84	24,67	40,84	70,64	73,21	104,0
	Düz (N:54)	47,31	8,33	44,36	18,02	64,56	1,70	31,33	34,25	53,75	77,51	21,78	18,77	70,33	116,8	34,11	59,70

TOM: Toprak Organik Maddesi, D_b: Hacim Ağırlığı, ÷: Örnekleme Anındaki Su İçeriği, Hacim Ağırlığı, AS: Agregat Stabilitesi, TK: Tarla Kapasitesi, SN: Solma Noktası, BYSİ: Bitkiye Yararlı Su İçeriği, Ks: Doymuş Hidrolik İletkenlik, KDK: Katyon Değişim Kapasitesi, İH: İnfiltrasyon Hızı, K: Kuzey, Kb: Kuzeybatı, Kd: Kuzeydoğu, D: Doğu, Gd: Güneydoğu. N: Örnek Sayısı

Aynı zamanda arazide profillerin tanımlanması sırasında kuzey bakıda bulunan iki profilin bir kısmının suyla dolu olmasından dolayı tanımlama yapılamamıştır. Bu arazi gözlemi çıkan sonucu kanıtlar niteliktedir. Düz alanda nemin daha fazla olması beklenen bir durumdur, çünkü yüzey akışla zirveden taşınan sular burada birikerek su miktarını artırmaktadır. Toprakta depolanan su miktarının bakı ve eğim şekli/derecesine bağlı olarak değiştiği yapılan birçok çalışmada belirtilmiştir (Hanna et al., 1982; Lin et al., 2006b; Owe et al., 1982).

Çalışma alanının topografyası kuzey bakılarda oluşan kar erimeleri ve toprak kaymalarının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Kuzeye bakan yamaçlar kar birikimi olması sebebiyle daha nemlidir. Yapılan bir çalışmada, kuzey bakılarda su hareketinin bir sonucu olarak oluşan kalsik ve jipsik horizonların bu bakılarda dikey su hareketini büyük ölçüde sınırlandırdığı bildirilmiştir (Hu et al., 2008).

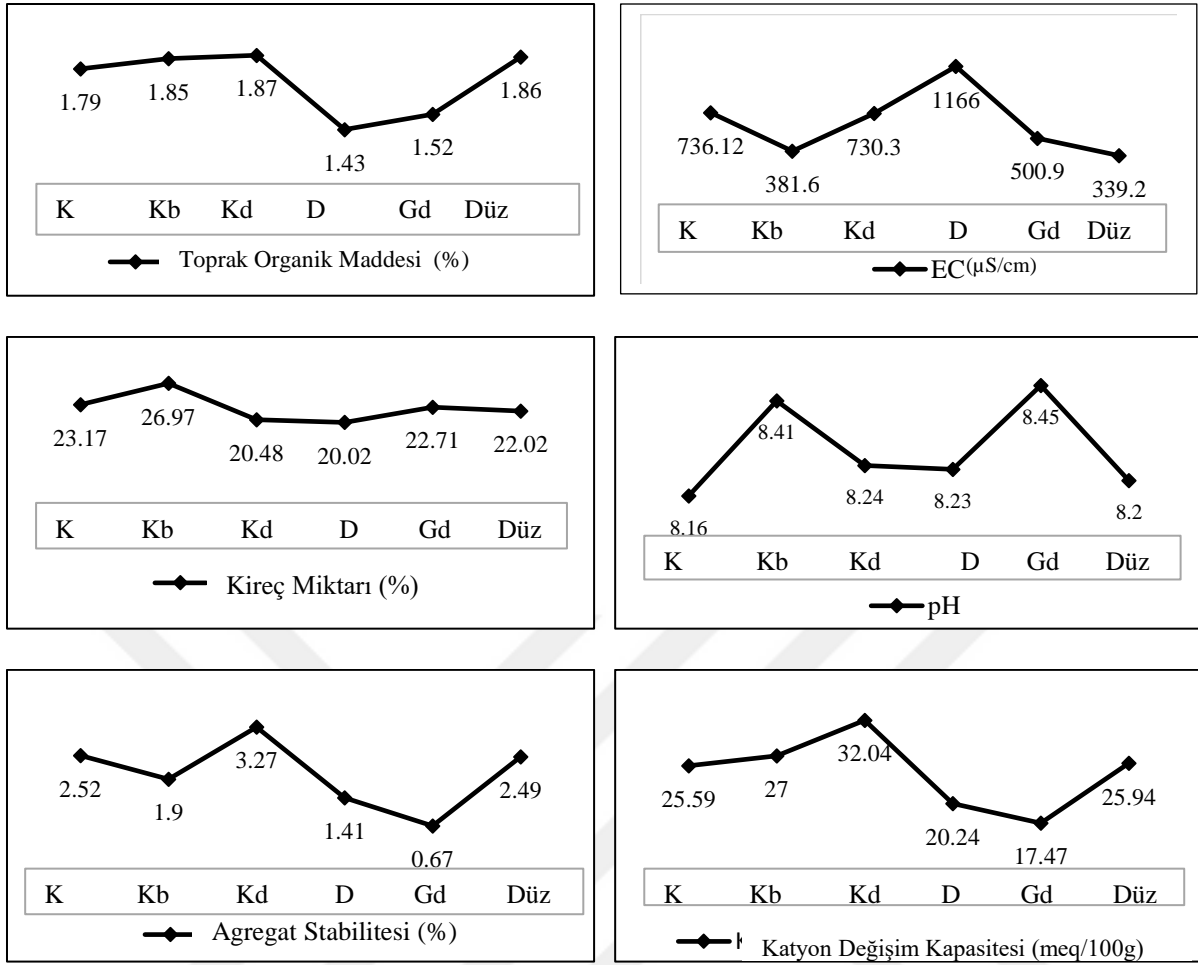
Kuzey bakılar ve düzlükte kil içeriğinin daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.8). Bunun nedeni kuzey bakılarda fiziksel ayrışma farklarından kaynaklanmış olabilir. Nitekim topografik değişkenlerin toprak oluşumu üzerindeki etkilerinin incelendiği bir çalışmada Wilding et al. (1985), kimyasal, fiziksel ve biyolojik ayrışma koşullarının bakıya göre değiştiği, bunun nedeninin ise sıcaklık ve yağış gibi iklim faktörlerinin kuzey bakılarda daha etkili olduğunu belirtmiştir. Ayrıca kilin ortalamasının eğimin bitmeye başladığı ayak eğimde daha fazla çıkmasının nedeni, zirveden yıkanarak veya erozyonla taşınan killerin o bölgede birikmesinden kaynaklanmış olabilir. Tekstür bileşenlerinden kum ve siltin değişkenliği orta-yüksek olmasına rağmen, kil düşük-orta-yüksek değişkenlik göstermiştir. Kum içeriği kuzey bakıda yer alan kolüvyal alanlarda yüksek çıkmıştır (Çizelge 4.8). Kumun uzak mesafelere taşınamaması nedeniyle kolüviyalere uzak alanlarda kum içeriğinin azaldığı gözlemlenmiştir. Kil yalnızca kuzeydoğu bakıda düşük derecede değişkenlik göstermiştir.

Çalışma alanındaki bakılar dikkate alındığında en az değişkenlik gösteren toprak özelliği pH ve D_b 'dir. Bu durum literatürdeki diğer çalışmalar ile uyum göstermektedir (Erşahin, 1999a; Mulla and McBratney, 2000; Yetgin, 2004). Yarı-kurak bölgelerde yağışların bazik elementleri yıkayamaması ve bu bölgelerde organik madde ayrışmasının düşük olması toprak pH'sının yükselmesine neden olur. Kuzey bakılarda pH'nın düşük olduğu görülmektedir (Çizelge 4.8). Bunun nedeni, kuzey bakılarda ayrışmanın daha düşük ve yıkanmanın daha fazla olması ile açıklanabilir. Yağışa bağlı yıkanmanın fazla olmadığı bölgede tuzluğun düşük olması araştırma

alanında yer alan drenaj sisteminin etkinliğiyle açıklanabilir. EC en fazla değişkenliği kuzeybatı bakıda göstermiştir (Çizelge 4.8). Bu yüksek değişkenliğin nedeni kuzeybatı bakıda yamalı olarak bazı bitkilerin varlığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çalışma alanında AS tüm bakılarda yüksek değişkenlik göstermektedir. Yarı-kurak bölgelerde agregat stabilitesinin düşük değerler alması erozyon riskinin olduğu anlamına gelmektedir. Agregat stabilitesinin en yüksek ortalaması kuzeydoğu bakıda görülmektedir. Bunun nedeni kuzeydoğu bakıdaki daha yüksek kil ve organik madde içeriğinden kaynaklanmış olabilir. TOM ve kilin strüktür oluşumuna etkisi birçok çalışmada rapor edilmiştir (Kılıç et al., 2004; Schulze et al., 1993). Eğimli alanlarda özellikle bitki örtüsünün zayıf olduğu arazilerde aşımrlık fazla olduğundan erozyon riski daha fazladır. Elde edilen sonuçlara göre AS'nin düşük olduğu durumlarda toprağın silt içeriğinin yüksek olduğu görülmektedir. Aynı zamanda organik maddenin de düşük olması buralarda agregat dayanıklılığının zayıf olmasını sonuçlamaktadır (Çizelge 4.8).

Bakı, yükseklik ve arazi kullanımı/arazi örtüsü yarı-kurak bölgelerde TOM içeriğini etkileyen faktörlerdir. Elde edilen sonuçlara göre TOM tüm bakılarda yüksek değişkenliğe sahiptir. (Çizelge 4.8). Ancak en yüksek TOM ortalaması kuzeydoğu bakıdadır. Kuzeydoğu bakıda olan profillerin 2 tanesi tamamıyla su ile dolu olduğundan bu profillerin etrafında sazlık tipi bitkiler gelişmiştir. Bunların varlığı TOM ortalamasını artırmış olabilir. Nitekim su dolu olan profillerin etrafından alınan toprak örneklerinin organik madde içeriğinin yüksek olması bu sonucu destekler niteliktedir. Aynı zamanda TOM tüm bakılarda yüksek değişkenlik gösterirken, söz konusu bakıda orta derece değişkenlik göstermektedir. TOM'un orta-yüksek değişkenlik göstermesi birçok çalışmada rapor edilmiştir (Mulla and McBratney, 2000; Wilding et al., 1994). Bazı toprak özelliklerine ilişkin ortalamaların bakı ile değişimi Şekil 4.8'de verilmiştir. Şekillerden KDK ve AS'e ilişkin ortalamaların bakılar boyunca benzer davrandıkları, diğer özelliklerin ise tamamen farklı hareket ettikleri anlaşılmaktadır.



Şekil 4.8 Bazı toprak özelliklerinin bakılara göre değişimi. K: Kuzey, Kb: Kuzeybatı, Kd: Kuzeydoğu, D: Doğu, Gd: Güneydoğu

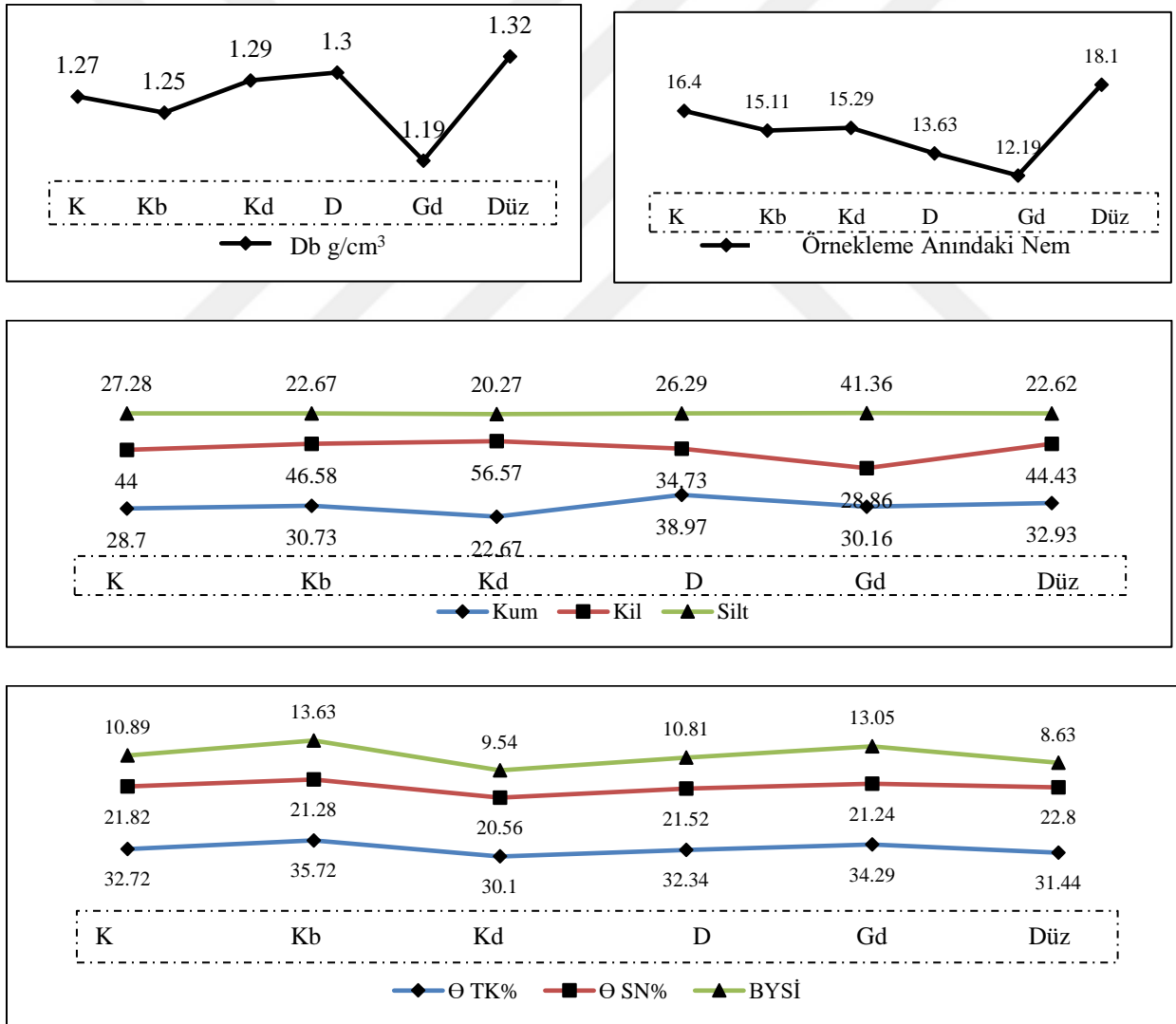
KDK TOM, kil tipi ve miktarı, pH ve mevcut iyonların elektriki yüklerinden dolayı farklılık göstermektedir (Usta, 1995). KDK bütün bakılarda orta derecede değişkenlik göstermektedir. Ortalama KDK (32,04) kuzeydoğu bakıda en yüksek değeri almıştır (Çizelge 4.8). Organik madde ve kil miktarının bu bakıda yüksek olması KDK'nın da yüksek olmasını sonuçlamıştır. Sonuçlara göre, kil miktarının ortalaması en düşük güneydoğu-bakıda olmasına rağmen, KDK söz konusu bakıda en fazla değişkenlik (VK=73,21) göstermiştir (Çizelge 4.8). Bunun nedeni pH'nın bu bakıda diğer bakılara göre yüksek olmasından kaynaklanmış olabilir. Nitekim pH'nın yükselmesi ile kation değişim kapasitesinin artacağı, bu artışında organik madde ve kil minerellerine göre çok daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Usta, 1995). Kil tipinin de KDK'yi etkilediği yapılan çalışmalarda bildirilmiştir (Brady and Weil, 2002; Brohi et al., 1997; Kurniawan et al., 2014).

Çizelge 4.8'e göre, arazide bulunan sazlık türü bitki yoğunluğunun organik madde ortalamasını yükselttiği kuzeydoğu bakıda BYSİ ortalamasının düşük olduğu görülmektedir. Bitkiye yararlı su içeriği tarla kapasitesi ve solma noktası arasındaki farktır. Solma noktası, tekstürün bir fonksiyonu iken, tarla kapasitesi tekstür ve pedalite tarafından ciddi şekilde etkilenir. Dolayısıyla, bu bakıda toprak ortalama kil içeriğinin en yüksek değeri aldığını görüyoruz. Ancak, kil içeriğindeki bu değer solma noktasında beklenen etkiyi oluşturmamıştır. Tarla kapasitesi ise bu bakıda en düşük ortalama değeri almış olup (Çizelge 4.8) bunun nedeninin toprak strüktüründeki olumsuzluktan, mezogözeneklerin oran olarak daha düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

K_s genellikle en fazla değişkenlik gösteren toprak hidrolik özelliğidir (Trangmar et al., 1985) ve özellikle tarım toprakları içinde büyük yersel değişkenlik göstermektedir (Kırda and Sariyev, 2002; Nielsen et al., 1973). Çizelge 4.8'e göre K_s bütün bakılarda yüksek değişkenlik göstermiş olup, en yüksek ortalama (4,77 cm/s), güneydoğu bakıda, en düşük ortalama (0,75 cm/s) kuzeydoğu bakıdadır. Bunun nedeni; güneydoğu bakıda siltin artmasıyla hacim ağırlığının düşmesi ve kil içeriğinin azalmasından kaynaklıdır. Yapılan çalışmalar da bu sonucu destekler niteliktedir (Aşkın, 2010; Hillel, 1982). Çankırı'da yapılan bir çalışmada (Göl et al., 2004), ise bu sonucun tam tersi bir sonuç bulunmuştur. Araştırmacılar K_s 'i güneydoğu bakıda düşük (2,08 cm/s), kuzeydoğu bakıda ise yüksek (5,08 cm/s) olarak bulmuşlar, bunun nedenini ise güneydoğu bakıda yoğun tarımsal faaliyetlerin toprak sıkışmasına neden olarak K_s 'i düşürmesine bağlamışlardır. Buna benzer sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından da rapor edilmiştir (Öztek in and Erşahin, 2006).

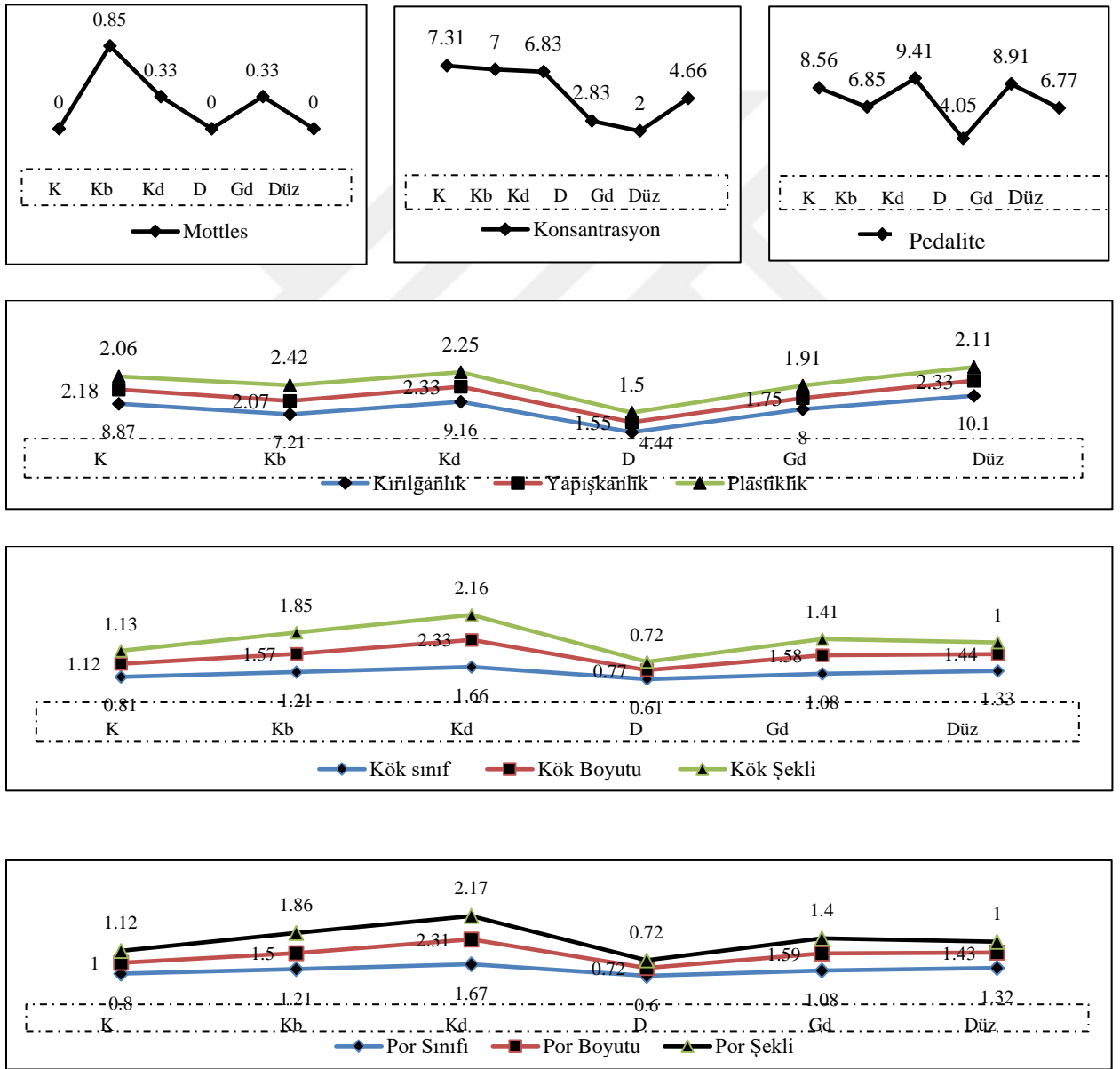
Toprak fiziksel özelliklerinin ortalamaya bağlı değişimleri Şekil 4.9'de verilmiştir. K_s 'in kuzeydoğu ve düzlükte düşük çıkması beklenen bir durumdur. Bunun nedeni ise, bu alanlarda toprak neminin yüksek olmasıdır. Zirveden yüzey akışla taşınan suların parmak eğimde birikmesi sebebiyle buralarda nem fazladır ve dolayısıyla bu durum doymuş hidrolik iletkenlik değerinin düşmesine neden olmuştur (Brooks et al., 2004). Söz konusu bakıda kil miktarının yüksek olması K_s 'in düşük çıkmasındaki en büyük faktördür (Çizelge 4.8). Genel yaklaşımın tersinde de olsa kil miktarı bazen K_s ile pozitif korelasyon verir, ancak bunun nedenlerinin iyi bilinmesi gerekir. Özellikle kil miktarı ile makropor akı arasındaki ilişkilerin bu gibi durumlarda önemi oldukça büyüktür.

Elde edilen sonuçlara göre ortalama İH en yüksek ortalama değeri ($5,41 \text{ cmsa}^{-1}$) düz arazide almaktadır (Çizelge 4.8). Düz arazide yüksek kil içeriğine rağmen infiltrasyon hızının yüksek çıkması mikro-tekstürden kaynaklanmış olabilir. Nitekim Harran ovasında yapılan bir çalışmada (Erşahin, 1991b), arazinin kil içeriği yüksek olmasına rağmen infiltrasyon hızının yüksek olması araştırmacı tarafından mikrostrüktür ve agregat dayanıklılığına bağlanmıştır. Aynı zamanda düz alanda infiltrasyon hızının yüksek çıkmasının bir diğer sebebi, infiltrasyon testlerinin yapıldığı noktaların etrafında bitkilerin olması ile açıklanabilir. Üst topraktan derine doğru uzanan bitki kök kanalları makro gözenekliliği artırdığından, düzlük alanda infiltrasyon hızı beklenenden daha yüksek çıkmıştır. Buna benzer bir çalışmada araştırmacılar, derine uzanan bitki kök kanallarının su akışını artırdığını rapor etmişlerdir (Devitt and Smith, 2002).



Şekil 4.9 Toprak fiziksel özelliklerinin bakılara göre değişimi. K: Kuzey, Kb: Kuzeybatı, Kd: Kuzeydoğu, D: Doğu, Gd: Güneydoğu, Db: Hacim Ağırlığı, TK: Tarla Kapasitesi, SN: Solma Noktası, BYSİ: Bitkiye yararlı su içeriği

Doğu bakıda ortalama İH ($5,28 \text{ cmsa}^{-1}$) olarak bulunmuştur (Çizelge 4.8). Bu bakıda tekstürün kumlu olması ve yüzey taşlılığının fazla olmasının İH üzerinde etkili olduğu sanılmaktadır. Yapılan bir çalışmada (Mehuys et al., 1975), araştırmacılar toprağa gömülü taşların gözenekliliği artırmasından dolayı infiltrasyonun arttığını rapor etmişlerdir. Diğer taraftan Sauer and Logsdon (2002), toprak hidrolik özellikleri ile yüzey kaya parçaları arasındaki ilişkinin çok azının pozitif olduğu bildirmiştir. Ortalama İH en düşük ($1,73 \text{ cmsa}^{-1}$) güneydoğu bakıda bulunmuş olup, bunun nedeninin bu bakıdaki silt miktarının yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Çizelge 4.8) Toprak morfolojik özelliklerinin değişkenlikleri Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10 Toprak morfolojik özelliklerinin bakılara göre değişimi K: Kuzey, Kb: Kuzeybatı, Kd: Kuzeydoğu, D: Doğu, Gd: Güneydoğu

Çalışma alanında bakılara göre toprak morfolojik özelliklerinin tanımsal istatistikleri Çizelge 4.9'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kil miktarı ve nemin arttığı kuzey bakılarda (Çizelge 4.8) konsantrasyon ve mottles sınıf/boyutunda bir artış görülmüştür. Bunun nedeni, kuzey bakılardaki fiziksel ayrışmanın daha fazla olmasından kaynaklanmış olabilir. Aynı zamanda konsantrasyonların artması sözü edilen bakılarda taşınma ve birikme olaylarının gerçekleştiğini düşündürmektedir. Dikkat çeken bir husus, doğu bakı ve düzlükte mottles hiçbir değişkenlik göstermemiştir (VK=0).



Çizelge 4.9 Toprak morfolojik özelliklerinin bakılara göre tanımsal istatistik analiz sonuçları

Toprak Özellikleri		Mottles	Konsantrasyon	Pedalite	Kırılganlık	Yapışkanlık	Plastiklik	Kök sınıfı	Kök Boyutu	Kök Şekli	Por Sınıfı	Por Boyutu	Por Şekli
BAKI													
En Küçük	K (N:16)	0,00	0,00	1,00	4,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Kb (N:14)	0,00	0,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Kd (N:12)	0,00	0,00	1,00	3,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	D (N:18)	-	0,00	1,00	2,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Gd (N:12)	0,00	0,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Düz (N:9)	0,00	0,00	1,00	3,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
En Büyük	K (N:16)	0,00	20,00	22,00	19,00	3,00	3,00	2,00	4,00	3,00	2,00	4,00	3,00
	Kb (N:14)	3,00	19,00	13,00	13,00	4,00	4,00	2,00	3,00	4,00	2,00	3,00	4,00
	Kd (N:12)	2,00	16,00	21,00	17,00	3,00	3,00	3,00	5,00	3,00	3,00	5,00	3,00
	D (N:18)	-	15,00	17,00	13,00	3,00	3,00	1,00	2,00	3,00	1,00	2,00	3,00
	Gd (N:12)	2,00	7,00	17,00	13,00	3,00	3,00	2,00	3,00	4,00	2,00	3,00	4,00
	Düz (N:9)	0,00	11,00	9,00	18,00	3,00	3,00	2,00	3,00	1,00	2,00	3,00	1,00
Ortalama	K (N:16)	0,00	7,31	8,56	8,87	2,18	2,06	0,81	1,12	1,13	0,80	1,00	1,12
	Kb (N:14)	0,85	7,00	6,85	7,21	2,07	2,42	1,21	1,57	1,85	1,21	1,50	1,86
	Kd (N:12)	0,33	6,83	9,41	9,16	2,33	2,25	1,66	2,33	2,16	1,67	2,31	2,17
	D (N:18)	-	2,83	4,05	4,44	1,55	1,50	0,61	0,77	0,72	0,60	0,72	0,72
	Gd (N:12)	0,33	2,00	8,91	8,00	1,75	1,91	1,08	1,58	1,41	1,08	1,59	1,40
	Düz (N:9)	0,00	4,66	6,77	10,1	2,33	2,11	1,33	1,44	1,00	1,32	1,43	1,00
Standart Sapma	K (N:16)	0,00	7,13	5,66	4,85	0,65	0,44	0,54	1,02	0,95	0,54	0,96	0,95
	Kb (N:14)	1,09	6,20	3,43	1,03	0,82	0,85	0,42	0,85	1,40	0,42	0,85	1,40
	Kd (N:12)	0,77	6,56	5,94	4,64	0,65	0,62	0,66	1,23	0,93	0,65	1,21	0,94
	D (N:18)	-	5,33	5,68	3,14	0,85	0,86	0,50	0,73	0,75	0,51	0,66	0,75
	Gd (N:12)	0,77	2,08	5,96	4,53	0,75	0,66	0,28	0,67	0,90	0,27	0,65	0,90
	Düz (N:9)	0,00	4,21	2,58	5,55	0,70	0,60	0,50	0,72	0,00	0,50	0,72	0,00
Varyasyon Katsayısı	K (N:16)	0,00	97,50	66,10	54,6	29,8	21,3	66,6	91,00	84,00	67,50	96,00	84,00
	Kb (N:14)	128	88,50	50,00	14,2	39,00	35,1	34,7	54,10	75,60	34,70	56,60	75,60
	Kd (N:12)	23,3	96,00	63,10	50,00	27,8	27,5	39,7	52,70	43,00	38,90	52,30	43,30
	D (N:18)	-	188,00	140,00	70,7	51,6	57,3	81,9	94,80	104,10	83,30	91,60	104,20
	Gd (N:12)	233	104,00	66,80	56,6	43,1	126,00	25,9	41,70	63,80	25,90	40,80	64,20
	Düz (N:9)	0,00	90,30	38,10	54,9	30,0	28,4	37,5	50,00	-	37,80	50,30	-

K: Kuzey, Kb: Kuzeybatı, Kd: Kuzeydoğu, D: Doğu, Gd: Güneydoğu.

İncelenen değişkenler için dağılım analizi yapılarak toprak özelliklerinin normal dağılım gösterip göstermediği araştırılmıştır. Örnek sayısı 50'den fazla olduğu için Kolmogorov-Smirnow testi uygulanmış olup, normalite testi sonucu kuzey bakıda 2; kuzeybatı -bakıda 3; Kuzeydoğu - bakıda 6; doğu bakıda 3; güneydoğu -bakıda 6 ve düzlükte ise 4 toprak özelliği normal dağılım göstermiştir. Kuzeydoğu bakıda normal dağılım gösteren toprak özelliği sayısı fazladır. Kuzeydoğu ve güneydoğu bakı en fazla değişkenin normal dağılım gösterdiği, kuzey bakı ise en az değişkenin normal dağılım gösterdiği bakılardır. TK tüm alanda normal dağılım gösterirken, çalışma alanı bakılara bölündüğünde sadece kuzey, kuzeybatı ve kuzeydoğu bakıda normal dağılım göstermiştir. Aynı zamanda sanki birbirinin simetrisi gibi olan kuzeydoğu ve güneydoğu bakıda normal dağılım gösteren değişken sayısı diğer bakılara göre fazladır. Kuzey, kuzey -batı ve doğu bakılarda basıklık/çarpıklık değeri artmakta ve normal dağılım gösteren toprak özelliği sayısı azalmaktadır.

Çalışma alanında bakılara göre toprak fiziksel, kimyasal ve morfolojik özelliklerinin ortalamaları arasında önemli bir farkın olup olmadığını anlamak için çoklu karşılaştırma testi yapılmış olup, incelenen değişkenlerin ortalamaları arasındaki fark önemli olduğundan farklı alt gruplara ayrılmıştır (Çizelge.4.10) Bu sonuçlara göre, bakılar arasında toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerinden TOM, örnekleme anındaki su içeriği ve SN ortalamaları arasında önemli bir fark bulunmazken, diğer toprak özellikleri ortalamaları arasında önemli bir fark görölmektedir. Bu farklılık üzerinde birçok faktör etkili olabilir. Farklı bakılar farklı toprak oluşumlarını sonuçlamaktadır. Bakılar üzerinde etkili olan güneşlenme, rüzgar gibi iklimsel özelliklerdeki farklılıklar toprak özellikleri arasında farklılara neden olmaktadır. Örneğin kuzey bakılarda organik madde içeriği güney bakılara kıyasla biraz daha yüksekken, bu fark istatistiki olarak önemli olmayabilir. Oysaki bu fark K_s üzerinde güçlü bir kontrole sahip olan toprak strüktürünü bariz bir şekilde etkileyebilir. Yapılan bazı çalışmalar bu sonucu destekler niteliktedir (Dengiz et al., 2006; Gündoğan, 2005; Şenol, 2014; van Tol, 2011).

Çizelge 4.10'a göre, toprak morfolojik özelliklerinden; strüktür, kırılganlık, yapışkanlık ve plastiklik ortalamaları arasında önemli bir fark olmamasına rağmen; mottles, konsantrasyon, kök sınıfı/boyutu/şekli ve por sınıfı/boyutu/şekli ortalamaları arasında bakılar açısından önemli bir fark görölmektedir. Morfolojik toprak özellikleri arasında bu farklılıkların ana materyal, iklim ve toprak suyunun uzaysal dağılımı ile ilgili olduğu düşünölmektedir.

Bizim çalışmamızda örnekleme anındaki su miktarında bakılar açısından önemli bir fark bulunmamasına rağmen, yapılan bir çalışmada bakı ile toprak su içeriği arasında önemli bir ilişki bulunmuştur (Hanna et al., 1982). Aynı zamanda kuzey ve güney bakılar arasındaki nem ve tekstür farklılıkları da toprak suyu üzerinde etkilidir bu sebeple toprak morfolojik özelliklerinin de farklı olması beklenen bir durumdur. Nitekim bakılar arasındaki toprak özelliklerinin ortalama, varyasyon katsayıları ve korelasyon analizinden elde edilen sonuçlar bu sonucu destekler niteliktedir (Çizelge 4.4 ve 4.5).

İncelenen değişkenlerin ortalamaları arasındaki fark önemli olduğu için farklı alt gruplara ayrılmışlardır. Duncan test sonuçları her bir bakı için incelenen toprak özelliklerinin ortalamalarına göre girdikleri grupları göstermektedir (Çizelge 4.10). Örneğin, toprak morfolojik özelliklerinden mottles (miktar/büyüklik) için 2 alt grup (a-b) oluşturulmuştur. Bunlardan kuzeybatı bakı başlı başına bir grup (b) olarak belirlenirken, diğer bakılar tek bir gruba (a) dahil edilmiştir. Kalaycı (2010)'ya göre Sig. kolonundaki değer 1'e ne kadar yaklaşırsa alt grup o kadar önemli demektir. Buna göre doğu- kuzey- düzlük -güneydoğu ve -kuzeydoğu bakıda bulunan mottlesların miktar ve büyüklik olarak benzer özellik gösterdiği belirlenmiştir.

Çizelge 4.10'a göre fiziksel özelliklerden K_s 3 alt gruba ayrılmıştır. En yüksek K_s ortalamasının güneydoğu bakıda, en düşük ortalamasının ise kuzeydoğu bakıda olduğu, Duncan testine göre güneydoğu bakının başlı başına bir grup olarak belirlenerek, Sig. değeri 1 olduğu için diğer bakılardan önemli bir fark olduğu söylenebilir. Kuzey, kuzeybatı ve doğu bakıda K_s ortalamaları arasında önemli bir farklılık yoktur. Bu sonuçlar Çizelge 4.8'e göre elde edilen sonuçlarla uyumludur. Dikkat çeken bir diğer husus, kuzeydoğu bakıda düzensiz (irregular) gözeneklerin artması ile K_s 'in azalmasıdır. Yapılan bir çalışmada düzensiz gözeneklerin su hareketini engellediği rapor edilmiştir (Pagliai et al., 1984).

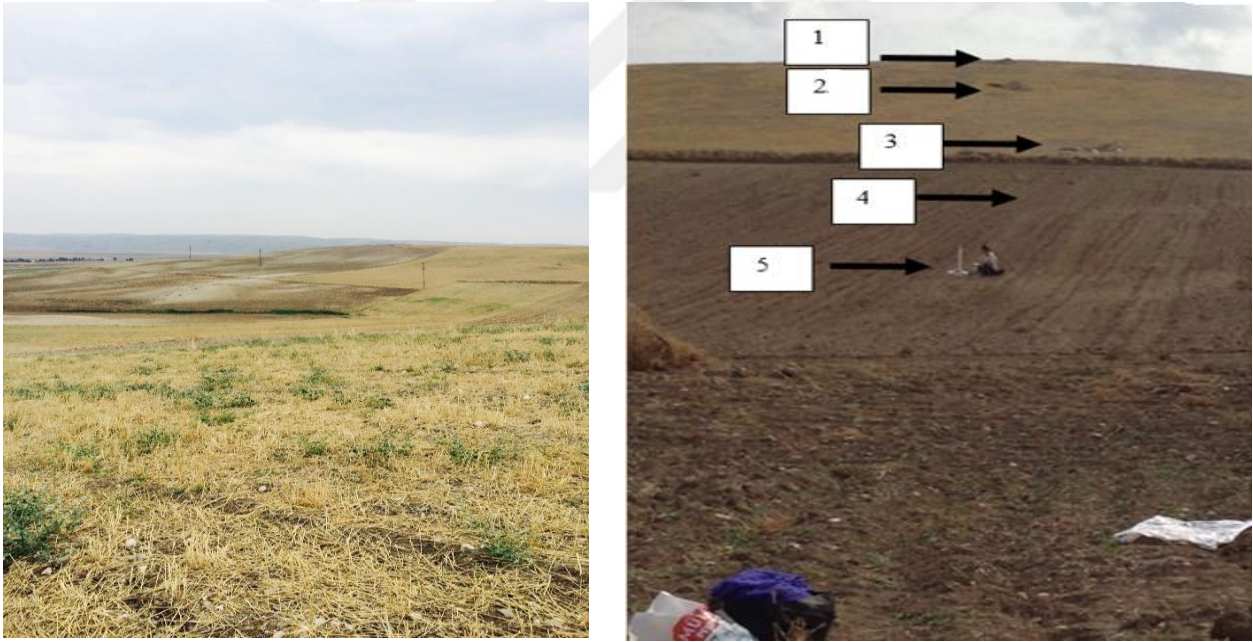
Çizelge 4.10'da verilen sonuçlara göre, İH doğu bakı ve düzlükte önemli bir grup oluşturmaktadır. Diğer bir deyişle doğu bakıda İH düzlükteki İH'dan bir miktar düşük olsa da doğu bakı ve düz alan İH arasında önemli bir farklılık yoktur. Düzlük ve doğu bakıda bitkilerin daha yoğun ve canlı olması ve infiltrasyon testleri yüzey toprağında yapıldığı için bu sonucun tekstür ve yüzey özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.10 Toprak parametrik ve morfolojik özellikleri için bakılara göre oluşturulmuş alt gruplar (Duncan sınıflaması) (α : 0.05)

Toprak Özellikleri	Kuzey	Sig.	Kuzeybatı	Sig.	Kuzeydoğu	Sig.	Doğu	Sig.	Güneydoğu	Sig.	Düzlük	Sig.
Mottles (Benek)	0,00a	0,23	0,85b	1,00	0,33a	0,23	0,00a	0,23	0,33a	0,23	0,00a	0,23
Konsantrasyonlar	7,31b	0,07	7,00b	0,07	6,83ab	0,05	2,83ab	0,05	2,00a	0,07	4,66ab	0,05
Pedalite	8,56b	0,20	6,85ab	0,05	9,41b	0,20	4,05a	0,20	8,91b	0,20	6,77ab	0,05
Kırılganlık	8,87b	0,11	7,21ab	0,02	9,16b	0,11	4,44a	0,04	8,00ab	0,02	10,1b	0,11
Yapışkanlık	2,18ab	0,02	2,07ab	0,02	2,33b	0,06	1,55a	0,03	1,75ab	0,02	2,33b	0,06
Plastiklik	2,06ab	0,02	2,42b	0,06	2,25b	0,06	1,50a	0,04	1,91ab	0,02	2,11b	0,06
Kök sınıfı	0,81ab	0,02	1,21bc	0,03	1,66d	0,07	0,61a	0,28	1,08b	0,03	1,33c	0,02
Kök boyutu	1,12ab	0,02	1,57b	0,22	2,33c	1,00	0,77a	0,05	1,58b	0,22	1,44ab	0,02
Kök şekli	1,13ab	0,06	1,85b	0,01	2,16c	0,04	0,72a	0,03	1,41ab	0,06	1,00a	0,03
Por sınıfı	0,80ab	0,04	1,21bc	0,02	1,67d	0,09	0,60a	0,25	1,08b	0,02	1,32c	0,21
Por boyutu	1,00ab	0,05	1,50b	0,07	2,31c	1,00	0,72a	0,38	1,59b	0,07	1,43ab	0,05
Por şekli	1,12ab	0,04	1,86b	0,03	2,17c	0,02	0,72a	0,05	1,40ab	0,04	1,00a	0,05
TOM (%)	1,79a	0,24	1,85a	0,24	1,87a	0,24	1,43a	0,24	1,52a	0,24	1,86a	0,24
Db (g/cm ³)	1,27ab	0,02	1,25ab	0,02	1,2ab	0,02	1,30ab	0,02	1,19a	0,04	1,32b	0,18
≠ ÖASİ	16,40a	0,06	15,11a	0,06	15,2a	0,06	13,63a	0,06	12,19a	0,06	18,10a	0,06
CaCO ₃ (%)	23,1ab	0,01	26,9b	0,05	20,48ab	0,01	20,02a	0,35	22,71ab	0,01	22,02ab	0,01
EC (µS/cm)	736,1ab	0,02	381,6a	0,09	730,3ab	0,02	1166,0b	0,05	500,9a	0,09	339,2a	0,09
pH	8,16a	0,29	8,41b	0,55	8,24a	0,29	8,23a	0,29	8,45	0,55	8,20a	0,29
Kum (%)	28,7ab	0,30	30,7ab	0,30	22,6a	0,05	38,9c	0,06	30,16ab	0,30	32,93b	0,25
Kil (%)	44,0bc	0,03	46,5bc	0,03	56,5c	0,07	34,7ab	0,09	28,8a	0,30	44,4bc	0,03
Silt (%)	27,2a	0,30	22,6a	0,30	20,2a	0,30	26,2a	0,30	41,3b	1	22,6a	0,30
AS (%)	2,52	0,08	1,90ab	0,04	3,27	0,08	1,41ab	0,04	0,67a	0,05	2,49	0,05
TK (%)	32,7ab	0,03	35,7b	0,05	30,1a	0,06	32,3ab	0,03	34,2ab	0,03	31,44ab	0,03
SN (%)	21,8a	0,26	21,2a	0,06	20,5a	0,26	21,5a	0,26	21,2a	0,26	22,8a	0,26
BYSİ (%)	10,8ab	0,01	13,6b	0,07	9,54ab	0,01	10,8ab	0,01	13,0ab	0,01	8,63a	0,05
Ks (cm/s)	1,63ab	0,02	2,01ab	0,02	0,75a	0,09	2,85b	0,09	4,77c	1,00	0,77a	0,09
KDK(meq/100gr)	25,5bc	0,05	27,0bc	0,05	32,0c	0,06	20,2ab	0,04	17,4a	0,40	25,9bc	0,05
İH (cm/sa ⁻¹)	2,41a	0,21	3,22a	0,21	1,80a	0,21	5,28b	1,00	1,73a	0,21	5,41b	1,00

TOM: Toprak Organik Maddesi, D_b: Hacim Ağırlığı, ≠: Örnekleme Anındaki Su İçeriği, AS: Agregat Stabilitesi, TK: Tarla Kapasitesi, SN: Solma Noktası, BYSİ: Bitkiye Yarayışlı Su İçeriği, K_s: Doymuş Hidrolik İletkenlik, KDK: Katyon Değişim Kapasitesi, İH: İnfiltrasyon Hızı. (Aynı harfler ortak grubu göstermektedir. Aynı satırda aynı harf ile etiketlenen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur)

Kuzeybatı bakıda toplam 5 adet toprak profili (1.P, -2.P, -3.P, -4.P, -5.P) açılmış olup, profillerin açıldığı noktaların deniz seviyesinden yüksekliği 710-735 m arasında değişmektedir (Şekil 4.11). Kuzeybatı bakıda, tanımlama ve ölçümler esnasında 1, -2 ve -3 nolu profiller anızlı ve 4 ve -5 nolu profiller ise işlenmiş arazide açılmıştır. Bu bakıda profillerin yakınlarında çoğunlukla kümeler halinde olmak üzere Geven (*Astragalus spp*) bulunduğu gözlenmiştir. Horizon dizilimi tipik olarak A-C şeklinde olmasına rağmen, bazı profillerde A-B_{w1}-B_{w2}-C şeklinde dizilimde tanımlanmıştır (detaylı profil tanımlaması Ek 1’de verilmiştir). Tanımlanan B_w horizonun varlığı sebebiyle, bu topraklar toprak taksonomisine göre *Fluventic Xerorchept* olarak tanımlanmıştır. Baskın ana materyal jipsik ana materyal olmasına rağmen, 2 nolu profilde jips+laküstrin ana materyal gözlenmiştir. Bu sonuç, eskiden burada bir gölün var olduğunu daha sonra kurak iklimin etkisi ile gölün buharlaşmasından kaynaklanmış olabileceğini düşündürmektedir. Nitekim üst katmanda erozyonun, alt katmanda ise jipsli ana materyalin etkili olması bukanı destekler niteliktedir.



Şekil 4.11 Kuzeybatı bakıda açılan profillerin genel görünümü

Kuzeybatı bakı genel itibariyle çok taşlı, yarı-köşeli blok pedalite, orta yapışkan, -orta plastik ve güçlü köpürme özelliklerine sahiptir. Bu bakıda dikkati çeken bir husus, 1 nolu profilde toprağın malç etkisi yapmış olmasıdır. Burada toprağın çok sert, kuru ve jips etkisiyle taşların çimentolaşmış olduğu görülmektedir. Bu tip farklılıklar toprak-su ilişkileri ve toprakta geri besleme mekanizmaları üzerinde önemli etkiye sahiptir. Nitekim yapılan bir çalışmada, toprağın

kendini malç haline getirmesinin (self-mulching) infiltrasyonu önemli düzeyde azalttığı rapor edilmiştir (Lambrechts and MacVicar, 2004). Fakat birçok pedolog arazide kendi kendine malçlamanın tanımlanmasının zor olduğu için bunu bir kriter olarak görmemektedir. Group and Macvicar (1991)'a göre toprağın kendini malçlaması; iyi bir drenaj, kil taşınması ve yerel indirgenme koşulları ile oluşur. Ayrıca bu tip toprakların doymuş hidrolik iletkenlikleri çok düşük, erozyon potansiyeli yüksek ve agregat stabilitesi düşüktür. Bu tip toprakların hidropedolojik çalışma sonuçlarının değerlendirilmesi, toprak-bitki-su ilişkisi, su iletimi ve toprak amenajmanının geliştirilmesinde önemli bir araç olduğu düşünülmektedir.

Güneydoğu bakıda 5 adet toprak profili (6.P, -7.P, -8.P, -9.P, -10.P) açılmış olup, profillerin açıldığı noktaların deniz seviyesinden yüksekliği 700-730 m arasında değişmektedir. Bu bakıda 6 ve 7 nolu profiller işlenmiş; 8, 9 ve 10 nolu profiller ise anızlı arazide açılmıştır. Horizon dizilimi tipik olarak A-B_w-C şeklindedir (detaylı profil tanımlaması Ek 1'de verilmiştir). Bu bakıda baskın ana materyal jipsik+kolüvyaldır. Nitekim fazla miktarda konglomeraların varlığı bunu destekler niteliktedir (Şekil 4.12). Kuzeybatı bakıdan farklı olarak bu bakıda 8 ve 9 nolu profillerde petrojipsik horizon tanımlanmış ve (Şekil 4.13) bazı profillerde A horizonunda ped içi konsantrasyonlar gözlenmiştir. (Bu bölüm detaylı olarak horizon başlığında irdeleneceğinden burada çok değinilmemiştir). Güneydoğu bakının bitiminde yer alan 10 numaralı profilin etrafında bitkilerin daha yoğun ve canlı olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeninin yakınsak (converge) eğimin derinleşmesinden ve nemin fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim yapılan bir çalışmada en fazla nemin yakınsak omuz eğimde olduğu bildirilmiştir (Pennock et al., 1987).



Şekil 4.12 Güneydoğu bakıda açılan profillerin genel görünümü (solda) ve arazi yüzeyinden bir görünüm (sağda)



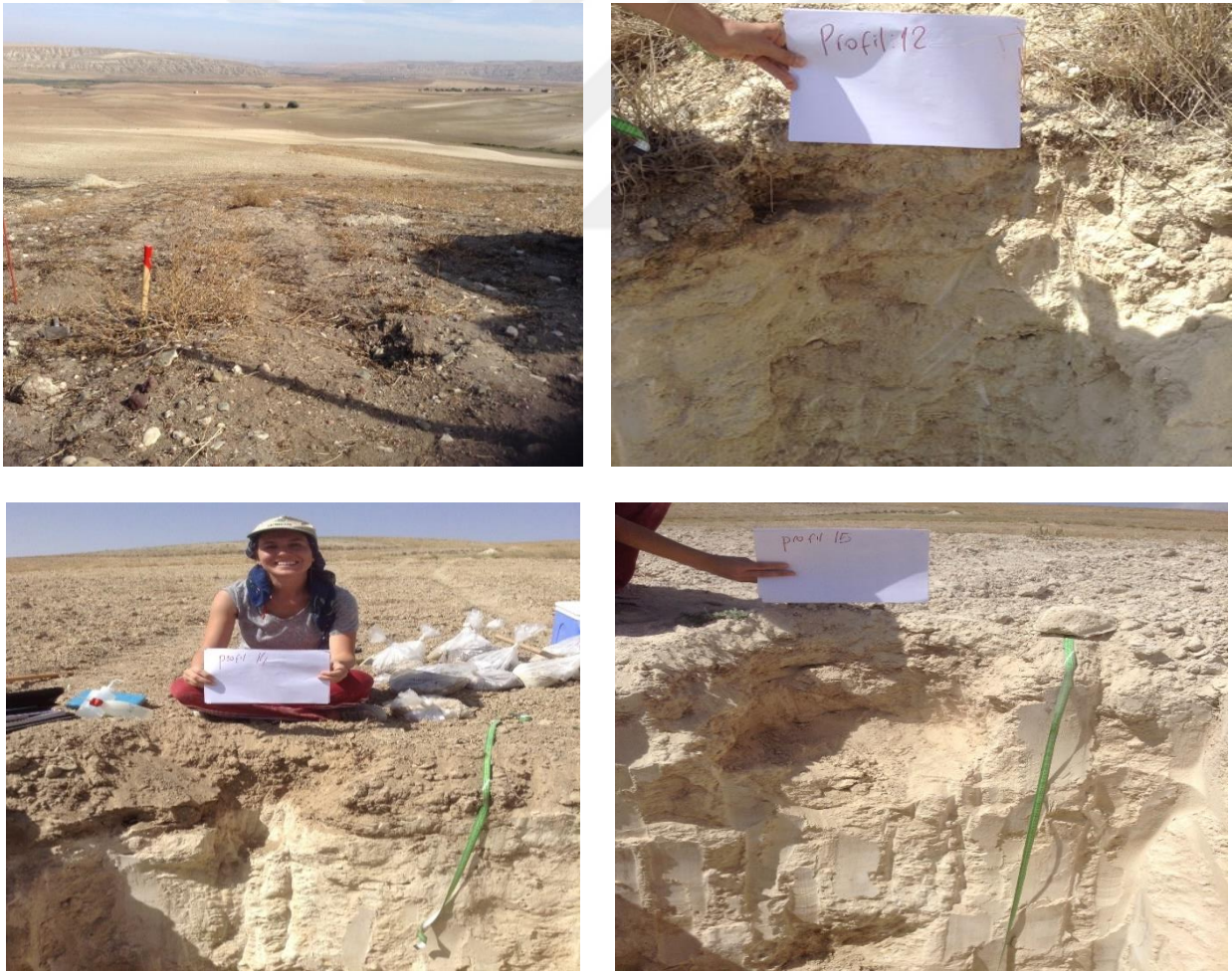
Şekil 4.13 Güneydoğu bakıda açılan 8 ve 9 nolu profillerde tanımlanan petrojipsik horizonlar

Doğu bakıda 7 adet toprak profili (11.P, -12.P, -13.P, -14.P, -15.P, -30.P, -31.P) açılmış olup, profillerin açıldığı noktaların deniz seviyesinden yüksekliği 690-730 m arasında değişmektedir. Bu bakıda farklı toprak oluşumları dikkati çekmektedir. Örneğin 11 ve 12 numaralı profillerin baskın ana materyali jipsik+kolüvyal olmasına rağmen 12.profilinden itibaren toprak renginde keskin bir farklılık vardır ve ana materyal jipsik ana materyale dönüşmektedir (Şekil 4.14). Aynı zamanda 12 nolu profilde C horizonunda krotovinalara rastlanmıştır. Bu bakıda toprak oluşumunda ana materyalin etkisinin baskın olduğu düşünülmektedir. Ancak 14 numaralı profilde farklı olarak C horizonunda üstteki materyal beyaz (C₁), alttaki materyal (C₂) ise sarımsı renktedir. Burada toprakta mikrosüreçlerin değişmesinden kaynaklı bir farklılığın meydana geldiği sanılmaktadır. Bu profilde toprak oluşumu neredeyse yok denecek kadar azdır. Aşırı erozyon nedeniyle anamateryalin burada yüzeye çıktığını görmekteyiz (Şekil 4.14). Bu gibi topraklar için (biz burada toprak oluşum faktörlerinin etkisinin olmadığını düşünüyoruz) literatürde ‘Gypsisol’ tanımlaması yapılmıştır (Herrero et al.,2009). Ancak kesin ve net sonuçların elde edilebilmesi için detaylı analizlerin yapılması gerekmektedir.

Aynı zamanda bu bakıda açılan bir profilin (16.P) bir kısmının su dolu olmasından dolayı tanımlama yapılamamış olup, profilden çıkan su analiz edilmiştir (Şekil 4.3). Analiz sonuçlarına göre su ‘çok yüksek tuzlu su’ ve az sodyumlu su’ sınıfına girmektedir. Detaylı su analiz sonuçları Ek 2’de verilmiştir. Bu bölgede toprağın daha derin ve ıslak olduğu gözlenmiştir. Bu sonuç burada toprak oluşumunun daha ileri ve yıkanma ve birikme süreçlerinin fazla olduğunu

düşündürmektedir. 30 ve 31 nolu profillerde jipsik+kolüvyal ana materyal baskın olup, çimentolaşmış taşların varlığı dikkat çekmektedir. Bu sebeple 30 nolu profilde petrojipsik horizon tanımlanmış fakat 31 nolu profilde böyle bir horizon tanımlanmamıştır. Ancak baskın anamateryal ve etkileri için detaylı analizlerin yapılması gerekmekte olup, bu da radio karbon analizi ile belirlenmektedir (Presley, 2007).

Aynı zamanda tanımlamalar sırasında doğu bakıda jipsli anamateryalin bulunduğu alanlarda yüzey akışın etkisi gözlenmiştir (Şekil 4.15). Yüzey akışın oluşmasında bakı, topografik faktörler, toprağın fiziksel ve hidrolojik özellikleri arasında ilişkiler vardır (Lal, 1988). Bu faktörlerin yanında bu bölgenin yamaçlardan taşınan suların toplanma yeri olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüzey akışın oluşmasına sebep olan faktörler birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Barthes and Roose, 2002; Schor and Gray, 2007).

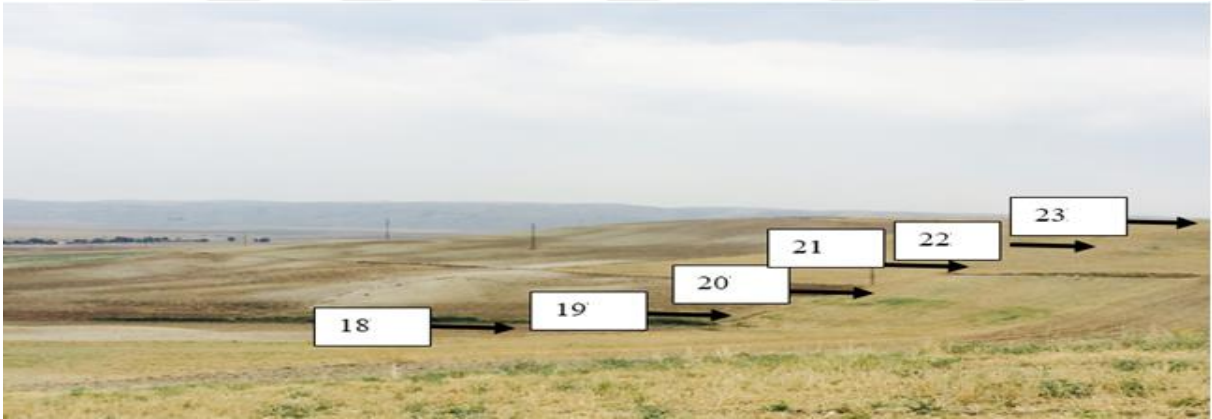


Şekil 4.14 Doğu bakıda açılan profillerin genel görünümü



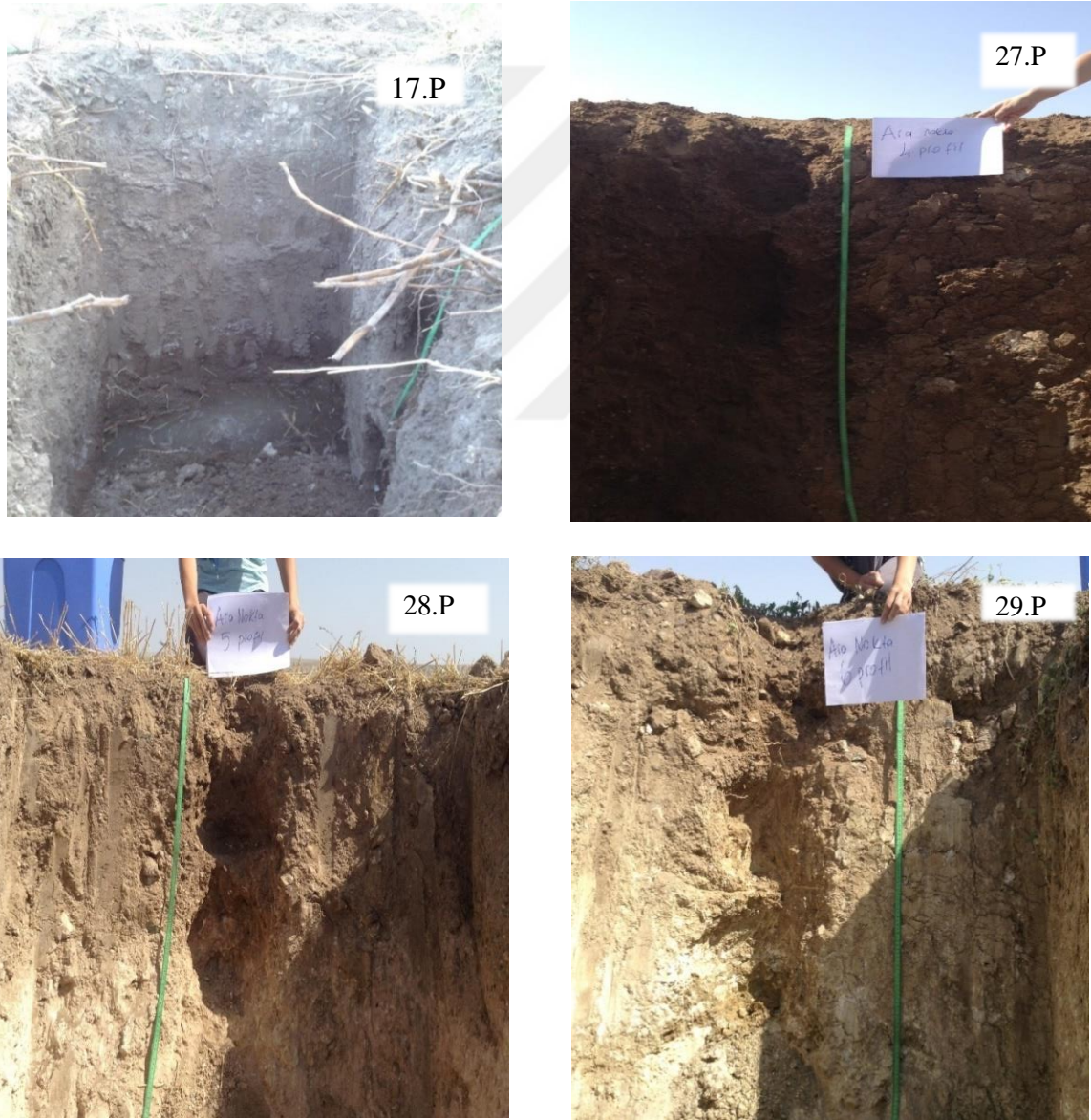
Şekil 4.15 Doğu bakıda yüzey akış

Kuzey bakıda 5 adet toprak profili (18.P, 20.P, 21.P, 22.P, 23.P) açılmış olup, profillerin açıldığı noktaların deniz seviyesinden yüksekliği 680-725 m arasında değişmektedir. Kuzey bakıda baskın ana materyal kolüvyal+jipsiktir. Bu bakıda da açılan bir profilin (19P) bir kısmının su ile dolu olmasından dolayı tanımlama yapılamamıştır. Bu bakıda 22 nolu profilde petrojipsik horizon tanımlanmıştır. Kuzey bakıda toprak oluşumunda etkin faktörlerin su ve ana materyal olduğu görülmektedir (Şekil 4.16)



Şekil 4.16 Kuzey bakıda açılan profillerin genel görünümü ve 22 nolu profilde tanımlanan petrojipsik horizon

Kuzeydoğu bakıda 4 adet toprak profili (17.P, -27.P, -28.P, -29.P) açılmış olup, profillerin açıldığı noktaların deniz seviyesinden yüksekliği 660-685 m arasında değişmektedir. Açılan 17 numaralı profil yatay hareketle gelen suların etkisi sebebiyle daha derin olup, etrafındaki uzun boylu, kaba otların varlığı dikkati çekmiştir. Bu otların kalın kökleri burada makropor etkisi yaratmış olabilir. Profil tanımlaması sırasında kumlu materyallerin varlığı yukarıdan taşınarak gelen materyallerin burada biriktiğini düşündürmektedir (Şekil 4.17). Açılan 4 toprak profilinden 17 numaralı profil alüvyal ana materyale sahipken, 27, -28 ve -29 numaralı profilin baskın ana materyali kolüvyal+jipsiktir. Bu bakıda genellikle toprak profilleri derindir.



Şekil 4.17 Kuzeydoğu bakıda açılan profillerin genel görünümü

Düzlükte 3 adet toprak profili (24.P, -25.P, -26.P) açılmıştır. Burada baskın ana materyal kolüvyal+jipsiktir. Bu alanda toprak kuru ve sert olmakla birlikte, sivri yapıdaki taşlar dikkat çekmektedir. Buradaki profiller işlenmiş arazi üzerinde açılmıştır ve profilin etrafında bitki artıkları bulunmaktadır. Bu alan genel olarak çok taşlıdır ve profillerde oldukça fazla solucan kanalı bulunmaktadır (Şekil 4.18). Aynı zamanda 25 nolu profilde alttaki ve üstteki materyalden renk ve strüktür bakımından farklı bir kambik horizon tanımlanmıştır.



Şekil 4.18 Düzlükte açılan profillerin görünümü

Çalışma alanında farklı bakılar olmasından dolayı, toprak fiziksel, kimyasal ve morfolojik özellikleri bakı faktörü dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Genel itibariyle bakılara göre toprak özellikleri arasında istatistiki anlamda birbirlerinde önemli düzeyde farklar vardır. Bakı faktörü toprak morfolojik özelliklerinden; pedalite, kırılgenlik, yapışkanlık ve plastiklik, toprak kimyasal özelliklerinden; TOM, CaCO₃ ve EC, toprak fiziksel özelliklerinden; örnekleme anındaki nem, AS, TK, SN ve BYSİ üzerinde önemli bir etkiye sahip değildir.

Kil miktarlarının kuzey bakılarda daha yüksek çıkması, kimyasal ayrışma koşullarının bakı etkisinde farklı olduğuna işaret etmektedir. Nitekim çalışma alanında kuzey ve güney bakıların bitki örtüsü gelişiminde az da olsa değişiklikler gözlenmiştir. Ancak burada, yarı kurak bir iklimin varlığı nedeniyle, bakılar arasında meydana gelebilecek kimyasal ayrışmanın hızını etkileyecek nem koşullarında önemli bir farkın olmadığı, bu sebeple çalışma alanı topraklarında

fiziksel ayrışma koşullarının daha iyi olduğu söylenebilir. Yapılan bir çalışmada; kimyasal, fiziksel ve biyolojik ayrışma koşullarının arazinin bakısından kaynaklanan sıcaklık ve yağış gibi iklimsel faktörler tarafından belirlendiği rapor edilmiştir (Wilding et al., 1985). Jackson and Sherman (1953), ayrışmanın hem solumun altında hem de solumun içinde devam ettiğini, ayrışmanın yalnızca toprak oluşturmak üzere ana materyalin parçalanması şeklinde yorumlanmaması ve kimyasal ayrışmanın jeokimyasal ve pedolojik olarak daha detaylı olarak incelenmesi gerektiğini bildirmiştir. Bu sebeple çalışma alanında bağımsız olarak kimyasal ayrışma süreçlerinin meydana geldiği ve bu süreçlerin fiziksel süreçlerle birlikte ayrışma ve parçalanmayı yürüterek birbirlerini tamamladıkları düşünülmektedir. Çalışma alanında bazı profillerde siyah beneklerin olması da fiziksel ayrışmanın tepe-eğim hidrolojisini kontrol ettiğinin bir göstergesi olabilir. Yapılan bir çalışma bu sonucu destekler niteliktedir (van Tol, 2011). Yarı-kurak iklime sahip toprakların özelliklik kazanmasında ana materyal ve topografya önemli bir faktördür. Bizim çalışmamızda toprak oluşumunda ana materyal ve topografyanın iklim ve bitki örtüsünden daha etkili olduğu düşünülmektedir. Benzer çalışmalarda bizim çalışmamızdan çıkan sonuçlar ile uyumludur (Dengiz et al., 2006; Erol and Hızal, 2006).

4.1.5 Eğim Pozisyonu-Toprak Parametrik ve Morfolojik Özellikleri İlişkileri

Tepe-eğim ölçeğinde hidrolojik süreçlerin kontrolünde topografya güçlü bir etmen olup, hidropedolojik özelliklerin tanımlanması ve toprak-bitki-su ilişkilerinde anahtar faktördür. Çalışma alanında 5 farklı eğim pozisyonu bulunmaktadır. Çalışma alanındaki tüm eğim pozisyonlarına göre toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tanımlayıcı istatistikleri Çizelge 4.11’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre, örnekleme anında nem ortalaması en yüksek eğimin bittiği parmak eğimde görülmüş olup bu, beklenen bir durumdur. Yapılan bazı çalışmalar bu sonucu destekler niteliktedir (Hall and Olson, 1991; Moore and Burch, 1986). Toprakların EC değerine bakıldığında en yüksek ortalamanın arka eğimde, en düşük ortalamanın ise zirvede çıktığı görülmektedir. Zirveden yüzeyaltı akış tarafından taşınan tuzların arka pozisyonda biriktiği ve bu durumun toprak su hareketinin bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Yapılan bir çalışmada, bizim çalışmamızdaki sonucun tersine, EC’nin en yüksek parmak eğimde görüldüğü ve araştırmacıların bunun nedeninin parmak eğimde asılı bir su tablasının varlığı ile gübreleme ve mineral tuzlardan kaynaklı bir birikmeden kaynaklandığını bildirmişlerdir (Ersahin, 1998). Benzer bir çalışmada tepe-eğim modelinde toprakların elektiriksel iletkenliklerine bakılmış olup, en yüksek EC ortalamasının zirvede, en düşük ise parmak eğimde olduğu rapor edilmiştir (Clay

et al., 2001). TOM için en yüksek ortalama arka eğimdeyken, en fazla değişkenlik omuz eğimde (VK=56,6%); en düşük ortalama ayak eğimdeyken, en düşük değişkenlik ise (VK=39,2%) zirvede görülmüştür (Çizelge 4.11). Bunun nedeninin arka eğimde açılan profillerin etrafında yamalı şekilde bulunan bitkilerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Toprak organik maddesinin üst pozisyondan alt pozisyonlara değişiminde bir eğilim (trend) bulunamamıştır. Oysaki yapılan diğer çalışmalarda organik maddenin zirveden alt pozisyonlara doğru azaldığı bulunmuştur (Aşkın, 2002; Heddadj and Gascuel-Odoux, 1999).

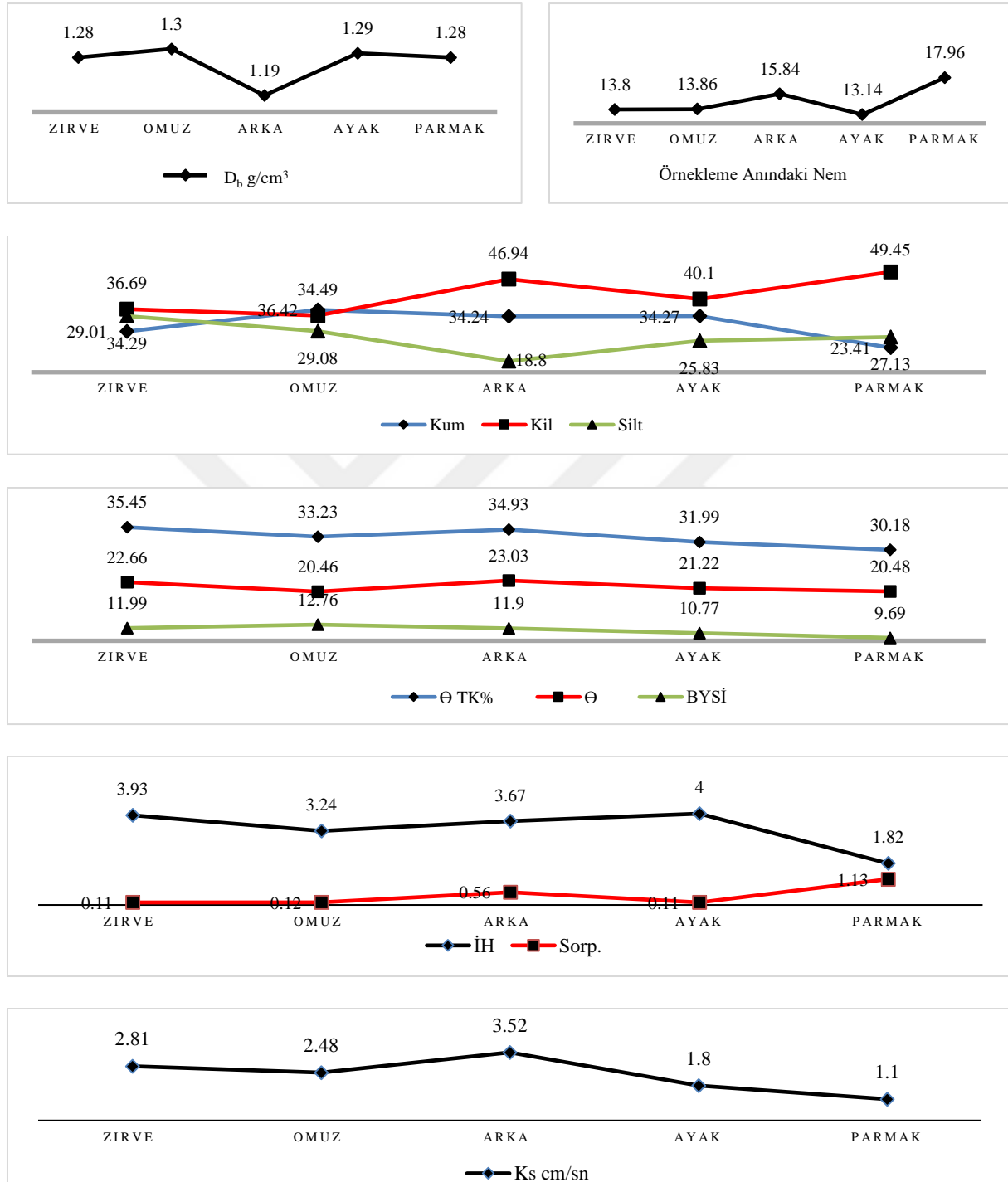
Elde edilen sonuçlara göre CaCO_3 için yüksek ortalama parmak eğimde olup, bu durumun yıkanma ve yüzey akışın etkisiyle taşınıp, parmak eğimde birikmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer çalışmalar bu sonucu destekler niteliktedir (Aşkın, 2002; Lin et al., 2005b). K_s zirveden omuz pozisyonuna azalma, omuz eğimden arka eğime artış ve arka eğimden parmak eğime kadar azalma göstermiştir (Çizelge 4.11). Bu sonucun eğim pozisyonlarındaki tekstür ve strüktürdeki değişimlerden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 4.11 Toprak parametrik özelliklerinin eğim pozisyonuna göre tanımsal istatistik analiz sonuçları (N:486)

Toprak Özellikleri		TOM %	Db g/cm ³	≠ÖASİ %	CaCO ₃ %	EC µS/cm	pH	Kum %	Kil %	Silt %	AS %	TK %	SN %	BYSİ %	Ks cm/s	KDK meq/100gr	İH cmsa ⁻¹	Sorp. cmsn ⁰⁵	
Pozisyon																			
En Küçük	Zirve (N:84)	0,33	1,01	1,39	13,63	10,00	8,06	11,60	0,90	2,50	0,31	19,79	9,34	0,28	0,01	2,57	0,42	0,04	
	Omuz (72)	0,06	1,00	1,48	11,65	13,00	7,70	10,70	0,80	1,20	0,02	18,04	8,75	0,71	0,14	1,13	0,12	0,02	
	Arka (84)	0,06	1,02	3,99	3,64	10,00	7,70	7,20	22,80	0,90	0,02	23,56	11,77	2,44	0,18	12,27	0,54	0,01	
	Ayak (132)	0,13	1,00	1,45	5,24	10,00	7,86	16,60	12,35	3,87	0,08	20,11	5,13	0,98	0,12	7,86	0,23	0,02	
	Parmak(114)	0,03	1,00	2,91	10,22	10,00	7,45	11,98	15,60	7,50	0,19	11,75	8,81	1,49	0,05	10,21	0,10	0,02	
En Büyük	Zirve (N:84)	2,95	1,51	33,71	56,74	2100	8,77	62,10	68,30	73,40	10,99	47,40	31,64	24,46	13,55	37,65	11,18	0,21	
	Omuz (72)	3,27	1,55	27,00	68,00	2084,0	8,71	65,70	74,30	68,40	6,37	52,89	31,14	30,83	7,00	38,97	8,49	0,24	
	Arka (84)	3,67	1,49	30,01	43,65	2180,0	8,79	58,60	71,40	36,30	6,77	43,98	31,09	22,12	14,19	41,56	8,36	2,89	
	Ayak (132)	3,60	1,55	27,26	53,00	2140,0	8,74	67,00	65,50	67,20	10,48	53,29	32,01	35,01	9,92	37,44	9,44	0,25	
	Parmak(114)	3,58	1,55	34,11	37,10	2020,0	8,72	44,70	68,40	53,00	7,44	51,35	33,09	30,30	6,87	39,40	7,65	0,30	
Ortalama	Zirve (N:84)	1,68	1,28	13,80	21,27	498,4	8,37	29,01	36,69	34,29	2,30	35,45	22,66	11,99	2,81	21,71	3,93	0,11	
	Omuz (72)	1,59	1,30	13,86	23,55	643,6	8,21	36,42	34,49	29,08	1,59	33,23	20,46	12,76	2,48	20,43	3,24	0,12	
	Arka (84)	1,89	1,19	15,84	20,17	928,58	8,18	34,24	46,94	18,80	1,31	34,93	23,03	11,90	3,52	27,25	3,67	0,56	
	Ayak (132)	1,65	1,29	13,14	22,26	737,6	8,27	34,27	40,10	25,83	2,19	31,99	21,22	10,77	1,80	23,35	4,00	0,11	
	Parmak(114)	1,71	1,28	17,96	24,88	632,0	8,33	23,41	49,45	27,13	2,32	30,18	20,48	9,69	1,10	28,16	1,82	1,13	
Standart Sapma	Zirve (N:84)	0,66	0,12	6,96	7,95	577,9	0,18	11,19	23,54	22,49	2,16	5,17	4,27	5,35	2,73	11,54	3,03	0,05	
	Omuz (72)	0,90	0,14	8,17	8,28	616,8	0,20	9,68	21,27	16,76	1,66	7,02	5,31	7,15	1,86	10,64	3,08	0,08	
	Arka (84)	0,91	0,11	6,77	9,90	767,35	0,23	13,25	16,13	8,93	1,44	4,03	4,02	4,57	3,42	9,44	2,32	0,95	
	Ayak (132)	0,82	0,12	6,67	9,75	693,3	0,17	13,37	16,30	13,24	2,43	6,54	5,19	7,03	2,01	9,00	2,96	0,06	
	Parmak(114)	0,93	0,15	7,58	7,05	527,7	0,18	6,26	15,12	10,71	1,97	7,82	5,24	6,14	1,14	8,14	1,99	0,07	
Varyasyon Katsayısı	Zirve (N:84)	39,28	9,37	50,43	37,37	115,9	2,15	38,57	64,15	65,58	93,91	14,58	18,84	44,62	97,15	53,15	83,96	45,40	
	Omuz (72)	56,60	10,76	58,94	35,15	95,83	2,43	26,57	61,67	57,63	104,40	21,12	25,95	56,33	75,00	52,08	95,06	66,60	
	Arka (84)	48,14	9,24	42,79	49,08	82,63	2,81	38,69	34,36	47,50	109,92	11,53	17,45	38,40	97,15	34,64	63,21	169,60	
	Ayak (132)	49,69	9,30	50,76	43,80	93,99	2,05	39,01	40,64	51,25	110,40	20,44	24,45	65,27	111,60	38,54	74,00	54,50	
	Parmak(114)	54,38	11,71	42,20	28,33	83,49	2,16	26,74	30,57	39,47	84,91	25,91	25,58	63,36	103,63	28,90	109,30	6,19	

TOM: Toprak Organik Maddesi, Db: Hacim Ağırlığı, #: Örnekleme Anındaki Su İçeriği, AS: Agregat Stabilitesi, TK: Tarla Kapasitesi, SN: Solma Noktası, BYSİ: Bitkiye Yarayışlı Su İçeriği, Ks: Doymuş Hidrolik İletkenlik, KDK: Katyon Değişim Kapasitesi, İH: İnfiltrasyon Hızı, Sorp: Sorptivite

Toprak fiziksel özelliklerinin eğim pozisyonlarına göre ortalamalarının değişimi Şekil 4.19’de verilmiştir.

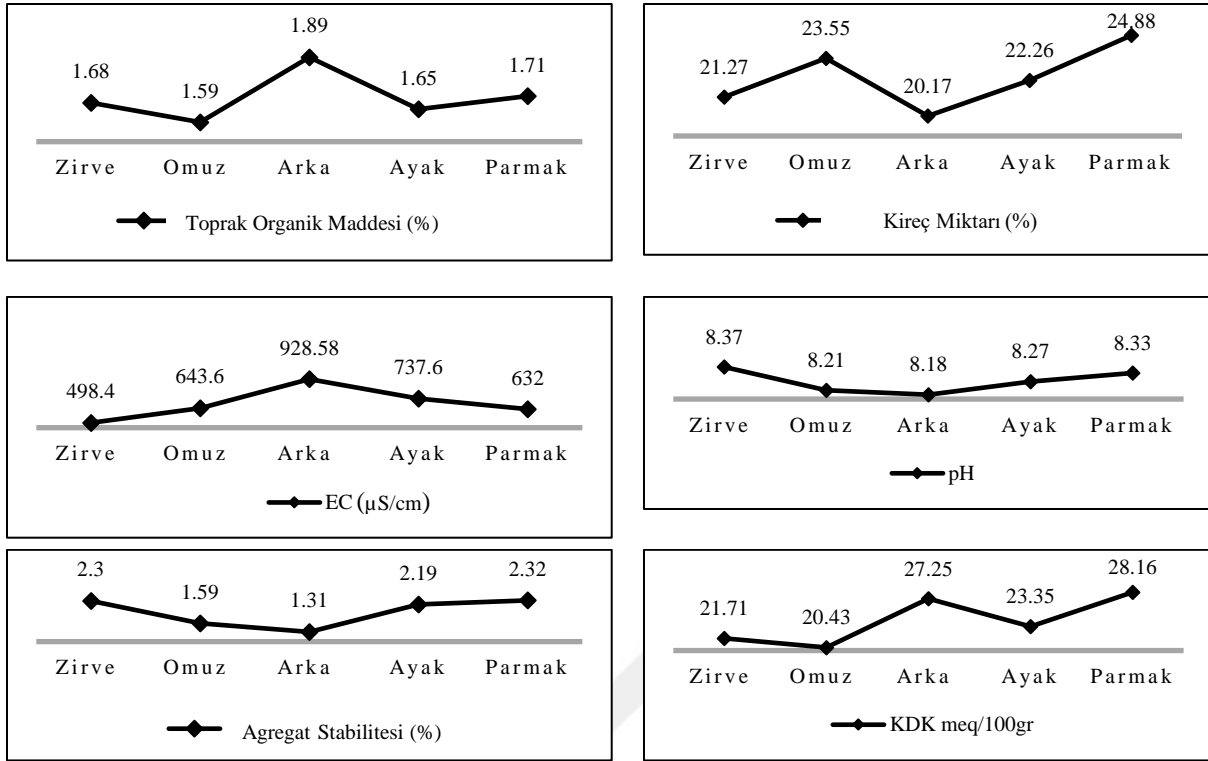


Şekil 4.19 Toprak fiziksel özelliklerinin eğim pozisyonlarına göre değişimi. D_b: Hacim Ağırlığı, TK: Tarla Kapasitesi, SN: Solma Noktası, BYSİ: Bitkiye Yararlı Su İçeriği, İH: İnfiltrasyon hızı, Sorp: Sorptivite

Şekil 4.19'a göre, infiltrasyon hızının ayak eğimde en yüksek, parmak eğimde en düşük olduğu görülmektedir. İnfiltrasyon hızı K_s , toprak tekstürü, pedalite, bitki örtüsü ve bitki kök yoğunluğunun bir fonksiyonudur (Williams et al., 1998). Diğer bir deyişle, K_s 'in artma ve azalmasına bağlı olarak infiltrasyon hızında da değişiklik meydana gelmektedir. Bizim çalışmamızda, İH ayak eğimde en yüksek değerini alırken ($\text{İH}=4 \text{ cmsa}^{-1}$), K_s 'de bu pozisyonda azalma görülmüştür ($K_s=1,8 \text{ cm/s}$). Bunun nedeninin infiltrasyon testleri ve hidrolik iletkenlik testlerinin aynı toprak üzerinde yapılmamış olmasından kaynaklanmıştır. Aynı zamanda K_s ve infiltrasyon testlerinin ölçüm yönteminin farklı olması da bu değişkenliğin bir diğer sebebidir. İnfiltrasyon testleri toprak yüzeyinde yapılırken, hidrolik iletkenlik testleri ise A horizonunda 10-20 cm arasında yapılmıştır. Bu sebeple yüzey toprağında bulunan kök kanalları infiltrasyon hızına daha fazla etki yapmış olabilir. Kil miktarının arka eğim B_w horizonunda aniden arttığı ve buna bağlı olarak toprak kimyasal özelliklerinden TOM ve KDK'ında buna paralel bir artış gösterdiği görülmektedir. Kil miktarının arka eğimde artması, arka eğimin killi anamateryalden oluşması, bir kil katmanının varlığı ve bu katmanın toprak özelliklerini etkilediğini düşündürmektedir. Aynı şekilde K_s ve infiltrasyon hızında omuz eğimden arka eğime geçişte bir artma gözlenmiş olup, bunun sebebi hacim ağırlığının düşmesinden kaynaklıdır.

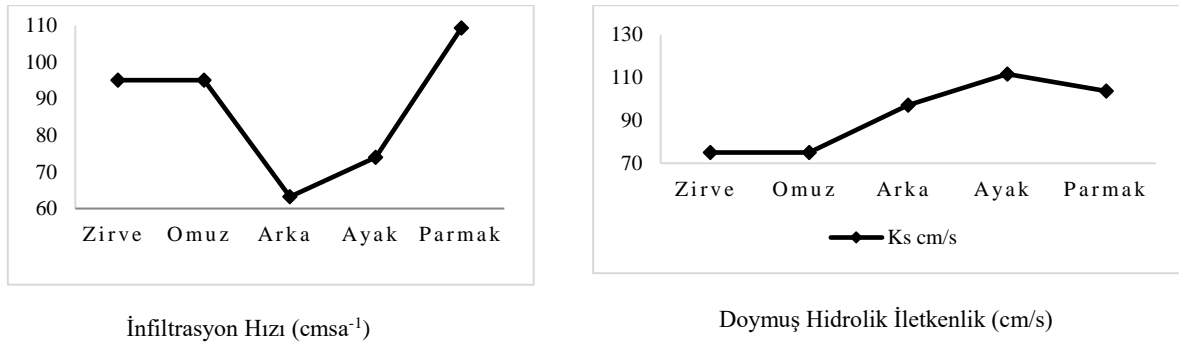
Eğim pozisyonlarına bağlı olarak toprak kimyasal özelliklerinin ortalama değişimleri Şekil 4.20'de verilmiştir. Buna göre, eğim pozisyonlarına göre toprak organik maddesindeki artma ve azalmadan KDK'nın etkilendiği ifade edilebilir. TOM'daki değişimin eğim pozisyonlarındaki farklı nem içeriklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bizim çalışmamızda TOM ortalaması en yüksek arka eğimde olup, yapılan bir çalışmada TOM ortalaması en fazla omuz eğimde bulunmuştur (Baskan et al., 2016). Parmak eğimde CaCO_3 ortalamasının arttığı görülmektedir. Bunun nedeni, konkav yapıdaki eğimde toprağa infiltre olan suyun yüzey altında yatay hareket edip daha alt pozisyonlarda birikmesinden kaynaklanmış olabilir. Yapılan bir çalışma bu sonucu destekler niteliktedir (Lin et al., 2005b).

Toprak pH'sı tüm eğim pozisyonlarında en az değişkenlik gösteren toprak özelliğidir. pH için en yüksek ortalama zirvede, en düşük ise arka eğimdedir. Organik maddenin arka eğimde artması burada mikrobiyal faaliyetlerin artmasına sebep olarak, toprak pH'sının düşmesine neden olmuş olabilir.



Şekil 4.20 Bazı toprak özelliklerinin eğim pozisyonlarına göre değişimi.

Eğim pozisyonlarına bağlı, en yüksek değişkenlik gösteren toprak özellikleri (VK) Şekil 4.21 'de verilmiştir.



Şekil 4.21 Eğim pozisyonlarına göre en yüksek değişkenlik gösteren toprak özellikleri

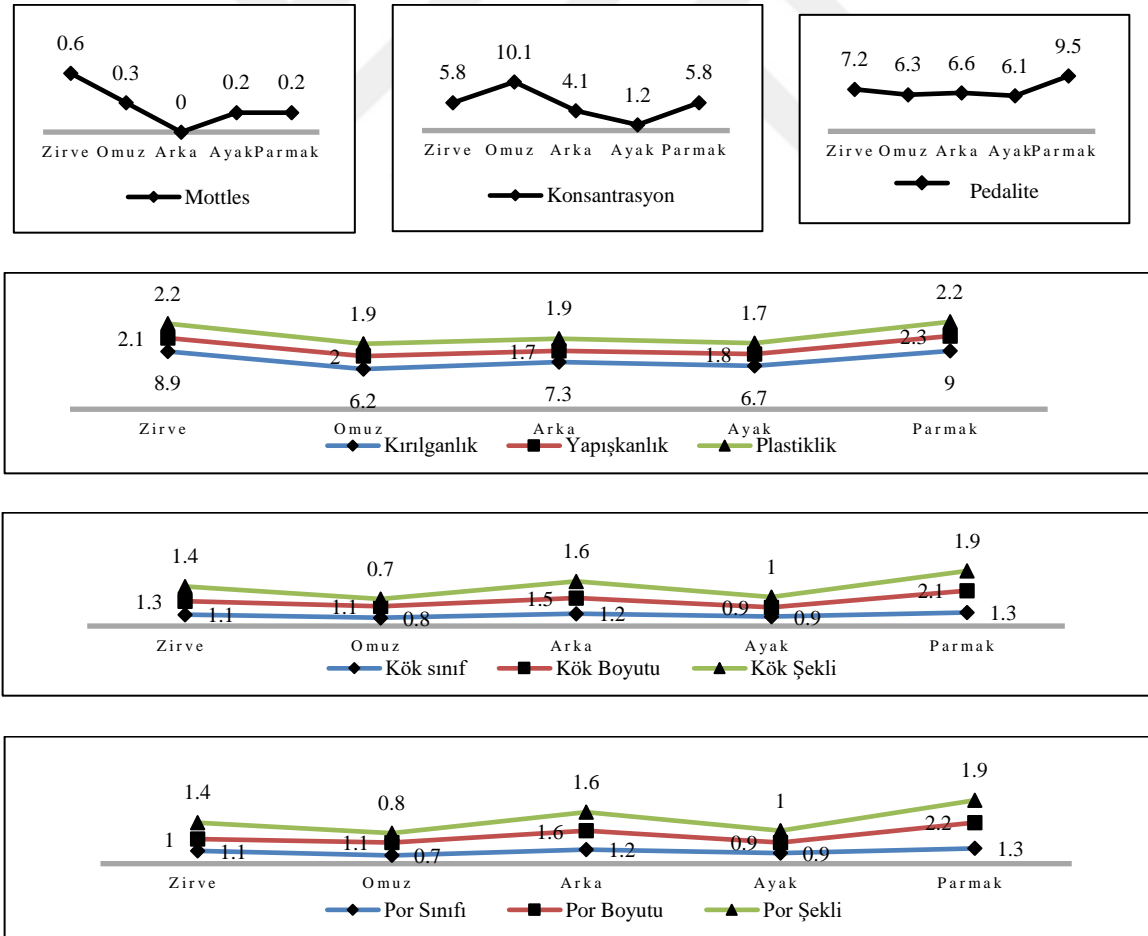
Çalışma alanında eğim pozisyonlarına göre K_s ve İH değişkenlikleri arasında bir ilişki tespit edilememiştir. Örneğin, İH parmak eğimde en fazla değişkenlik gösterirken K_s ayak eğimde göstermiştir. Dikkati çeken bir husus ise İH'nın omuz eğimden arka eğime geçişte değişkenliğinin azalması, K_s 'in ise tam tersi bir trend sergilemesidir.

Çizelge 4.12 Toprak morfolojik özelliklerinin eğim pozisyonuna göre tanımsal istatistik analiz sonuçları (N:81)

Toprak Özellikleri		Mottles	Konsantrasyon	Pedalite	Kırılganlık	Yapışkanlık	Plastiklik	Kök sınıf	Kök Boyutu	Kök Şekli	Por Sınıfı	Por Boyutu	Por Şekli
Pozisyon													
En Küçük	Zirve (N:14)	0,00	0,00	1,00	4,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Omuz (N:12)	0,00	0,00	1,00	3,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Arka (N:14)	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ayak (N:22)	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Parmak (N:19)	0,00	0,00	1,00	2,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
En Büyük	Zirve (N:14)	3,00	20,00	15,00	12,00	4,00	4,00	2,00	2,00	4,00	2,00	2,00	4,00
	Omuz (N:12)	2,00	19,00	22,00	19,00	3,00	3,00	1,00	2,00	1,00	1,00	2,00	1,00
	Arka (N:14)	0,00	16,00	17,00	15,00	3,00	3,00	2,00	4,00	3,00	2,00	4,00	3,00
	Ayak (N:22)	2,00	11,00	19,00	18,00	3,00	3,00	2,00	3,00	4,00	2,00	3,00	4,00
	Parmak (N:19)	2,00	16,00	21,00	17,00	3,00	3,00	3,00	5,00	4,00	3,00	5,00	4,00
Ortalama	Zirve (N:14)	0,60	5,80	7,20	8,90	2,10	2,20	1,10	1,30	1,40	1,10	1,00	1,40
	Omuz (N:12)	0,30	10,10	6,30	6,20	2,00	1,90	0,80	1,10	0,70	0,70	1,10	0,80
	Arka (N:14)	0,00	4,10	6,60	7,30	1,70	1,90	1,20	1,50	1,60	1,20	1,60	1,60
	Ayak (N:22)	0,20	1,20	6,10	6,70	1,80	1,70	0,90	0,90	1,00	0,90	0,90	1,00
	Parmak (N:19)	0,20	5,80	9,50	9,00	2,30	2,20	1,30	2,10	1,90	1,30	2,20	1,90
Standart Sapma	Zirve (N:14)	1,00	6,90	3,90	3,40	0,90	0,82	0,40	0,50	0,85	0,40	0,30	0,90
	Omuz (N:12)	0,80	5,80	6,80	4,70	0,80	0,90	0,50	0,80	0,50	0,50	0,80	0,50
	Arka (N:14)	0,00	5,60	5,60	4,40	0,60	0,66	0,60	1,01	1,08	0,60	1,00	1,10
	Ayak (N:22)	0,60	3,50	5,20	5,03	0,80	0,75	0,70	0,80	0,95	0,70	0,75	1,00
	Parmak (N:19)	0,60	5,60	5,10	4,90	0,70	0,56	0,70	1,20	1,24	0,60	1,21	1,20
Varyasyon Katsayısı	Zirve (N:14)	167,0	118,9	55,20	38,40	40,90	37,20	32,70	37,60	60,70	32,70	26,00	60,70
	Omuz (N:12)	256,0	57,80	108,2	75,00	27,50	47,30	56,20	74,00	71,40	64,20	72,70	62,50
	Arka (N:14)	0,00	136,50	84,80	60,40	35,90	34,70	47,50	67,30	67,50	47,50	62,50	68,70
	Ayak (N:22)	322,0	291,0	85,20	75,00	47,20	44,10	75,50	83,30	95,00	75,50	83,30	100,0
	Parmak (N:19)	300,0	96,50	54,40	54,90	29,00	25,40	54,10	56,20	68,90	51,50	56,20	68,80

Eğim pozisyonuna göre, toprak morfolojik özellikleri oldukça değişkenlik göstermiştir (Çizelge 4.12). Çalışma alanında en yüksek değişkenlik gösteren toprak morfolojik özelliği ayak eğim pozisyonunda mottlelerdir (VK= 322). Yapışkanlık ve plastikliğin incelenen özellikler arasında en az değişkenlik gösteren toprak morfolojik özelliği olduğunu görmekteyiz. İncelenen toprak morfolojik özelliklerinin büyük bir çoğunluğu ayak eğim pozisyonunda daha yüksek değişkenlik göstermiştir.

Beneklere (mottles) bakıldığında pozisyonlar arasında büyüklük ortalaması olarak pek fazla fark olmasa da, miktar ortalamaları arasında fark vardır. Zirvede beneklerin 'az -kaba' olarak sınıflandığı, arka eğimde ise hiç beneklerin olmadığı görülmektedir. Beneklerin dağılımı düzensiz olmakla birlikte, pH'nın ortalamaya göre değişim grafiği ile paralellik gösterdiği dikkati çekmektedir (Şekil 4.19). Toprak morfolojik özelliklerinin pozisyonlara göre değişimi Şekil 4.22'de verilmiştir.



Şekil 4.22 Toprak morfolojik özelliklerinin eğim pozisyonlarına göre değişimi.

Benekler en yüksek değişkenliği ayak eğimde göstermiş olup, bunun nedeninin bu pozisyonda suyun hareketi ve bu pozisyonda cereyan eden pedolojik s¼reçlerin farklılığından kaynaklandığı d¼ř¼n¼lmektedir. Çizelge 4.12'e g¼re, konsantrasyonlar omuz eğimde 'yaygın -ince -dendritik' olarak, ayak eğimde ise 'az, -ince, -silindirik' olarak sınıflandırılmıştır. Bu farklılığın eğim pozisyonlarındaki pedojenik s¼reçlerden kaynaklandığı d¼ř¼n¼lmektedir. Nitekim (Evans and Franzmeier, 1986; G¼nal, 2006)'ın ardışık iki topografyada yaptığı bir çalışmada, eğimin bittiği b¼lgelerde konsantrasyonlar az -ince olarak sınıflandırılmış olup, çıkan sonuç bizim çalışmamız ile benzerlik göstermektedir Yapılan diğer çalışmalarda bizim çalışmamız ile uyumludur (Evans and Franzmeier, 1986).

Pedalite neme bağlı olarak eğim pozisyonları arasında değişmekte, örneğin, nemin az olduğu omuz eğimde 'k¼řeli -orta -ince' sınıfında iken, nemin fazla olduğu parmak eğimde 'yarı-k¼řeli -orta -kaba' sınıfına girmektedir. Aynı zamanda pedalite organik madde ve kilin değişim grafiği ile paralellik göstermektedir (şekil 4.19-20). Nitekim yapılan bir çalışmada, pedalitenin hidropedolojik çalışmalarda büyük bir role sahip olduğu ve blok str¼kt¼r¼n y¼zeysel akışa neden olduğu belirtilmiştir (Lin et al., 2008). Arka eğimde artan organik madde ile birlikte nem, kırılğanlık-yapışkanlık ve plastiklik de artma göstermiştir.

Çalışma alanında eğim pozisyonları arasında toprak fiziksel, kimyasal ve morfolojik özelliklerinin ortalamaları arasında önemli bir fark olmasından dolayı farklı alt gruplara ayrılmıştır (Duncan testi) Buna g¼re eğim pozisyonları arasında konsantrasyonlar, k¼k sınıfı, k¼k şekli,k¼k boyutu, por sınıfı, por boyutu, por şekli, Db, pH, kum, kil, silt miktarı, TK, Ks, ve İH arasında önemli bir fark vardır (Çizelge 4.13). Tepe-eğimin her bir pozisyonundaki nem farklılıkları, eğim dikliği, eğim şekli ve eğim açısı, su hareketini kontrol ederek toprak değişkenliği üzerinde büyük bir etkiye neden olmaktadır. Örneğin eğim pozisyonları arasında TOM miktarındaki fark istatistiki olarak önemli olmasa bile, bu fark İH üzerinde güçlü bir kontrole sahip olan pedalite ve kil minerolojisini etkileyebilir. Yapılan bir çalışmada araştırmacılar tarafından mikro-pedalitenin hidrolojik s¼reçler üzerinde hem direk hem de dolaylı etkisinin önemli olduğu, ve eğim pozisyonları -pedalite arasında yakın bir ilişki olduğu rapor edilmiştir (Lin et al., 2006b). Literat¼rde bizim çalışmamızdan elde edilen sonuçlara benzer çalışmalar mevcuttur ((Lin et al., 2006b; van Tol et al., 2013a).

Duncan sınıflamasına göre eğim pozisyonları arasında nem farklılığı istatistiki olarak önemli olmasa da, bu farklılığının konsantrasyonların oluşumunda oldukça etkili olduğu düşünülmektedir. Oysa ki eğim pozisyonları nem içeriği, toprak oluşum derinliği ve taşınma/birikme süreçleri üzerinde oldukça etkilidir (Rhanor, 2013). Konsantrasyonların varlığı pedogenesis boyunca maddelerin toprakta biriktiğinin bir göstergesidir (Schoeneberger, 2012).

Çalışma alanının çoğunlukla jipsli anamateryalden oluşması nedeniyle pozisyonlarda açılan profillerde jips ve CaCO_3 birikimi gözlenmiştir. Tıpkı bakı faktöründe olduğu gibi, pozisyonlar arasındaki farklılığın da fiziksel ayrışma, ana materyal ve pedogenesisin bir sonucu olduğu söylenebilir. Nitekim yapılan diğer çalışmalar da bizim çalışmamızda yorumladığımız sonuçları destekler niteliktedir (Brooks et al., 2004; van Tol, 2011). Eğim pozisyonları arasında kök ve porlardaki önemli farklılığın kısmen de olsa bitki örtüsündeki değişiklikten ve bazı pozisyonların işlenmiş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapılan çalışmalar gözenek ve kök sisteminin toprak işleme ve eğim pozisyonu ile yüksek değişkenlik gösterdiğini kanıtlamıştır (Kanwar, 1991; Roseberg and McCoy, 1991). Çatlak ve yarıklar arasındaki kökler makrogözeneklerin mevcut toprak yüzeyi ile bağlantılı olduğu, buna karşılık B_w ve C horizonlarında köklerin az olması muhtemelen üst horizontdaki kök sisteminden izole edildiği anlamını taşır (Kemp et al., 1998).

Eğim pozisyonları arasındaki değişimlere bakıldığında; arka eğim pozisyonunda bazı toprak fiziksel, kimyasal ve morfolojik özelliklerinde ani artma veya azalma dikkat çekmektedir. Örneğin arka eğim pozisyonunda organik madde, KDK ve kil miktarı omuz eğime göre aniden artmakta buna bağlı olarak da K_s ortalaması artmaktadır. Bunun nedeni, zirveden gelen yüzeyaltı akışların arka eğimde sızıntı şeklinde toprak yüzeyine geri dönmesinden veya hacim ağırlığındaki azalmadan da kaynaklanmış olabilir. Nitekim benzer bir çalışmada, tepe-eğim modelinde zirvede infiltrasyon süreçlerinin baskın olduğu, zirve ve omuz eğimden taşınan yüzeyaltı akışların arka eğimde yeniden ortaya çıktığı ve burada kısa süreli bir yeraltı akışın meydana geldiği bildirmiş olup, araştırmacılar bu tip süreçlerin oluşumunda A ve B horizonlarının arayüzünde yatay bir akışın meydana gelebileceğini de rapor etmişlerdir (Hall and Olson, 1991; van Tol et al., 2013a). Diğer taraftan, tepe-eğim modelinde yüzey altı akışların oluşması ve K_s 'in eğim pozisyonları arasında farklılaşmasında, toprak horizonları, horizonların oryantasyonu ve dağılımı da oldukça önemli bir faktördür. Bu hususa ileride daha ayrıntılı girileceğinden bu bölümde sadece değinilmiştir.

Çizelge 4.13 Toprak parametrik ve morfolojik özellikleri için eğim pozisyonuna göre oluşturulmuş alt gruplar (Duncan sınıflaması) (α : 0.05)

Toprak Özellikleri	Zirve	Sig.	Omuz Eğim	Sig.	Arka Eğim	Sig	Ayak Eğim	Sig	Parmak Eğim	Sig
Mottles (Benek)	0,60b	0,14	0,30ab	0,07	0,00a	0,01	0,20ab	0,07	0,20ab	0,07
Konsantrasyonlar	5,80a	0,17	10,1b	0,26	4,10a	0,17	1,20a	0,17	5,80a	0,17
Pedalite	7,20a	0,40	6,30a	0,40	6,60a	0,40	6,10a	0,40	9,50a	0,40
Kırılgenlik	8,90a	0,47	6,20a	0,47	7,30a	0,47	6,70a	0,47	9,00a	0,47
Yapışkanlık	2,10a	0,21	2,00a	0,21	1,70a	0,21	1,80a	0,21	2,30a	0,21
Plastiklik	2,20a	0,30	1,90a	0,30	1,90a	0,30	1,70a	0,30	2,20a	0,30
Kök sınıfı	1,10ab	0,09	0,80a	0,06	1,20b	0,11	0,90ab	0,09	1,30b	0,11
Kök boyutu	1,30a	0,37	1,10a	0,37	1,50a	0,37	0,90a	0,37	2,10b	0,11
Kök şekli	1,40abc	0,07	0,70a	0,04	1,60bc	0,07	1,00ab	0,04	1,90c	0,09
Por sınıfı	1,10ab	0,08	0,70a	0,06	1,20b	0,11	0,90ab	0,08	1,30b	0,11
Por boyutu	1,00a	0,24	1,10a	0,24	1,60ab	0,11	0,90a	0,24	2,20b	0,35
Por şekli	1,40abc	0,06	0,80a	0,03	1,60bc	0,06	1,00ab	0,03	1,90c	0,08
TOM (%)	1,68a	0,86	1,59a	0,86	1,89a	0,86	1,65a	0,86	1,71a	0,86
Db (g/cm ³)	1,28ab	0,15	1,30b	0,16	1,19a	0,16	1,29b	0,16	1,28ab	0,15
≠ ÖASİ	13,8a	0,28	13,9a	0,28	15,8a	0,28	13,1a	0,28	17,9a	0,28
CaCO₃ (%)	21,2a	0,45	23,5a	0,45	20,1a	0,45	22,2a	0,45	24,8a	0,45
EC (μS/cm)	498,4a	0,31	643,6a	0,31	928,5a	0,31	737,6a	0,31	632,0a	0,31
pH	8,37c	0,12	8,21ab	0,10	8,18a	0,10	8,27abc	0,11	8,33bc	0,12
Kum (%)	29,0ab	0,28	36,4b	0,34	34,2b	0,34	34,3b	0,34	23,4a	0,06
Kil (%)	36,7ab	0,11	34,5a	0,06	46,9ab	0,11	40,1ab	0,11	49,5b	0,17
Silt (%)	34,2b	0,50	29,0ab	0,30	18,8a	0,20	25,9ab	0,30	27,1ab	0,30
AS (%)	2,30a	0,56	1,59a	0,56	1,31a	0,56	2,19a	0,56	2,32a	0,56
TK (%)	35,5b	0,06	33,2ab	0,05	34,9b	0,06	31,9ab	0,05	30,1a	0,01
SN (%)	22,6a	0,45	20,5a	0,45	23,0a	0,45	21,2a	0,45	20,5a	0,45
BYSİ (%)	11,9a	0,51	12,7a	0,51	11,9a	0,51	10,7a	0,51	9,69a	0,51
Ks (cm/s)	2,81bc	0,15	2,48abc	0,11	3,52c	0,15	1,80ab	0,10	1,10a	0,06
KDK(meq/100gr)	21,7a	0,19	20,4a	0,19	27,2a	0,19	23,3a	0,19	28,1a	0,19
İH (cm/sa ⁻¹)	3,93b	0,78	3,24ab	0,58	3,67b	0,78	4,00b	0,78	1,82a	0,20

TOM: Toprak Organik Maddesi, Db: Hacim Ağırlığı, ≠: Örnekleme Anındaki Su İçeriği AS: Agregat Stabilitesi, TK: Tarla Kapasitesi, SN: Solma Noktası, BYSİ: Bitkiye Yararışlı Su İçeriği, Ks: Doymuş Hidrolik İletkenlik, KDK: Katyon Değişim Kapasitesi, İH: İnfiltrasyon Hızı, Aynı satırda aynı harf ile etiketlenmiş ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde fark yoktur.

Duncan sınıflamasına göre bizim çalışmamızda eğim pozisyonları arasında TOM'da önemli bir fark bulunmamasına rağmen, Sig kolonuna bakıldığında en önemli alt grubu oluşturmaktadır (Sig. =0,86) (Çizelge 4.13). Yapılan benzer bir çalışmada Guzman and Al-Kaisi (2011), ayak ve parmak eğimde zirveye göre daha fazla organik madde bulmuş olup, bir diğer çalışmada (Baskan et al., 2016). Bunun tersine, zirvede parmak eğime göre daha fazla organik madde bulunmuştur. Çalışma alanında eğim pozisyonları arasında tekstür farklılıkları vardır-ki bu beklenen bir durumdur. Farklı topografik pozisyonlarda toprak tekstürünün değişiminin araştırılması amacıyla yapılan bir çalışmada, araştırmacılar eğim derecesi arttıkça yıkanma ve taşınma olayları sebebiyle kil miktarında bir artış olduğunu bildirmişlerdir (Birhan, 2001).

Bizim çalışmamızda eğim pozisyonlarında AS ortalamaları arasında fark olmasına rağmen, Duncan sınıflamasına göre bu fark istatistiksel olarak önemli değildir (Çizelge 4.13). Bizim elde ettiğimiz sonucun tersine, tepe-eğim ölçeğinde yapılan bir çalışmada AS'nin parmak ve ayak eğimde zirveye göre daha fazla ortalamaya sahip olduğu bulunmuştur (Pierson et al., 2001). Çalışma alanında eğim pozisyonları arasında Duncan sınıflamasına göre toprak fiziksel ve morfolojik özellikleri arasında daha fazla alt grup vardır. Diğer bir deyişle toprak fiziksel ve morfolojik özellikleri toprak kimyasal özelliklerine göre eğim pozisyonlarından daha fazla etkilenmiştir.

Çalışma alanı depresyon bölgelerinde taban sularının yüksek olduğu ve bu bölgedeki toprakların elektriksel iletkenliğinde bir artma olduğu görülmüştür. Bu durumun ortaya çıkmasında en önemli etmenin su hareketi olduğu düşünülmektedir. Konkav ve konveks eğimli alanlarda oluşmuş toprakların önemli ölçüde farklılık göstermesi toprak su hareketinin bir sonucu olarak kabul edilmektedir (Nizeyimana and Bicki, 1992). Çalışma alanında parmak ve ayak eğimde solum daha derin olduğu için bu pozisyonlarda pedolojik gelişmenin daha fazla olduğu söylenebilir. Pedolojik gelişmenin fazla olmasında taşınma/birikme süreçleri ve alt katmanlarda kilin birikmesi önemli faktörlerdir (Birkeland, 1984). Bunun tersine zirve ve omuz eğim pozisyonları yüksek eğime sahip olduklarından buralarda daha az miktarda suyun toprağa girişi nedeniyle toprak oluşumu ve toprak derinliği sınırlı kalmıştır. Aynı zamanda omuz ve arka eğim pozisyonunda arazi gözlemleri esnasında taş ve çakılların varlığı bu pozisyonun kolüvyal ana materyalden oluşmuş olabileceğini düşündürmektedir.

4.1.6 Horizon -Toprak Parametrik ve Morfolojik Özellikleri İlişkisi

Toprak özelliklerinin dikey yönde değişkenliği belirlenirken toprak horizonları dikkate alınır. Horizonlar toprak oluşum faktörlerinin baskın etkisine göre değişiklik gösterirler (Birkeland, 1984). Çalışma alanı toprakları çevredeki eğimli arazilerden sularla taşınan sedimentler uzun süredir depolandığı ve daha sonra suların çekildiği eski bir göl üzerinde oluşmuştur (Sarp, 2010). Çalışma alanı toprakları genel olarak jipsli ana materyaller üzerinde oluşmuş, yarı-kurak bir iklime sahip olduğundan kalsik ve gypsik horizonların varlığı sık sık gözlenmektedir. Jipsli topraklar, düşük organik madde miktarı sebebiyle çok kırılğan, zayıf bir strüktür ve seyrek bitki örtüsüne sahiptir (Florea and Al-Joumaa, 1998). Özellikle eğimli jipsli alanlar erozyondan fazlaca etkilenmektedir. Çalışma alanı tipik eğimli ve jipsli alanlara iyi bir örnek teşkil etmektedir.

Yarı-kurak iklimlerde evaporasyonla suda çözünebilir tuzların bir kısmı kapillar yükselme ile toprak yüzeyine çıkıp orada birikirken, kil ve kireç yıkandığı derinlikte birikir (Budak, 2012; Khadkikar et al., 2000). Çalışma alanında yağış yetersizliği nedeniyle karbonatların profilin alt kısımlarında biriktiği belirlenmiştir (Çizelge 4.14). B_w horizonu için tanımlayıcı istatistiklere bakıldığında, kil ve kireç miktarının bu horizonta artması, kalsik horizonun varlığına işaret etmektedir. Jipsin taşınıp toprak profiline alt kısımlarında birikip sertleşerek petrojipsik horizonu oluşturması birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Amit et al., 2010; Gunal, 2001; Machin and Navas, 1998). Çalışma alanında açılan 8, 12, 26, 29 ve 30 numaralı profillerde petrojipsik horizon tanımlanmıştır (Şekil 4.23). Diğer profillerden farklı olarak 2A nolu profilde kambik horizon tanımlanmıştır. B_w horizonunun altında kum miktarının artması ve EC'nin düşük olması burada sert ve geçirimsiz bir katmanın varlığına işaret etmektedir. Ancak arazi gözlemleri esnasında bu horizonta kumun fazla olduğu görülmemiştir. Burada bulunan sertleşmiş kalsiyum karbonat nodüllerinin kum gibi algılanması tesktürün farklı gözükmesine neden olmuş olabilir. Nitekim yapılan bir çalışmada (Budak, 2012), alt horizonlarda kum miktarının arttığı fakat tekstür analizinde karbonat nodüllerinin kum gibi algılandığı bildirilmiştir. Yapılan çalışmalarda petrokalsik horizonun bitki kökleri ve suyun dikey hareketini engellediği aynı zamanda suyun kapillar yükselmesinde olumsuz etki yarattığı bildirilmiştir (Shankar and Achyuthan, 2007). B_w horizonunun altındaki katmanda K_s 'de bir azalma söz konusudur (Çizelge 4.14). Bu sert ve geçirimsiz horizon yüzeyden gelen suların derine sızmasını engelleyerek suyun yatay yönde hareket etmesine neden olabilir.

Çizelge 4.14 Toprak parametrik özelliklerinin horizonlara göre tanımsal istatistik analiz sonuçları

Toprak Özellikleri		TOM %	Db g/cm ³	≠Ösi %	CaCO ₃ %	EC µS/cm	pH	Kum %	Kil %	Silt %	AS %	TK %	SN %	BYSİ %	Ks cm/s	KDK meq/100gr	İH cm/s ⁻¹	Sorp. cm/s ⁻¹	
Horizon																			
En Küçük	A (N:174)	0,33	1,05	1,48	5,24	10,00	7,86	15,30	0,80	5,00	0,13	11,70	8,80	0,70	0,05	2,80	0,10	0,01	
	B _w (N:139)	0,06	1,00	2,17	7,65	10,00	7,45	7,20	0,90	0,90	0,00	20,50	7,60	0,30	0,00	2,60			
	C (N:174)	0,03	1,00	1,39	3,64	10,00	7,93	11,60	0,90	1,20	0,00	18,00	5,10	1,30	0,10	1,10			
En Büyük	A (N:174)	3,67	1,51	27,10	39,26	2160	8,70	58,20	68,40	73,42	7,50	53,20	31,60	35,00	14,10	39,40	11,10	0,30	
	B _w (N:139)	3,00	1,60	34,10	47,30	2130,0	8,70	52,30	74,30	73,40	11,00	51,40	33,10	24,10	12,90	41,60			
	C (N:174)	2,90	1,60	33,70	68,00	2180,0	8,80	67,00	68,30	73,41	10,50	52,90	31,70	30,80	13,60	37,70			
Ortalama	A (N:174)	2,35	1,28	10,00	21,90	792,8	8,20	26,90	44,00	28,00	1,90	33,60	21,90	11,70	2,50	27,20	3,30	0,10	
	B _w (N:139)	1,40	1,30	16,70	22,60	647,6	8,20	28,20	44,60	27,20	2,30	32,80	22,70	9,60	1,60	25,10			
	C (N:174)	1,30	1,30	17,80	23,10	622,1	8,30	37,70	36,90	25,70	1,80	32,20	20,10	12,10	2,40	21,00			
Standart Sapma	A (N:174)	0,80	0,10	6,40	7,70	724,4	0,20	7,20	18,20	15,30	1,70	7,00	4,70	6,40	2,70	9,60	2,80	0,10	
	B _w (N:139)	0,70	0,20	6,10	8,40	632,9	0,20	11,30	20,00	15,20	2,20	6,00	4,50	5,80	2,10	10,10			
	C (N:174)	0,60	0,10	7,40	10,00	578,2	0,20	13,70	18,30	15,90	2,20	6,70	5,30	6,30	2,50	9,40			
Çarpıklık	A (N:174)	-0,70	-0,20	0,80	0,30	0,80	0,40	1,00	-1,10	1,30	1,10	-0,10	-0,60	0,90	2,50	-1,10	0,80	0,30	
	B _w (N:139)	0,20	0,00	0,20	0,70	1,20	-0,3	0,60	-0,50	1,40	1,60	0,20	-1,00	0,40	3,30	-0,40			
	C (N:174)	0,10	0,40	-0,40	1,40	1,30	0,40	0,10	-0,10	0,70	1,80	0,50	-0,30	0,50	2,00	-0,10			
Basıklık	A (N:174)	-0,20	-1,10	-0,20	-0,80	-0,80	-0,7	1,30	0,10	1,10	0,10	0,60	0,60	1,00	6,80	-0,10	-0,40	-0,60	
	B _w (N:139)	-0,60	-1,20	0,50	-0,10	0,50	0,80	-0,30	-1,00	1,60	2,70	-0,30	2,70	-0,80	12,70	-1,00			
	C (N:174)	-0,60	-1,00	-0,20	3,20	1,00	-0,7	-0,80	-1,00	0,10	2,60	0,20	-0,40	-0,20	4,80	-0,90			
Varyasyon Katsayısı	A (N:174)	32,00	9,10	59,70	35,30	91,40	2,20	26,90	40,40	54,40	90,60	20,90	21,30	54,80	103,30	35,50	83,90	56,50	
	B _w (N:139)	51,50	12,30	36,50	37,30	97,70	2,70	39,90	44,80	56,10	93,90	18,20	19,80	60,50	133,80	40,30			
	C (N:174)	50,20	11,50	41,60	43,50	92,90	2,50	36,40	49,70	62,10	121,2	20,90	26,40	52,50	101,80	44,90			

TOM: Toprak Organik Maddesi, D_b: Hacim Ağırlığı, ≠ Örnekleme Anındaki Su İçeriği, AS: Agregat Stabilitesi, TK: Tarla Kapasitesi, SN: Solma Noktası, BYSİ: Bitkiye Yararlı Su İçeriği, K_s: Doymuş Hidrolik İletkenlik, KDK: Katyon Değişim Kapasitesi, İH: İnfiltrasyon Hızı, Sorp: Sorptivite.



Şekil 4.23 Çalışma alanında açılan 12 numaralı profilde tanımlanan petrojipsik horizon

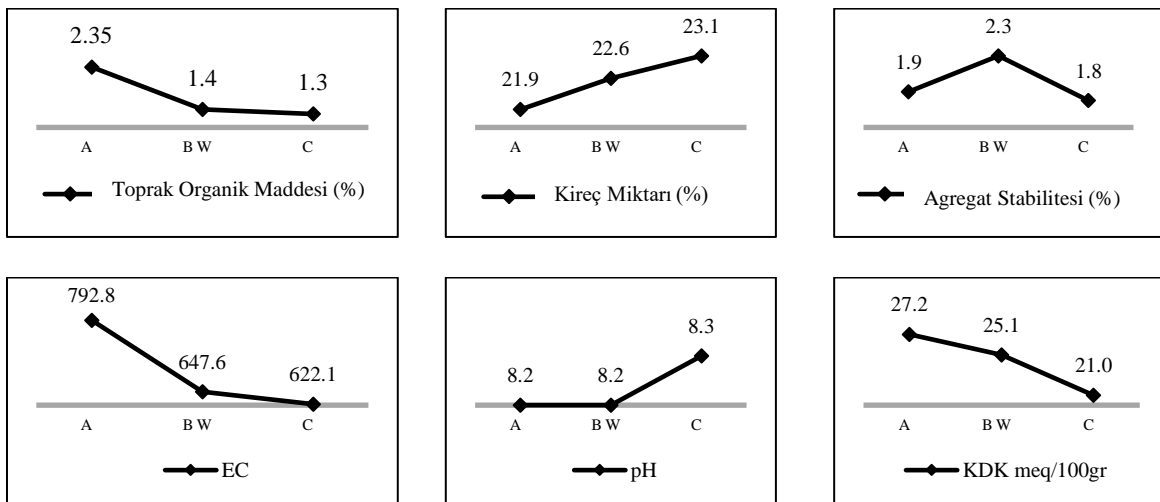
Petrojipsik horizon nedeniyle suyun yatay yönde hareket etmesini yapılan diğer çalışmalar da destekler niteliktedir (Duniway et al., 2007; Fanning and Fanning, 1989). Depresyon alanlarında horizonlarda açık renkli birikimler görülmüştür (Şekil 4.23). Depresyon bölgelerinde açılan bazı profillerde petrojipsik horizonun, kepçe yardımı ile kırılmasından sonra, su birikiminin başladığı görülmüştür



Şekil 4.24 Çalışma alanı depresyon bölgelerindeki horizonlarda görülen nodüller (16-17-25 nolu profiller)

Jipsik/petrojipsik ve kalsik/petrokalsik horizonlar arasında benzerlikler vardır. Kalsiyum sülfat ve kalsiyum karbonat çökme süreçleri açısından birbirinden ayrılırlar. Jipsli ve kalkerli

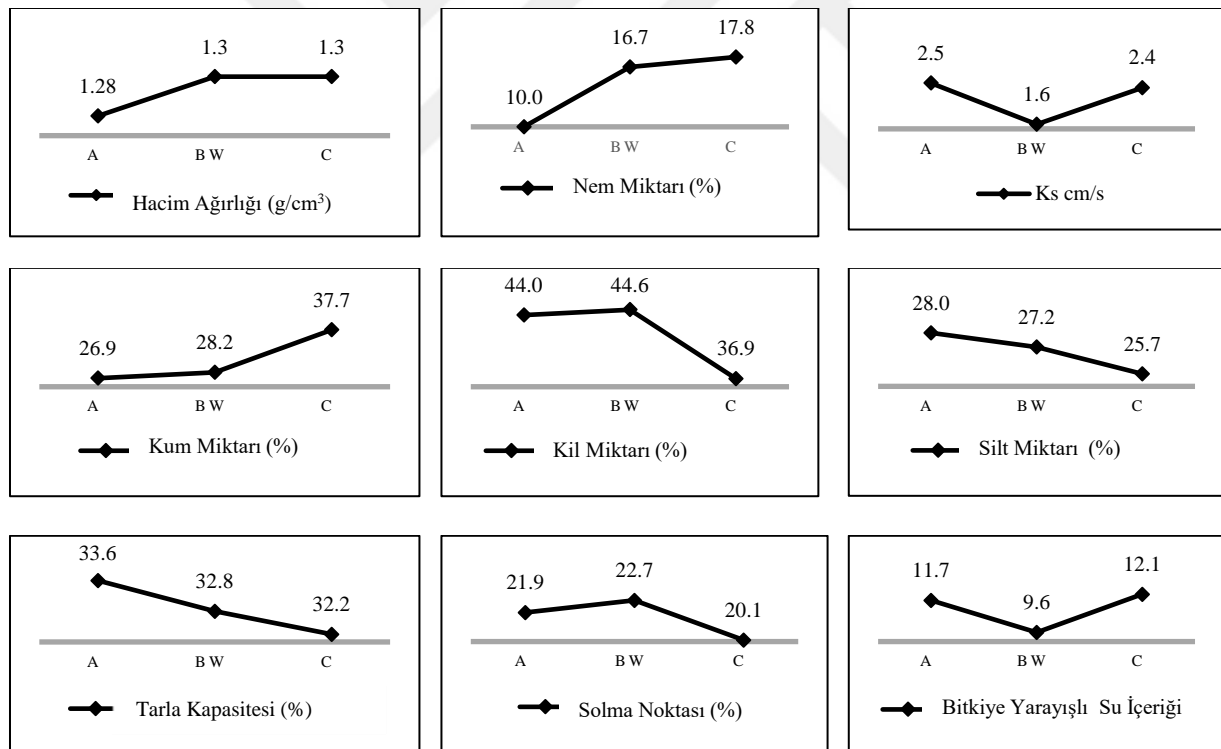
horizonların arasındaki fark, jips kristallerinin çevresindeki materyalleri itme etkisinin olmasıdır (Macfadyen, 1950). Ancak jipsli ve kalkerli toprakların ayırt edilebilmesi için detaylı analizlerin yapılması gerekmektedir (Artieda and Herrero, 2003; Herrero et al., 2009). Jipsli topraklardaki depolama süreçleri organik madde ve kilin bir fonksiyonudur. Jipsli topraklar sahip oldukları yük nedeniyle genelde kation değişim kapasitesi ile ters orantılıdır. Nitekim bizim çalışmamızda A horizonundan jipsli ana materyale doğru inildikçe KDK'nın azaldığı görülmektedir (Çizelge 4.14). Yapılan bir çalışmada jipsli toprakların KDK değerlerinin genellikle 12-22 meq/100 gr olduğu, kimi yerlerde bölgesel olarak 6-9 meq/100 gr'a kadar düşebildiği rapor edilmiştir (Boyadgiev and Verheye, 1996). Jips genelde pedalite ve havalandırma üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olmasına rağmen, jipsik katmanda agregat stabilitesi ortalamasında bir artma görülmektedir (Çizelge 4.14). Killi topraklarda horizon boyunca homojen dağılmış jipsin bir miktarının agregat stabilitesi ve su tutma kapasitesi üzerine olumlu etkisi olabileceği belirtilmiştir (Boyadgiev and Verheye, 1996). Düşük yağış miktarlarında (200-400 mm) toprak yüzeyinin daha derinlerinde petrojipsik horizon oluşabilmektedir. Bu horizonlar düşük yağış miktarına rağmen oluk (gully) erozyonunu teşvik ederler (Owliaie et al., 2006). Nitekim arazi gözlemleri esnasında çalışma alanının bir bölümünde bu sürecin izlerine rastlanılmıştır. Organik madde miktarı, A horizonunda orta iken derinlere doğru azalmaktadır. Organik maddenin derinlere doğru azalması ve kireç miktarının artması renkte de değişmelere neden olmuştur. Üst horizonlarda görülen düşük value ve kroma rengin açılması nedeniyle derinlerde artmaktadır. pH' ortalamasının horizonlar arasında fazla değişmediği ve TOM, EC ve KD'nın değişimi horizonlara arasında benzer bir trend göstermiştir (Şekil 4.25).



Şekil 4.25 Bazı toprak özelliklerin horizonlara göre değişimi.

Çalışma alanında tuzluluk problemi yoktur. Bizim çalışmamızda elde edilen sonuçlar yapılan diğer çalışmaların sonuçları ile uyumludur (Harden et al., 1991; Jafarzadeh and Burnham, 1992). Yapılan bir çalışmada düşük jips ve fazla karbonat içeren toprakların, yaklaşık 8.2 pH'da karbonatlarla tamponlandığı belirlenmiştir (Harden et al., 1991).

Toprak fiziksel özelliklerinin ortalamaya bağlı değişimleri Şekil 4.26'de verilmiştir. Organik maddenin derinlere doğru azalması hacim ağırlığında az da olsa bir artışa neden olmuştur. Profilde toprak tekstürü yüzeyden geçirimsiz katmana kadar ağırlıklı olarak kil iken, bu katmandan sonra kil oranı azalmış ve kum oranı artmıştır (Şekil 4.26). Bu sebeple kil birikiminin bir göstergesi olan argillik horizonun oluşmadığı ifade edilebilir. Çalışma alanının eğimli bir arazide olması ve yeterli bitki örtüsüne sahip olmaması nedeniyle toprak erozyonuna maruz kalması toprak derinliğinin yetersiz olmasını sonuçlamıştır.



Şekil 4.26 Toprak fiziksel özelliklerin horizonlara göre değişimi

Çizelge 4.15 Toprak morfolojik özelliklerinin horizonlara göre tanımsal istatistik analiz sonuçları (N: 81)

Toprak Özellikleri		Sınır	Mottles	Konsantrasyon	Pedalite	Kırılgenlik	Yapışkanlık	Plastiklik	Kök sınıfı	Kök boyutu	Kök şekli	Por sınıfı	Por boyutu	Por şekli
En Küçük	A(N:29)	1,00	0,00	0,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	B _w (N:23)	1,00	0,00	0,00	1,00	2,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	C(N:29)	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
En Büyük	A(N:29)	12,00	2,00	13,00	21,00	18,00	4,00	4,00	3,00	5,00	4,00	3,00	5,00	4,00
	B _w (N:23)	12,00	2,00	18,00	17,00	17,00	3,00	3,00	2,00	4,00	4,00	2,00	4,00	4,00
	C(N:29)	3,00	3,00	20,00	22,00	19,00	3,00	3,00	2,00	3,00	4,00	2,00	3,00	4,00
Ortalama	A(N:29)	7,10	0,30	2,30	7,50	8,90	2,10	2,10	1,10	1,50	1,40	1,10	1,50	1,40
	B _w (N:23)	5,80	0,10	7,90	6,80	7,90	2,10	2,00	1,20	1,60	1,60	1,20	1,60	1,60
	C(N:29)	0,10	0,30	5,80	7,40	6,20	1,80	1,90	0,90	1,10	0,90	0,60	0,90	1,00
Standart Sapma	A(N:29)	4,09	0,70	3,12	5,58	4,78	0,85	0,83	0,46	0,94	0,90	0,46	0,94	0,90
	B _w (N:23)	4,04	0,45	6,26	4,41	4,22	0,66	0,70	0,71	1,16	1,26	0,71	1,16	1,27
	C(N:29)	0,55	0,80	6,62	6,02	4,58	0,80	0,69	0,58	0,88	0,96	0,58	0,85	0,96
Varyasyon Katsayısı	A(N:29)	57,30	259,0	137,0	74,50	53,90	40,40	38,90	39,30	62,20	63,80	39,30	63,50	63,80
	B _w (N:23)	69,40	346,0	79,60	65,00	53,30	31,70	34,30	60,60	74,30	78,70	60,60	74,30	78,70
	C(N:29)	-	258,0	114,0	81,60	73,30	43,90	37,00	67,40	75,20	90,50	67,40	77,20	90,50

Toprak yüzeyinde ocrich epipedon dışında herhangi bir tanı horizonuna rastlanmamıştır. Bazı bölgeler de ise ped yüzeylerinde kirli beyaz renkte toz benzeri kaplamaların varlığı dikkat çekmektedir. B_w horizonunda görülen bu birikimlerinin yüzeyaltı akışlarla gelen ve yüksek miktarlarda sülfat içeren jips birikimleri olduğu düşünülmektedir. Bu tür oluşumların genellikle birincil yani jeolojik jips olduğu, ikincil jipsin ise kum etrafında biriktiği ifade edilmiştir (Boyadgiev and Verheye, 1996). Jipsik horizonun oluşabilmesi için en az 15 cm derinlik ve 15-25% jips olması gerekir, petrojipsik horizon ise, jipsik horizonun çimento ile sertleşmiş halidir ve horizon derinliği en az 150 cm olmalıdır. (Boyadgiev and Verheye, 1996; Wilding et al., 1985). Arazi gözlemleri esnasında çıkan rüzgarlarla birlikte bu horizonlara sahip bölgelerde havayı beyaz bir toz bulutunun kapladığı dikkati çekmiştir. Rüzgarlarla taşınan jips birikimleri kum tepeleri üzerinde birikebilir ve literatürde buna 'lunettes' denilmektedir. Bunlar arazide toz halindedir ve bir nevi sahte kum olarak algılanabilir (Boyadgiev and Verheye, 1996). Çalışma alanının bir bölümünde böyle formda bir yapı tanımlanmış olup, bu alanlarda A horizonu bile zor ayrt edilmiştir.

Çalışma alanında yer yer jipsik ve horizon petrojipsik tanımlanmıştır. Ancak çalışma alanında petrokalsik horizonon tanımlanmamış olup, bunun nedeni toprak profilinde toprak taksonomisine göre (Schoeneberger, 2012) bu horizon tanımlaması için gerekli kriterlerin bulunamamasından kaynaklanmaktadır. Bizim çalışmamızda jips analizi yapılmadığından, morfolojik gözlemler esas alınmıştır. Buna göre; çıplak gözle görülmeyen, büyüteç yardımıyla tanımlanabilen jipslerin % 3, gözle görülebilecek boyutta ise % 3-15 ve beyaz toz gibi toprak yüzeyini kaplamışsa > % 25 olması gerektiği varsayılmıştır (Boyadgiev and Verheye, 1996). Çalışma alanında 15 numaralı profilin tamamen beyaz ve sanki oprağın hiç yokmuş gibi olması sebebiyle yukarıda tanımlanan sınıflamaya göre % 25'den daha fazla olduğu anlaşılmaktadır.

Horizon sınırı yüzeyde ortalama 'belirgin-düz' iken, derinlere doğru 'ani-düzensiz' olmuştur. B_w Horizonunda mottleslar çok fazla tanımlanmasa da konsantrasyonlar A horizonunda 'az, -ince, -silindirik', B_w horizonunda; 'az, -kaba, -düzensiz' ve C horizonunda; 'az -orta -dendritik' olarak sınıflandırılmıştır. (Çizelge 4.15) Üst horizontan gelen yüzeyaltı suları ile taşınan jipsin B_w horizonunda birikmiş olması, aynı zamanda konsantrasyonların da bulunması jipsik ve kalsik horizonun varlığına işaret etmektedir.

Genel olarak pedaliteye bakıldığında toprak oluşum hızına bağlı olarak toprak yüzeyinde ‘yarı-köşeli, -orta, -ince’, derinlere doğru ‘yarı-köşeli, -zayıf, -ince’sınıfindadır. Ancak bazı horizonlarda toprağın neredeyse çok dağılgan bir pedalite sergilediği görülmüştür (Şekil 4.27).



Şekil 4.27 Çalışma alanında 17 nolu profilde görülen pedalite

Kırılgnalık yüzeyde ‘az sert, -kırılgn’iken derinlere doğru ‘gevşek, -sert’ sınıfında tanımlanmış olup, (Çizelge 4.15), sert ve geçirimsiz tabakanın varlığını kanıtlar niteliktedir. Kökler A horizonunda ‘az, -ince, -irregular’, C horizonunda ‘çok az, -çok ince, -dendritik’sınıfına girmektedir. Derinlikle beraber kalsiyum karbonatın artmasının bir sebebi de köklere nüfuz eden Ca^{+2} , Mg^{+2} ve K^{+} ilgili olabilir. Çünkü kökler kendini saran toprağı salgıladıkları sıvı ile asitleştirerek kalsitlerin çözünmesine neden olmaktadır (Fazeli et al., 2017).

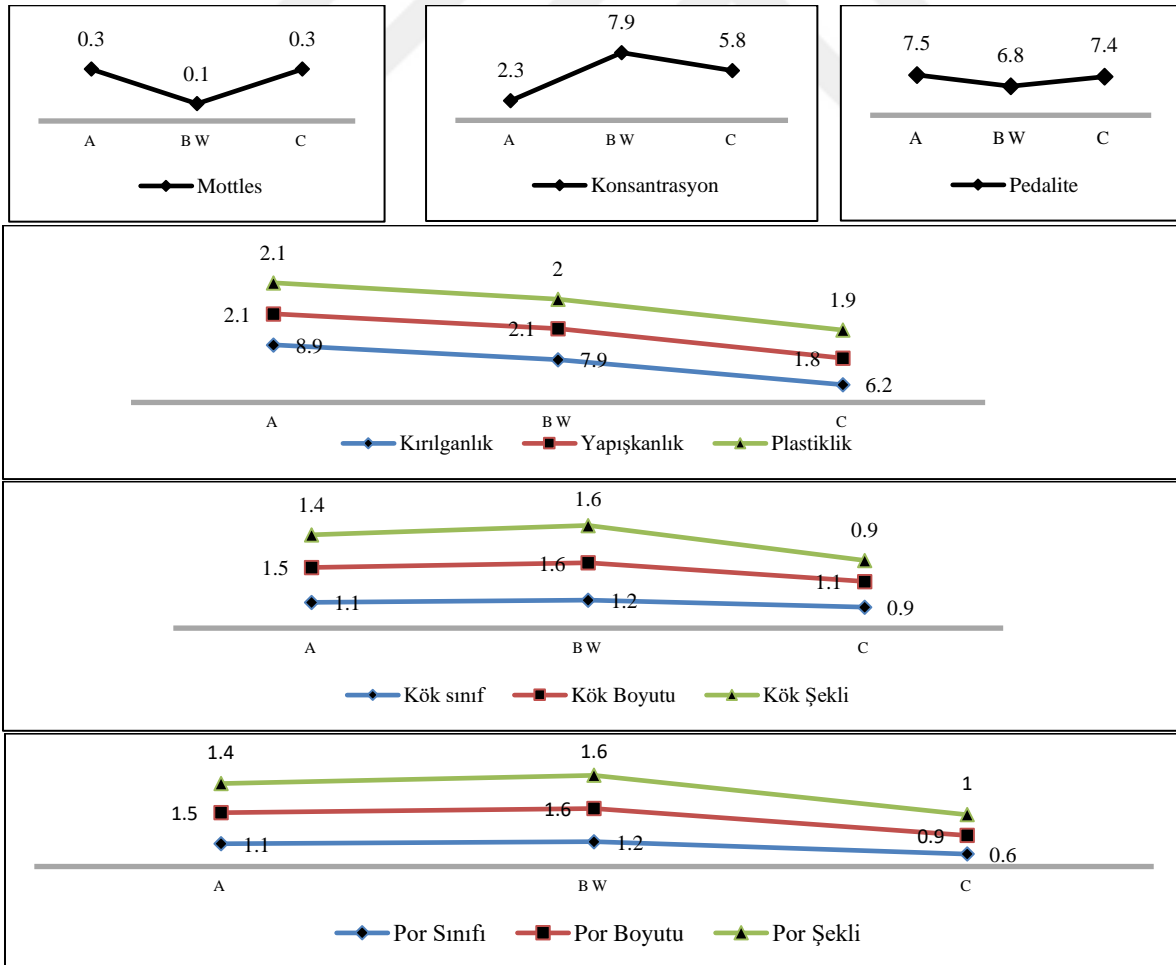
Solumdaki jips varlığı toprak fiziko-kimyasal özelliklerini, bitki gelişimini, havalandırma ve su tutma kapasitesini önemli düzeyde etkilemektedir (Boyadgiev and Verheye, 1996). Profillerde farklı formlarda jipsik ve karstik materyaller olduğundan, nodüller ve kaplamaların jipsle alakalı olduğu düşünülmektedir. Nitekim jipsli topraklarda yapılan çalışmalar bunu destekler niteliktedir (Fazeli et al., 2017). Bizim çalışmamızda jips nodülleri (Şekil 4.28) B_w horizonunda artmakta ve daha derine inildikçe az da olsa bir azalma göstermektedir (Şekil 4.29). Derinlikle beraber gözenekliliğın azalması jips kristallerinin gözeneklerin içine girip burada birikmiş olmasından kaynaklanmış olabilir. Nitekim yapılan bir çalışmada bu sonuçlar teyit edilmiştir (Fazeli et al., 2017). Bunun tersine Poch et al. (1998)’ın yaptıkları bir çalışmada, jipsifikasyonun gözenek

miktarı ile değil, gözenek tipi ile bir ilişkisinin olduğunu bildirmiştir. Horizontda jips içeriğinin artması ile büyük gözenekler jips ile tıklandığından K_s 'de düşebilir (Fazeli et al., 2017).



Şekil 4.28 Çalışma alanında B_w horizonunda görülen jips birikimleri

Çalışma alanında toprak morfolojik özelliklerinin horizonlara göre değişimi Şekil 4.29'da verilmiştir.



Şekil 4.29 Toprak morfolojik özelliklerin horizonlara göre değişimi

A horizonunda yüksek değişkenlik gösteren toprak morfolojik özellikleri; sınır, mottles, konsantrasyonlar, pedalite, kırılgenlık, kök boyut/şekli, por boyut/şekli, B_w horizonunda; sınır, mottles, konsantrasyonlar, pedalite, kök sınıf/boyut/şekli, por sınıf/boyut/şekli ve C horizonunda mottles, konsantrasyonlar, pedalite, kırılgenlık, kök sınıf/boyut/şekli, por sınıf/boyut/şekli'dir (Çizelge 4.15). Çalışma alanında horizonlara göre toprak fiziksel, kimyasal ve morfolojik özelliklerinin ortalamaları arasında önemli bir farkın olup olmadığını anlamak için Duncan testi yapılmış ve horizonlara göre toprak özellikleri farklı alt gruplara ayrılmıştır (Çizelge 4.16)

Mulla and McBratney (2000)'e göre, horizonlar arasında TOM, renk, strüktür pH, KDK ve K_s gibi toprak özellikleri birbirinden oldukça farklıdır. Çizelge 4.16'göre, horizonlar arasında toprak fiziksel özelliklerinden örnekleme anındaki nem, kum miktarı, SN, BYSİ, ve K_s; toprak kimyasal özelliklerinden TOM, EC, pH ve KDK; toprak morfolojik özelliklerinden ise konsantrasyonlar ve kırılgenlık ortalamaları arasında önemli bir fark vardır. Bu farklılık üzerine ana materyal, ayrışma/taşınma/birikme süreçleri, biyolojik aktivite, uygulanan amenajman yöntemleri, hidrolojideki farklılıklar ve pedolojik etmenler etkilidir. Wilding (1985)'e göre horizonlar arasında D_b ve plastiklik az değişken; A horizon kalınlığı, tuz içeriği, su tutma kapasitesi ve KDK orta değişken; renk benekleri, organik madde, toprak derinliği ve hidroluk iletkenlik çok değişkenlik göstermektedir.

Duncan sınıflamasına göre A horizonunda TOM, D_b örnekleme anındaki nem ve KDK; B_w horizonunda SN ve K_s; C horizonunda kum-kil miktarı ve BYSİ önemli bir alt grup oluşturmaktadır (Sig.=1) (Çizelge 4.16). Diğer bir deyişle örneğin TOM B_w ve C horizonlarında benzerlik gösterirken, A horizonunda farklıdır. Aynı şekilde K_s A ve C horizonunda benzer özellik gösterirken B_w horizonunda farklıdır. Yapılan bir çalışmada (Turgut et al., 2010), horizonlara göre nem miktarında önemli derecede (p<0.01) fark bulunmuş olup, araştırmacılar bu sonucu üst toprakta sıkışmaya bağlı olarak nemin azalmasına bağlamışlardır.

İnfiltrasyon hızı sadece yüzey toprağında yapıldığından bu sınıflandırmada yer almamaktadır. Bakı ve eğim pozisyonları arasında toprak morfolojik özelliklerinden por ve kökler beklenenin aksine çalışma alanında horizonlar arasında istatistiki olarak bir fark göstermemiştir.

Çizelge 4.16 Toprak parametrik ve morfolojik özellikleri için horizonlara göre oluşturulmuş alt gruplar (Duncan sınıflaması) (α : 0.05)

Toprak Özellikleri	A	Sig.	B _w	Sig.	C	Sig.
Mottles (Benek)	0,30a	0,60	0,10a	0,60	0,30a	0,60
Konsantrasyonlar	2,30a	0,06	7,90b	0,34	5,80b	0,34
Pedalite	7,50a	0,88	6,80a	0,88	7,40a	0,88
Kırılgenlik	8,90b	0,09	7,90ab	0,05	6,20a	0,04
Yapışkanlık	2,10a	0,41	2,10a	0,41	1,80a	0,41
Plastiklik	2,10a	0,37	2,00a	0,37	1,90a	0,37
Kök sınıfı	1,10a	0,13	1,20a	0,13	0,90a	0,13
Kök boyutu	1,50a	0,32	1,60a	0,32	1,10a	0,32
Kök şekli	1,40a	0,14	1,60a	0,14	0,90a	0,14
Por sınıfı	1,10a	0,13	1,20a	0,13	0,60a	0,13
Por boyutu	1,50a	0,20	1,60a	0,20	0,90a	0,20
Por şekli	1,40a	0,13	1,60a	0,13	1,00a	0,13
TOM (%)	2,35b	1	1,40a	0,28	1,30a	0,28
Db (g/cm³)	1,28a	0,28	1,28a	0,28	1,30a	0,28
≠ ÖASİ	10,0a	1	16,7b	0,34	17,8b	0,34
CaCO₃ (%)	21,9a	0,44	22,6a	0,44	23,1a	0,44
EC (µS/cm)	792,8b	0,11	647,6a	0,93	622,1a	0,93
pH	8,20ab	0,29	8,20a	0,06	8,30b	0,29
Kum (%)	26,9a	0,55	28,2a	0,55	37,7b	1
Kil (%)	44,0a	0,99	44,6a	0,99	36,9a	1
Silt (%)	28,0a	0,33	27,2a	0,33	25,7a	0,33
AS (%)	1,90a	0,08	2,30a	0,08	1,80a	0,08
TK (%)	33,6a	0,12	32,8a	0,12	32,2a	0,12
SN (%)	21,9ab	0,86	22,7b	1	20,1a	0,86
BYSİ (%)	11,7ab	0,18	9,60a	0,18	12,1a	1
Ks (cm/s)	2,50a	0,83	1,60b	1	2,40a	0,83
KDK(meq/100gr)	27,2b	1	25,1ab	0,21	21,0a	0,18

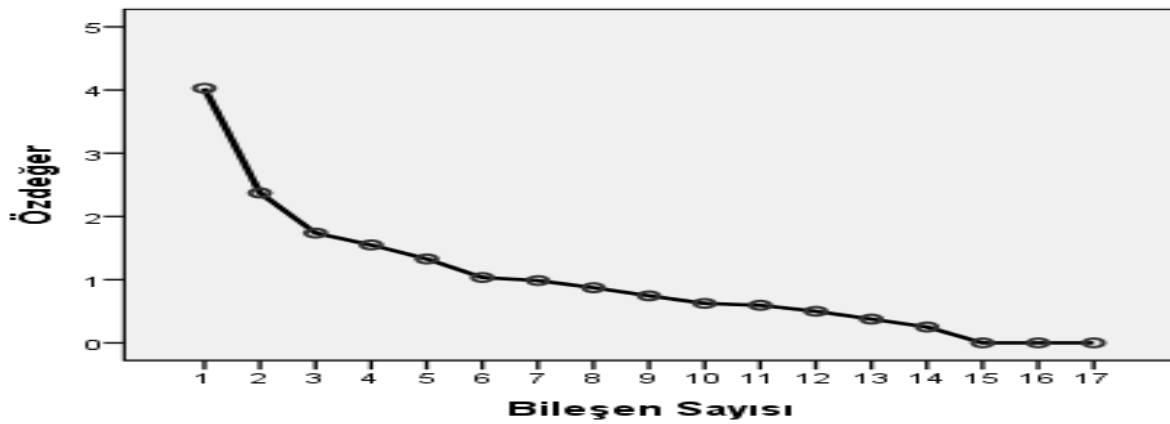
TOM: Toprak Organik Maddesi, Db: Hacim Ağırlığı, ≠: Örnekleme Anındaki Su İçeriği, AS: Agregat Stabilitesi, TK: Tarla Kapasitesi, SN: Solma Noktası, BYSİ: Bitkiye Yarayışlı Su İçeriği, Ks: Doymuş Hidrolik İletkenlik, KDK: Katyon Değişim Kapasitesi

Toprak fiziksel özelliklerinden K_s, 2 alt gruba ayrılmıştır. En yüksek K_s ortalaması A horizonunda en düşük ise B_w horizonundadır. B_w horizonunun jipsik olması sebebiyle K_s bu horizonunda azalma göstermiştir. Elde edilen bu sonuç, tanımsal istatistik analiz sonuçları ile uyumludur. Çalışma alanında horizonlar arasında toprak fiziksel özelliklerinin ortalamaları arasındaki fark, toprak kimyasal ve morfolojik özelliklere kıyasla daha fazladır. Bakı ve eğim pozisyonundaki sonuçlar ile burada elde edilen sonuç uyumludur.

4.1.7 Toprak Parametrik Özelliklerine İlişkin Faktör Analizi

Faktör analizi birbiriyle ilişkili olan çok sayıdaki değişkeni kullanarak daha az sayıda, anlamlı ve birbirinden bağımsız faktörler haline getirmeye yarayan bir istatistik tekniğidir (Nizam et al., 1998; Sağlam, 2013). Faktör analizinde, gözlenen fazla sayıda değişken, daha az sayıda faktör ile açıklanmaya çalışılır (Johnson and Wichern, 1992). Bu yöntem ile veri setindeki maksimum bilgi sağlayan değişkenler belirlenerek (McNeal et al., 1985), elde edilen bilgiler ışığında toprakların sınıflandırılması ve amenajmanında yaygın olarak kullanılabilir (Donkin and Fey, 1991; Sánchez-Marañón et al., 1996). Toprak özelliklerinin değişkenliğinin belirlendiği birçok çalışmada faktör analizinin kullanıldığı görülmektedir (Erşahin and Karaman, 2000; McGrath et al., 2004; Sağlam, 2013, 2015; Shukla et al., 2006).

Çalışmamızda faktör analizi toprak özelliklerinin kendi aralarındaki ilişkileri ortaya koymak için kullanılmıştır. Faktör analizi korelasyon matrisi kullanılarak değişkenler üzerinde faktör yükünün belirlenebilmesi için kullanılmaktadır (Çelenk, 2016). Faktör yükleri toprak özellikleri ile herbir faktör arasındaki ilişkiyi ifade ederken, öz değerler herbir faktör tarafından açıklanan değişkenlik oranını ifade etmektedir. (Çizelge 4.17). Olorunlana (2015)'e göre, öz değeri 1'den büyük faktörler veri içerisinde herbir toprak özelliğinden daha fazla toplam değişkenliği açıklar. Öz değeri 1'den küçük faktörler de herbir toprak özelliğine göre daha düşük toplam değişkenliği ifade eder. Bu sebeple sadece 1'den büyük faktörler dikkate alınır ve toprak özellikleri en yüksek öz değere sahip olan faktörlere atanırlar (Çelenk, 2016). Faktör analizine toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerinin hepsi dahil edilmiştir.



Şekil 4.30 Toprak parametrik özelliklerine ilişkin faktör analizi çizgi grafiği

Faktör analizi çizgi grafiğinde eğimin iyice azaldığı noktanın işaret ettiği sayıda faktör belirlenir (Kalaycı, 2010). Buna göre, grafikten altıncı faktörden itibaren çizgi grafiği eğimini kaybetmeye başladığı için faktör sayısı 6 ile sınırlanabilir (Şekil 4.30). Ancak, bizim çalışmamızda öz değeri 1 ve üzerindeki faktörler alındığında Faktör 7 analize dahil edilmiştir (Çizelge 4.17). Buna göre, faktör analizinde 17 toprak özelliği kullanılmış olup, toplam değişkenliğin %77.3'ü bu faktörler tarafından açıklanmıştır

Çizelge 4.17 Toprak parametrik özelliklerine ilişkin dönüştürülmüş bileşenler matrisi

Faktörler	Öz değer	% Varyans	Birikimli % varyans
Faktör 1	2,79	18,60	18,60
Faktör 2	1,78	11,90	30,51
Faktör 3	1,50	10,03	40,54
Faktör 4	1,47	9,80	50,35
Faktör 5	1,38	9,24	59,59
Faktör 6	1,32	8,85	68,44
Faktör 7	1,32	8,82	77,26

Değişkenleri dönüştürmenin amacı, yorumlanması daha kolay anlamlı faktörler elde etmektir. Dönüştürülmüş bileşenler matrisi faktör analizinin nihai bir sonucudur. Matriste esas değişken ve onun faktörü arasındaki ilişkiler görülmektedir (Çizelge 4.17). Bir değişken hangi faktör altında mutlak değer olarak büyük ise o değişken o faktör ile yakın bir ilişki içerisindedir. Veri sayısının 350'den daha fazla olduğu durumlarda faktör yükünün 0.30 üzerinde olması gerekir. Bu değer 0.50'nin üzerinde ise oldukça iyi kabul edilmektedir (Hair et al., 1998).

Ortak varyans, bir değişkenin analizde yer alan diğer değişkenlerle paylaştığı varyans miktarına denilmektedir. Faktör analizinde düşük ortak varyansa sahip olan değişkenler (0.50'nin altında) analizden çıkarılarak faktör analizi tekrar yapılabilir (Hair et al., 1998). Eğer ortak varyans değeri 1'in üstüne çıkarsa ya veri seti çok küçüktür ya da araştırmada çok sayıda veya az sayıda faktör belirlenmiştir (Kalaycı, 2010). Çizelge 4.18'de toprak özelliklerine ait ortak varyanslar verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, en yüksek ortak varyansa KDK (0.98), kil ve BYSİ (0.97) değişkenleri sahiptir.

Çizelge 4.18 Çalışma alanı toprak parametrik özelliklerine ilişkin ortak varyans

Ortak Varyans		
Değişkenler	Başlangıç	Tanımlanan
Toprak Organik Maddesi	1,00	0,54
Kuru Hacim Ağırlığı (Db)	1,00	0,58
Örnekleme Anındaki Su İçeriği	1,00	0,78
CaCO ₃	1,00	0,52
EC	1,00	0,79
pH	1,00	0,81
Kum	1,00	0,74
Kil	1,00	0,97
Silt	1,00	0,92
Agregat Stabilitesi	1,00	0,49
Tarla Kapasitesi (TK)	1,00	0,95
Solma Noktası (SN)	1,00	0,90
Bitkiye Yarayırlı Su İçeriği (BYSİ)	1,00	0,97
Doymuş Hidrolik İletkenlik (Ks)	1,00	0,57
Kasyon Değişim Kapasitesi (KDK)	1,00	0,98
İnfiltrasyon Hızı (İH)	1,00	0,70
Sorptivite	1,00	0,78

Faktör seçiminde gösterge olarak kullanılan öz değer faktörler ve toprak özellikleri arasındaki ilişkiyi değerlendirmede iyi bir kriter olup, toprak özellikleri öz değerlerinin en yüksek olduğu faktöre atanırlar (Shukla et al., 2006). Belirlenen 7 faktörün toprak özelliklerine ilişkin bireysel varyansları açıklamasına bakıldığında belirlenen faktörlerin kil, silt ve KDK'ya ait varyansın % 90'dan fazlasını açıkladığı görülmektedir (Çizelge 4.18). Faktör analizi sonucuna göre KDK en yüksek yükü, toprak organik maddesi ise en düşük yükü olarak atanan toprak özellikleri olmuştur

Faktör 1'e değişkenler % kil silt, İH ve KDK yüklenmiş olup, bu faktör veri setine ait varyansın % 21'ini açıklamıştır. Faktör 1 'tekstür faktörü' olarak adlandırılmıştır. Toprakların kil ve silt içeriği arasında beklendiği üzere ters bir ilişki bulunmaktadır. Yapılan diğer çalışmalarda bu sonucu destekler niteliktedir (Erşahin and Karaman, 2000; Shukla et al., 2006). Veri setine faktör dönüşümü yapılmasına rağmen kum miktarı hem faktör 1 hem de faktör 3'de tanımlanmıştır. Bu sebeple Faktör 1'de olan değişkenler için güvenilirlik analizi (cronbach alfa modeli) yapılmıştır. Alfa katsayısı değişkenlerin benzerliğini ortaya koyan bir katsayıdır (Kalaycı, 2010). Yapılan analiz sonucu faktörden bir değişken çıkarılması gerektiği belirlenmiş olup, önce hiçbir değişken çıkarılmadan güvenilirlik katsayısı hesaplanmış, daha sonra her bir değişken ayrı ayrı çıkarıldıktan sonra hesaplanan güvenilirlik katsayısına göre kum değişkeninin çıkarılmasına karar verilmiştir. Zaten kumun Faktör 4'e daha yüksek bir korelasyonla yüklendiği

anlaşılmaktadır. Bu durumda, Faktör 1’den çıkarılması gayet yerinde bir karar olmuştur. Benzer durumlara diğer çalışmalarda rastlamak mümkündür (Donkin and Fey, 1991; Erşahin and Karaman, 2000).

Çizelge 4.19 Çalışma alanı toprak parametrik özelliklerine ilişkin faktör analizi

Değişkenler	Faktör						
	1	2	3	4	5	6	7
Kil (%)	0,93						
Silt (%)	-0,92						
KDK(meq/100gr)	0,91						
BYSİ (%)		0,93					
TK (%)		0,86					
AS (%)			0,67				
Ks (cm/s)			-0,61				
Db (g/cm ³)			0,58				
Kum (%)	-0,30			-0,72			
CaCO ₃ (%)				0,69			
SN (%)					0,94		
pH						0,83	
EC (µS/cm)						-0,74	
# ÖASİ							-0,86
TOM (%)							0,56
İH (cm/sa ⁻¹)	0,31						
Sorptivite						0,82	
Varyans %	21,91	13,74	10,44	8,80	8,22	7,37	6,75

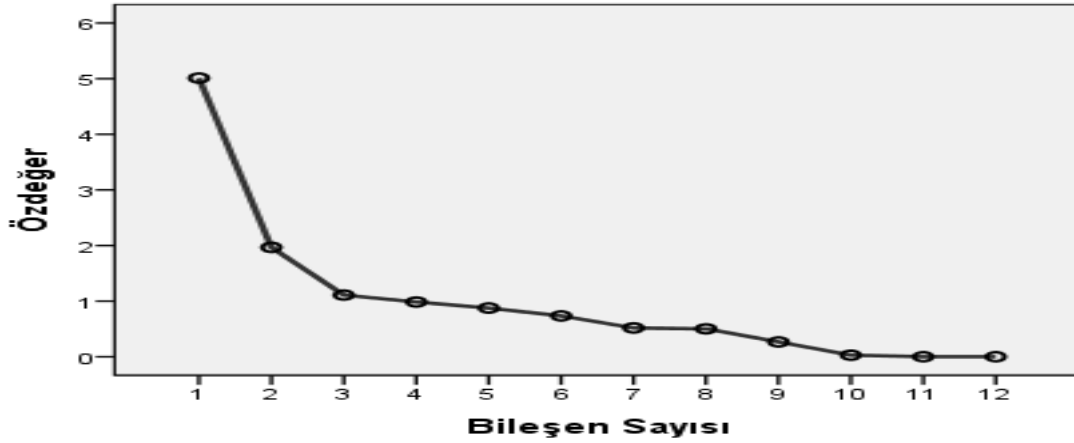
TOM: Toprak Organik Maddesi, Db: Hacim Ağırlığı, #: Örnekleme Anındaki Su İçeriği, AS: Agregat Stabilitesi, TK: Tarla Kapasitesi, SN: Solma Noktası, YYSİ: Bitkiye Yarayışlı Su İçeriği, K_s: Doymuş Hidrolik İletkenlik, KDK: Katyon Değişim Kapasitesi, İH: İnfiltrasyon Hızı

Faktör 2 ‘ye bitkiye yarayışlı su içeriği ve tarla kapasitesi yüklenmiş olup, bu faktör ‘toprak suyu faktörü’ olarak adlandırılmıştır. Faktör 2’de bitkiye yarayışlı su içerikleri ve tarla kapasitesi arasında pozitif bir ilişki olduğu görülmektedir. Faktör 2 veri setine ait varyansın %13’ünü açıklamıştır (Çizelge 4.19). Faktör 3’e agregat stabilitesi (AS), doymuş hidrolik iletkenlik (K_s) ve hacim ağırlığı (D_b) yüklenmiş olup, bu faktör ‘fiziksel faktör’olarak adlandırılmıştır. Faktör 3 veri setine ait varyansın %10.4’ünü açıklamaktadır. Faktör 4’e toprakların kum içerikleri ve kireç miktarı yüklenmiş olup, bu faktör ‘kireç faktörü’ olarak adlandırılmıştır. Faktör 4’de kum içeriği ve kireç miktarı arasında negative bir ilişkinin olduğu ve veri setine ait varyansın % 8.80’ini açıkladığı görülmektedir (Çizelge 4.19). Çalışma alanı çevresinde kilaşı marn ve kum taşlarının olması topografyayı etkilemesinden dolayı ve eğimli ve düz alanlarda biriken maddeler farklılık göstermektedir. Solma noktası tek başına faktör 5’e yüklenmiş olup, veri setine ait varyansın % 8.22’sini açıklamaktadır. Faktör 5 ‘su tutma faktörü’ olarak adlandırılmıştır. Faktör 6’a pH, EC ve sorptivite yüklenmiş olup, aralarında negatif bir ilişki olduğu görülmektedir.

Faktör 6 ‘toprak kimyası faktörü’olarak adlandırılmıştır. Faktör 7’ye ise örnekleme anındaki nem içeriği ve toprak organik maddesi yüklenmiş olup, bu factor ‘organik madde faktörü’ olarak adlandırılmıştır. Faktör 7 veri setine ait varyansın %6.7’sini açıklamaktadır.

4.1.8 Toprak Morfolojik Özelliklerine İlişkin Faktör Analizi

Faktör analizinde uygulanan aynı işlemler toprak morfolojik özellikleri için de yapılmıştır. Scree (eleme) analizine göre grafik eğimini 3. Faktörden itibaren kaybetmeye başladığı için 3 faktör alınmıştır (Şekil 4.31).



Şekil 4.31 Toprak morfolojik özellikleri faktör analizi çizgi (scree analysis) grafiği

Toprak morfolojik özelliklerinin öz değerleri Çizelge 4 20’de gösterilmiştir. Buna göre, faktör analizi uygulamasında 12 toprak morfolojik özelliği kullanılmış olup, öz değerleri 1’den büyük olan 3 faktör belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre toplam değişimin % 67’si bu faktörler tarafından açıklanmaktadır (Çizelge 4.20)

Çizelge 4.20 Toprak morfolojik özelliklerine ilişkin dönüştürülmüş bileşenler matrisi

Faktörler	Öz değer	% Varyans	Birikimli % varyans
Faktör 1	4,57	38,10	38,10
Faktör 2	2,24	18,67	56,78
Faktör 3	1,27	10,60	67,39

Çizelge 4.21’de toprak morfolojik özelliklerine ait ortak varyanslar verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, en yüksek ortak varyansa por boyutu (0.81), en düşük ortak varyansa konsantrasyon (0.21) değişkeni sahiptir.

Çizelge 4.21 Toprak morfolojik özelliklerine ilişkin ortak varyans

Ortak Varyans		
Değişkenler	Başlangıç	Tanımlanan
Mottles	1,00	0,47
Konsantrasyon	1,00	0,21
Pedalite	1,00	0,66
Kırılgenlik	1,00	0,54
Yapışkanlık	1,00	0,76
Plastiklik	1,00	0,72
Kök Sınıf	1,00	0,76
Kök Boyut	1,00	0,79
Kök Şekil	1,00	0,77
Por Sınıf	1,00	0,77
Por Boyut	1,00	0,81
Por Şekil	1,00	0,78

Toprak morfolojik özelliklerine ilişkin faktör analizi sonuçları Çizelge 4.22’da verilmiştir. Faktör analizi sonucuna göre por boyutu en yüksek yükü, konsantrasyonlar ise en düşük yükü olarak atanan toprak özellikleri olmuştur (Çizelge 4.22). Faktör 1’e değişkenler por boyutu, kök boyutu, kök şekli, por şekli, kök sınıfı ve por sınıfı yüklenmiş olup, bu factor veri setine ait varyansın % 38’ini açıklamıştır. Faktör 1 ‘kök ve por faktörü’ olarak adlandırılmıştır. Kök ve porlar arasında pozitif bir ilişki bulunmuştur.

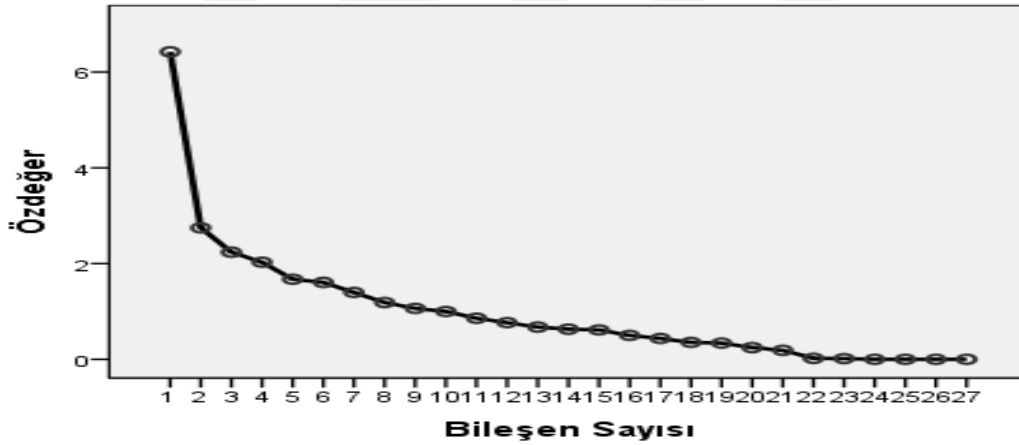
Çizelge 4.22 Toprak morfolojik özelliklerine ilişkin faktör analizi

Değişkenler	Faktör		
	1	2	3
Por Boyut	0,90		
Kök Boyut	0,89		
Kök Şekil	0,87		
Por Şekil	0,87		
Kök Sınıf	0,82		
Por Sınıf	0,82		
Yapışkanlık		0,87	
Plastiklik		0,82	
Kırılgenlik		0,62	
Konsantrasyon		0,44	
Pedalite			0,79
Mottles			0,68
Varyans %	38,10	18,67	10,60

Faktör 2'ye yapışkanlık, plastiklik, kırılabilirlik ve konsantrasyonlar yüklenmiş olup, bu faktör 'kıvam faktörü' olarak adlandırılmıştır. Faktör 2 'de değişkenlerin kendi arasında pozitif ilişki olduğu görülmektedir. Faktör 2 veri setine ait varyansın %18.6'sını açıklamıştır (Çizelge 4.22). Faktör 3'e pedalite ve mottles yüklenmiş olup, bu faktör 'pedalite ve redoks faktörü' olarak adlandırılmıştır. Faktör 3 veri setine ait varyansın % 10.6'sını açıklamaktadır.

4.1.9 Tüm Toprak Özelliklerine İlişkin Faktör Analizi

Çalışma alanında fiziksel, kimyasal ve morfolojik toprak özelliklerinin tümü için faktör analizi yapılmıştır. Scree analizine göre 1 ve 1'in üzerindeki öz değerler alındığından dolayı 9.bileşenden sonraki bileşenler analiz dışı bırakılmıştır (Şekil 4.32). Çalışma alanına ait tüm toprak özelliklerinin öz değerleri Çizelge 4.23'de gösterilmiştir.



Şekil 4.32 Toprak parametrik ve morfolojik özelliklerine ilişkin faktör analizi çizgi grafiği

Çizelge 4.23 Toprak parametrik ve morfolojik özelliklerine ilişkin dönüştürülmüş bileşenler matrisi

Faktörler	Öz değer	% Varyans	Birikimli % varyans
Faktör 1	4,91	18,19	18,19
Faktör 2	2,90	10,76	28,95
Faktör 3	2,70	10,0	38,95
Faktör 4	2,05	7,61	46,57
Faktör 5	1,66	6,16	52,73
Faktör 6	1,63	6,07	58,80
Faktör 7	1,52	5,65	64,45
Faktör 8	1,52	5,63	70,09
Faktör 9	1,43	5,31	75,40

Çizelge 4.24 Toprak parametrik ve morfolojik özelliklerine ilişkin ortak varyans

Ortak Varyans		
Değişkenler	Başlangıç	Tanımlanan
Toprak Organik Maddesi	1,00	0,60
Kuru Hacim Ağırlığı (Db)	1,00	0,68
Örnekleme Anındaki Su İçeriği	1,00	0,67
CaCO ₃	1,00	0,62
EC	1,00	0,75
pH	1,00	0,62
Kum	1,00	0,64
Kil	1,00	0,96
Silt	1,00	0,87
Agregat Stabilitesi	1,00	0,59
Tarla Kapasitesi (TK)	1,00	0,89
Solma Noktası (SN)	1,00	0,91
Bitkiye Yarayışlı Su İçeriği (BYSİ)	1,00	0,85
Doymuş Hidrolik İletkenlik (K _s)	1,00	0,50
Katyon Değişim Kapasitesi (KDK)	1,00	0,97
İnfiltrasyon Hızı (cm/s)	1,00	0,70
Sorptivite	1,00	0,78
Mottles	1,00	0,56
Konsantrasyon	1,00	0,62
Pedalite	1,00	0,71
Kırılganlık	1,00	0,64
Yapışkanlık	1,00	0,77
Plastiklik	1,00	0,74
Kök Sınıf	1,00	0,89
Kök Boyut	1,00	0,81
Kök Şekli	1,00	0,82
Por Sınıf	1,00	0,89
Por Boyut	1,00	0,85
Por Şekli	1,00	0,82

Çizelge 4.24’de tüm toprak özelliklerine ait ortak varyanslar verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, en yüksek ortak varyansa KDK (0.97), en düşük ortak varyansa K_s (0.50) sahiptir. Faktör analizi sonucuna göre tüm toprak özellikleri arasında solma noktası en yüksek yükü kum ise en düşük yükü alarak atanan toprak özellikleri olmuştur (Çizelge 4.25). Faktör 1’e morfolojik değişkenler por boyutu, kök boyut, kök şekli, por şekli, kök sınıfı ve por sınıfı yüklenmiş olup, veri setine ait varyansın %18’ini açıklamıştır. Faktör 1 ‘kök ve por faktörü’ olarak adlandırılmıştır. Kök ve porlar arasında pozitif bir ilişki bulunmaktadır.

Faktör 2’ye değişkenler silt, kil ve KDK yüklenmiş olup, Faktör 2 veri setine ilişkin varyansın % 11’ini açıklamıştır. Faktör 2 ‘tekstür faktörü’ olarak adlandırılmış ve beklenildiği üzere silt ve kil arasında negatif bir ilişki bulunmuştur. Faktör 3’e yapışkanlık, plastiklik ve hacim ağırlığı

yüklenmiş olup, veri setine ait varyansın % 10'unu açıklamıştır. Faktör 3 'toprak mekaniği faktörü' olarak adlandırılmıştır. Toprağın hacim ağırlığı, tekstür ve gözeneklilik ile yakından ilgilidir. Killi toprakların tanecik boyutu küçük olduğundan hacim ağırlığı da yüksektir. Hacim ağırlığı arttıkça su tutma kapasitesi ve nem artacağından, hacim ağırlığı yapışkanlık ve plastiklik ile pozitif ilişkilidir. Bu sebeple faktör 3'ün dolaylı olarak kil miktarı ve kil tipine bağlı olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.25 Toprak parametrik ve morfolojik özelliklerine ilişkin faktör analizi

Değişkenler	Faktör								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Por Boyut	0,89								
Por Şekli	0,87								
Kök Şekli	0,87								
Kök Boyut	0,86								
Por Sınıf	0,81								
Kök Sınıf	0,81								
Silt (%)		-0,91							
Kil (%)		0,90							
KDK(meq/100gr)		0,88							
Yapışkanlık			0,86						
Plastiklik			0,80						
D _b (g/cm ³)			0,50						
BYSİ (%)				0,88					
TK (%)				0,77					
# ÖASİ (%)					0,77				
Konsantrasyon					0,68				
TOM (%)					-0,57				
Mottles						0,69			
pH						0,68			
EC (µS/cm)						-0,60			
Pedalite							0,79		
Kırılğanlık							0,56		
Kum (%)							-0,39		
SN (%)								0,94	
CaCO ₃ (%)									0,68
Ks (cm/s)									-0,52
AS (%)									0,50
% Varyans	18,19	10,76	10	7,61	6,16	6,07	5,65	5,63	5,31

TOM: Toprak Organik Maddesi, D_b: Hacim Ağırlığı, #: Örnekleme Anındaki Su İçeriği, AS: Agregat Stabilitesi, TK: Tarla Kapasitesi, SN: Solma Noktası, BYSİ: Bitkiye Yararışlı Su İçeriği, Ks: Doymuş Hidrolik İletkenlik, KDK: Katyon Değişim Kapasitesi

Faktör 4'e bitkiye yararışlı su içeriği ve tarla kapasitesi yüklenmiş olup, veri setine ait varyansın % 7.61'ini açıklamıştır. Faktör 4 'toprak suyu faktörü' olarak adlandırılmıştır. Faktör 5'e örnekleme anındaki nem içeriği, konsantrasyonlar ve toprak organik maddesi yüklenmiş olup,

veri setine ilişkin varyansın % 6.16'sını açıklamıştır. Faktör 5 'redoksimorfik faktör' olarak adlandırılmıştır. Nem miktarının artması ile kil miktarında bir artış olmaktadır, nitekim çalışmamızda yaptığımız tanımlayıcı istatistik analizlerinin sonucu bunu destekler niteliktedir (Çizelge 4.1). Kil miktarının artması ile toprakta meydana gelen perkolasyon azalır ve burada kil kütanları yani konsantrasyonlar oluşmaktadır. Yapılan çalışmalar bu sonucu destekler niteliktedir (Durak and Kılıç, 1997; Özaytekin and Cihan, 2009).

Faktör 6'ya mottles, EC ve pH yüklenmiş olup, veri setine ait varyansın % 6.07'sini açıklamıştır. Faktör 6 'toprak kimyası faktörü' olarak adlandırılmıştır. Mottles ve elektriksel iletkenlik arasında negatif bir ilişki vardır. EC'nin düşük olduğu topraklarda K_s daha yüksektir. Mottles suyun hareketi ve kil ile ilişkili bir morfolojik toprak özelliğidir. Nitekim çalışmamızda K_s ile EC arasında 0.05 önem seviyesinde negatif bir ilişki bulunmuş olup (Çizelge 4.4), redoksimorfik özelliklerden olan beneklenmenin (mottles) EC'nin düşük olduğu yerlerde fazla olmasını kanıtlar niteliktedir. EC'nin düşük olduğu sıkışmış katmanlarda su hareketinin bir sonucu olarak beneklenmenin görülmesi sonuçları destekler niteliktedir. Faktör 7'e pedalite, kırılabilirlik ve kum yüklenmiş olup, veri setine ait varyansın % 6.65'ini açıklamıştır. Faktör 7 'pedalite ve kıvam faktörü' olarak adlandırılmıştır. Kumun artması ile toprağın su tutma kapasitesi azalarak, kıvam limitindeki su miktarı da buna bağlı olarak azalmaktadır. Bunun bir sonucu olarak toprağın kırılabilirliği (rupture resistance) azalmaktadır.

Faktör 8'e solma noktası tek başına yüklenmiş olup, veri setine ait varyansın % 5.63'ünü açıklamıştır. Faktör 8 'su tutma faktörü' olarak adlandırılmıştır. Faktör 9'a CaCO₃, K_s ve % agregat stabilitesi yüklenmiş olup, veri setine ait varyansın % 5.31'ini açıklamıştır. Faktör 9 'toprak suyu hareketi ve strüktür faktörü' olarak adlandırılmıştır. CaCO₃ ve K_s arasındaki negatif ilişki beklenen bir durumdur.

4.1.10. Topografik Özelliklerin Faktörler Üzerindeki Etkisi

4.1.10.1 Toprak Parametrik Özellikleri

İncelenen 17 toprak fiziksel ve kimyasal özelliği faktör analizi sonucu 7 faktör altında toplanmış olup (Çizelge 4.19), bağımsız değişkenlerin bu 7 faktör üzerindeki etkilerine bakılmıştır. Çizelge 4.26'a göre, bağımsız değişkenler ve bunların etkileşimleri tüm faktörler üzerinde 0.05

seviyesinde önemlidir. Fiziksel ve kimyasal faktörler arasında en yüksek ETA değeri (0.59) Faktör 1-*BakıxEğim Pozisyonu* etkileşiminde, en düşük ETA değeri (0.03) ise Faktör 6-horizon değişkenindedir. Diğer bir ifadeyle, en fazla etki, *BakıxEğim Pozisyonu* etkileşiminde kil, silt, KDK ve İH üzerindedir. Toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bağımsız değişkenlerden, toprak morfolojik özelliklerine göre daha fazla etkilendiği görülmektedir.

4.1.10.2 Toprak Morfolojik Özellikleri

Çalışma alanındaki bağımsız değişkenlerin (bakı-eğim pozisyonu-horizon), faktör analizi sonucu elde edilen faktörler üzerindeki etkisinin önemli olup olmadığını anlamak için ANOVA analizi yapılmıştır (Çizelge 4.26). İncelenen 12 adet morfolojik toprak özelliği faktör analizi sonucu 3 faktör altında toplanmış olup (Çizelge 4.22), bağımsız değişkenlerin bu 3 faktörün etkisine bakılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, faktör 1 üzerinde bakı, eğim pozisyonu, *BakıxEğim Pozisyonu*; faktör 2 üzerinde *Bakı*, *Horizon*, *Eğim Pozisyonu* ve faktör 3 üzerinde ise *Bakı*, *BakıxEğim Pozisyonunun* etkisi 0.05 seviyesinde önemlidir (Çizelge 4.26). Morfolojik faktörler arasında en yüksek ETA değeri (0.72) faktör 3-*BakıxEğim Pozisyonu* etkileşiminde; en düşük ETA değeri (0.43) ise faktör 2-*Bakı* değişkenindedir. Diğer bir deyişle bağımsız değişkenlerden *BakıxEğim Pozisyonu* etkileşimi en fazla faktör 3 üzerinde etkili olmaktadır. Belirlenen 3 faktör üzerinde *BakıxEğim PozisyonuxHorizon* etkileşiminin önemli bir etkisi olmadığı görülmektedir. Bu sonuçlara göre, bakı değişkeninin, her bir faktör üzerinde en etkili bağımsız değişken olduğu söylenebilir.

İncelenen 17 fiziksel ve kimyasal toprak özelliği faktör analizi sonucu 7 faktör altında toplanmış olup (Çizelge 4.19), bağımsız değişkenlerin bu 7 faktör üzerindeki etkilerine bakılmıştır. Çizelge 4.26'a göre, bağımsız değişkenler ve bunların etkileşimleri tüm faktörler üzerinde 0.05 seviyesinde önemlidir. Fiziksel ve kimyasal faktörler arasında en yüksek ETA değeri (0.59) faktör 1-*BakıxEğim Pozisyonu* etkileşiminde, en düşük ETA değeri (0.03) ise faktör 6-*Horizon* değişkenindedir. Diğer bir ifadeyle, en fazla etki, *BakıxEğim Pozisyonu* etkileşiminde % kil, silt, KDK ve İH üzerindedir. Toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bağımsız değişkenlerden, toprak morfolojik özelliklerine göre daha fazla etkilendiği görülmektedir.

4.1.10.3 Toprak Parametrik ve Morfolojik Özellikleri

İncelenen 12 adet morfolojik ve 17 adet fiziksel-kimyasal toprak özelliğinin tümü faktör analizi sonucu 9 faktör altında toplanmış olup (Çizelge 4.25), bağımsız değişkenlerin 9 faktör üzerindeki etkisinin önemli olup olmadığına bakılmıştır (Çizelge 4.26). ANOVA testi sonucu, Faktör 1 üzerinde *Bakı, Eğim Pozisyonu, Bakıx Eğim Pozisyonu*; Faktör 2 üzerinde *Bakı, Horizon, Bakıx Eğim Pozisyonu*; Faktör 5 üzerinde *Bakı, Horizon, Eğim Pozisyonu, Bakıx Eğim Pozisyonu*; Faktör 7 üzerinde *Bakı, Horizon*; Faktör 9 üzerinde *Bakı* değişkeninin 0.05 seviyesinde önemli bir etkisi varken, Faktör 3-4-8 üzerinde anlamlı bir etkisi yoktur (Çizelge 4.26). Tüm toprak özellikleri arasında en yüksek ETA değeri (0.76) faktör 5-*Bakıx Eğim Pozisyonu* etkileşiminde, en düşük ETA değeri (0.42) ise faktör 7-*Bakı* değişkenindedir. Diğer bir ifadeyle, bağımsız değişkenlerden *Bakıx Eğim Pozisyonu* etkileşimi en fazla ‘redoksimorfik faktör’ üzerinde etkilidir. Faktör 5 ‘redoksimorfik faktör’ olarak adlandırılmış olup, nem, konsantrasyonlar ve toprak organik maddesi bu faktöre yüklenmiştir. Faktör analizi sonuçlarına göre çalışma alanındaki toprak değişkenliğinin, ağırlıklı olarak kök sınıfı/boyutu/şekli, por sınıfı/boyutu/şekli ve tekstür bileşenlerinden kaynaklandığı söylenebilir.

Çizelge 4.26 Çalışma alanında bağımsız değişkenlerin faktörlere ilişkin P ve ETA değerleri**Toprak Morfolojik Özellikleri**

		Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3
<i>Baki</i>	P	0,02	0,01	0,00
	ETA	0,49	0,43	0,52
<i>Horizon</i>	P	-	0,03	-
	ETA	-	0,55	-
<i>Eğim Pozisyonu</i>	P	0,00	0,00	-
	ETA	0,48	0,47	-
<i>BakıxHorizon</i>	P	-	-	-
	ETA	-	-	-
<i>BakıxEğim Pozisyonu</i>	P	0,01	-	0,00
	ETA	0,65	-	0,72
<i>HorizonxEğim Pozisyonu</i>	P	-	-	-
	ETA	-	-	-
<i>BakıxEğim PozisyonuxHorizon</i>	P	-	-	-
	ETA	-	-	-

Toprak Parametrik Özellikleri

		Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Faktör 4	Faktör 5	Faktör 6	Faktör 7
<i>Baki</i>	P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ETA	0,42	0,05	0,29	0,34	0,03	0,36	0,26
<i>Horizon</i>	P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ETA	0,52	0,06	0,07	0,28	0,11	0,03	0,42
<i>Eğim Pozisyonu</i>	P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ETA	0,25	0,06	0,18	0,22	0,05	0,17	0,15
<i>Bakı x Horizon</i>	P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ETA	0,31	0,13	0,29	0,25	0,16	0,05	0,25
<i>BakıxEğim Pozisyonu</i>	P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ETA	0,59	0,36	0,38	0,41	0,35	0,30	0,53
<i>HorizonxEğim Pozisyon</i>	P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ETA	0,32	0,07	0,26	0,27	0,08	0,07	0,20
<i>BakıxEğim PozisyonuxHorizon</i>	P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ETA	0,44	0,18	0,39	0,44	0,18	0,18	0,24

Toprak Parametrik ve Morfolojik Özellikleri

		Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Faktör 4	Faktör 5	Faktör 6	Faktör 7	Faktör 8	Faktör 9
<i>Baki</i>	P	0,00	0,00	-	-	0,00	0,00	0,02	-	0,00
	ETA	0,49	0,51	-	-	0,51	0,54	0,42	-	0,48
<i>Horizon</i>	P	-	0,00	-	-	0,00	-	0,00	-	-
	ETA	-	0,65	-	-	0,63	-	0,46	-	-
<i>Eğim Pozisyonu</i>	P	0,00	-	-	-	0,00	-	-	-	-
	ETA	0,48	-	-	-	0,60	-	-	-	-
<i>BakıxHorizon</i>	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ETA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>BakıxEğim Pozisyonu</i>	P	0,01	0,00	-	-	0,00	0,02	-	-	-
	ETA	0,65	0,69	-	-	0,76	0,64	-	-	-
<i>HorizonxEğiM Pozisyonu</i>	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ETA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>BakıxEğim PozisyonuxHorizon</i>	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ETA	-	-	-	-	-	-	-	-	-

P: 0.05 önem seviyesi, ETA: Kısmi kareler

4.1.11 Toprak Parametrik Özelliklerine İlişkin Uzaysal Değişkenliğin Jeostatistiksel Analizi

Toprak özelliklerinin uzaysal değişkenliği her bir horizon için ayrı ayrı yapılmıştır. (Çizelge 4.27). Jeostatistiksel analizde verilerin tamamı kullanılmış olup, hiçbir uç değer çıkarılmamıştır. İzotropik semivariogramlar GS⁺ paket programı yardımıyla modellenmiş, toprak örneklerinin mesafeye bağlı değişkenliklerine ait modeller ve model parametreleri ile krigleme sonucu oluşturulan haritalar verilerek tartışılmıştır. Aynı zamanda herbir değişken için modelin uyumluluğunu gösteren r^2 ve RSS değerleri de verilmiştir. Herbir değişken için uygun semivariogram seçiminde öncelikli olarak deneysel semivariogram değerlerindeki süreklilik izlenmiştir. Bundan sonra ise en yüksek r^2 ve en düşük RSS değerine dikkat edilerek uygun model seçilmiştir.

Çalışma alanında açılan 31 adet toprak profil ve profillerin etrafında 5 ayrı noktada tanımlanan A, B_w ve C horizonlarından alınan toprak örneklerinin mesafeye bağlı değişkenliklerine ait modeller ve model parametreleri ile krigleme sonucu oluşturulan haritalar verilmiştir. Çalışmamızda herbir toprak özelliği ayrı ayrı ele alınmıştır.

4.1.11.1 Jeostatistiksel Modelleme Sonuçları

Çalışma alanının toprak özelliklerine ilişkin jeostatistik analiz sonuçları Çizelge 4.27'de verilmiştir. Toprak özelliklerine ilişkin yapılan uzaysal değişkenliğin jeostatistiksel analizi sonuçlarına göre, toprak özellikleri için çoğunlukla en uygun teorik model Gaussian model olarak belirlenirken, birkaç özellik için küresel ve üssel model belirlenmiştir. A horizonuna ilişkin modellerde çoğunlukla nugget değeri düşük bulunmuştur. Bu sonuç, birbirine yakın mesafede bulunan noktalar arasında benzerliğin fazla olduğunu göstermektedir. Ancak B_w ve C horizonlarına ilişkin TOM, D_b, pH ve K_s hariç toprak özellikleri için yüksek nugget değeri bulunmuştur. Bu sonuç ise, kısa mesafelerde değişkenliğin fazla olduğunu göstermektedir. Deneysel semivariogram grafiklerine göre, toprak özelliklerine ilişkin sill değerinin genel varyans değerinin altında olmasından dolayı çalışma alanında toprak özellikleri için global bir trend olmadığı söylenebilir (Trangmar et al., 1985).

Çizelge 4.27 Horizonlara ilişkin toprak parametrik özelliklerine ait semivariogram modeli, model parametreleri ve çapraz değerlendirme sonuçları

Özellik	Horizon	Model	Nugget (C ₀)	Sill (C ₀ +C)	Range (m)	Nugget Etkisi (%)	R ²	RSS	r ²
TOM (%)	A	Gaussian	0,007	0,046	79,80	1,69	0,86	4,36x10 ⁻⁴	0,82
	B _w	Gaussian	0,158	0,594	74,70	26,50	0,86	0,06	0,70
	C	Gaussian	0,053	0,427	32,90	12,41	0,89	0,03	0,78
Db (g/cm ³)	A	Gaussian	0,009	0,065	41,00	14,00	0,96	2,72 x10 ⁻⁴	0,78
	B _w	Küresel	0,002	0,078	910,00	3,07	0,87	2,75 x10 ⁻⁴	0,90
	C	Gaussian	0,001	0,022	53,60	7,92	0,98	1,26 x10 ⁻⁵	0,86
≠ ÖASİ (%)	A	Gaussian	0,008	0,06	27,70	13,60	0,81	1,65 x10 ⁻³	0,76
	B _w	Gaussian	13,80	53,28	186,00	25,90	0,92	153	0,61
	C	Gaussian	8,20	59,73	68,90	13,70	0,96	177	0,76
CaCO ₃ (%)	A	Gaussian	0,013	0,053	51,90	25,09	0,91	3,43 x10 ⁻⁴	0,69
	B _w	Gaussian	18,80	82,46	103,90	22,79	0,81	1930	0,73
	C	Küresel	30,30	129,2	31,10	23,45	0,79	1784	0,56
EC (µS/cm)	A	Üssel	0,010	0,148	303,00	6,75	0,90	3,71 x10 ⁻³	0,88
	B _w	Gaussian	9000	4740	24,50	189,8	0,80	9,79 x10 ⁻⁵	0,76
	C	Gaussian	7300	3364	10,21	217,00	0,95	5,85 x10 ⁻⁹	0,74
pH	A	Gaussian	0,011	0,047	41,50	234,00	0,84	5,97 x10 ⁻⁴	0,61
	B _w	Küresel	0,014	0,057	342,00	24,50	0,77	9,73 x10 ⁻³	0,65
	C	Gaussian	0,0062	0,048	92,60	12,91	0,97	9,67 x10 ⁻⁵	0,78
Kum (%)	A	Küresel	0,005	0,031	86,90	16,45	0,89	1,71 x10 ⁻⁴	0,76
	B _w	Küresel	9,70	141,5	135,20	6,85	0,88	4728	0,89
	C	Gaussian	6,10	228,4	95,90	2,67	0,98	1232	0,93
Kil (%)	A	Gaussian	0,0001	0,073	27,80	0,13	0,92	1,06 x10 ⁻⁶	0,97
	B _w	Üssel	64,00	394,6	251,4	16,2	0,92	1257	0,84
	C	Gaussian	4,00	495,4	86,42	0,80	0,98	5,23	0,98
Silt (%)	A	Gaussian	0,003	0,051	23,50	6,27	0,91	5,14 x10 ⁻⁴	0,92
	B _w	Üssel	50,20	225,00	252,30	22,30	0,91	4118	0,77
	C	Gaussian	15,70	241,10	53,30	6,51	0,99	146	0,90
AS (%)	A	Gaussian	0,0001	0,05	3,98	0,20	0,52	3,19 x10 ⁻³	0,67
	B _w	Gaussian	2,11	7,29	672,00	1,53	0,67	14,9	0,37
	C	Gaussian	0,50	5,090	120,03	9,82	0,91	0,92	0,83
TK (%)	A	Küresel	0,012	0,044	663,00	27,20	0,60	3,33 x10 ⁻⁴	0,62
	B _w	Gaussian	13,90	30,69	35,80	45,20	0,75	11,8	0,49
	C	Üssel	12,60	48,26	330,00	26,10	0,85	347	0,61
SN (%)	A	Küresel	0,009	0,074	603,20	12,20	0,86	3,71 x10 ⁻⁴	0,64
	B _w	Üssel	3,80	48,60	559,80	8,68	0,49	793	0,63
	C	Gaussian	7,92	33,30	26,30	23,70	0,86	202	0,54
BYSİ (%)	A	Küresel	0,017	0,042	276,00	41,60	0,46	8,85 x10 ⁻⁴	0,50
	B _w	Gaussian	8,40	41,18	108,70	20,39	0,51	827	0,45
	C	Üssel	11,20	47,42	270,00	23,60	0,95	18,5	0,65
Ks (cm/s)	A	Gaussian	0,007	0,037	30,65	19,70	0,92	1,67 x10 ⁻⁴	0,67
	B _w	Gaussian	0,489	3,15	152,7	15,50	0,81	2,75	0,64
	C	Küresel	0,70	6,41	86,60	10,90	0,73	21,0	0,76
KDK(meq/100gr)	A	Gaussian	0,0001	0,068	27,30	0,14	0,91	9,08 x10 ⁻⁴	0,97
	B _w	Üssel	14,50	104,5	263,70	13,8	0,96	438	0,85
	C	Gaussian	1,80	150,9	106,80	1,19	0,98	239	0,97
İH(cms ⁻¹)	A	Gaussian	0,029	0,067	28,00	43,20	0,84	5,67 x10 ⁻⁴	0,68
Sorptivite (cms ^{-0,5})	A	Gaussian	0,068	0,036	28,05	18,80	0,79	4,69 x10 ⁻⁴	0,69

TOM: Toprak Organik Maddesi, D_b: Hacim Ağırlığı, #: Örnekleme anındaki su içeriği, AS: Agregat Stabilitesi, TK: Tarla Kapasitesi, SN: Solma Noktası, BYSİ: Bitkiye Yararlı Su İçeriği, K_s: Doymuş Hidrolik İletkenlik, KDK: Katyon Değişim Kapasitesi, İH: İnfiltrasyon Hızı, RSS: Hata Kareler Toplamı. R²: Determinasyon Katsayısı, r: Çapraz Değerlendirme Korelasyon Katsayısı. .

Toprak örnekleri arasında uzaysal bağımlılığın mesafesi yani jeostatistiksel range değeri, en uzun A horizonunda TK için (663 m), B_w horizonunda D_b için (910 m) ve C horizonunda BYSİ (270 m) için, en kısa A horizonunda AS (3,98 m) için, B_w horizonunda EC (24,5 m) için ve C horizonunda SN için (26,3) bulunmuştur. Erşahin (1999), yaptığı bir çalışmada en kısa range mesafesini kil içeriği ve yarayıslı nem için, en uzun range mesafesini ise KDK için bulunduğunu belirtmiştir. Tepe-eğim ölçeğinde toprak su karakteristiklerinin uzaysal dağılımını belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada araştırmacılar otokorelasyon analizini kullanmışlar ve çalışma alanında nem içeriği için örnekleme aralığını 10 m'den daha küçük seçilmesini önermişlerdir (Greminger et al., 1985). Toprak kimyasal özellikleri için jeostatistiksel range değerlerine bakıldığında TOM; toprak fiziksel özellikleri için TK, SN, BYSİ hariç, A horizonundan B_w horizonuna doğru uzaysal bağımlılığın mesafesi artarken, B_w horizonunda C horizonuna doğru derinlikle beraber uzaysal bağımlılığın mesafesi azalmıştır. Burada dikkat çeken husus B_w horizonunda toprak özelliklerinin A ve C horizonuna göre daha uzun mesafelerde uzaysal bağımlılık göstermesidir. Farklı toprak özelliklerinin değişkenliğine farklı süreçler etkili olduğundan toprak özelliklerinin uzaysal değişkenliği de farklı olabilir. B_w horizonunun birikme horizonu olmasından dolayı burada meydana gelen süreçler farklıdır ve meydana gelen değişkenliğe pulluk katmanının etkisi olabilir. A horizonunda mesafeye bağlı olarak toprak özelliklerindeki değişkenliğin, tarımsal kaynaklı ve farklı amenajman uygulamalarından kaynaklandığı söylenebilir. Toprak özelliklerine ilişkin uzaysal değişkenliğin araştırıldığı diğer çalışmalar da bizim çalışmamızdan çıkarılan yorumu destekler niteliktedir (Budak, 2012; West et al., 1989; Yost et al., 1982). Topografik pozisyonlarda toprak özelliklerinin uzaysal dağılımının incelendiği bir çalışmada (Brubaker et al., 1989), araştırmacılar topografik pozisyonlarda toprak özelliklerinin değişiminin çok kısa mesafelerde olduğunu ve çalışma alanında pH için 42-m, ortalama toprak örnekleme aralığını ise 65-m olarak bulmuşlardır. Aynı şekilde yapılan bir çalışmada tepe-eğim ölçeğinde KDK'nın uzaysal değişimine bakılmış olup, araştırmacılar KDK için range aralığını 177-233-m arasında olduğunu ifade etmişlerdir (Jones et al., 1994).

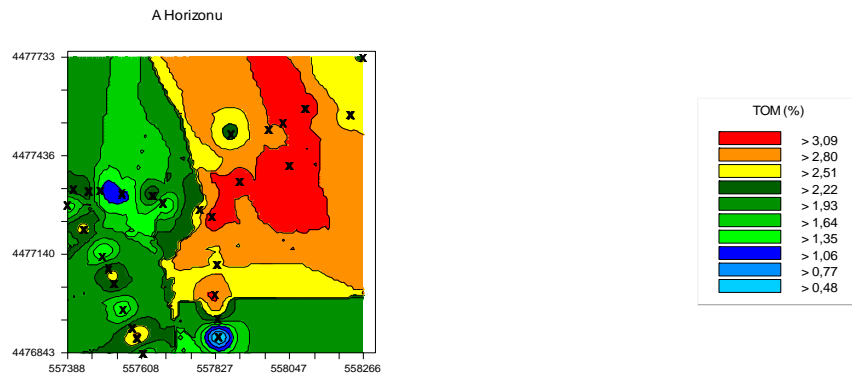
Toprak özelliklerine ilişkin jeostatistiksel modellerin R² değerleri genellikle yüksek ($\geq 0,85$) ve RSS değerleri B_w ve C horizonunda TOM, D_b ve EC hariç diğer özellikler için yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.27). (Cambardella et al., 1994)'a göre yüzde nugget değeri 25'den düşük ise uzaysal bağımlılık kuvvetli, 25-75 arasında orta ve 75'den büyük ise zayıf olarak tanımlanmaktadır. Yapılan modelleme sonucu nugget yüzdeleri A horizonu için pH, TK, BYSİ ve İH hariç, B_w horizon için TOM, EC ve TK hariç, C horizon için EC ve TK hariç 25'in altında yani kuvvetli çıkmıştır. Bu sonuç, çalışma alanında toprak özelliklerine ait uzaysal değişkenliğin

güçlü bir uzaysal bağımlılığa sahip olduğunu göstermektedir. A horizonunda pH'nın nugget değeri 234, B_w ve C horizonunda EC'nin nugget değeri sırasıyla 189,8 ve 217 olup, zayıf derecede uzaysal bağımlılık göstermiştir.

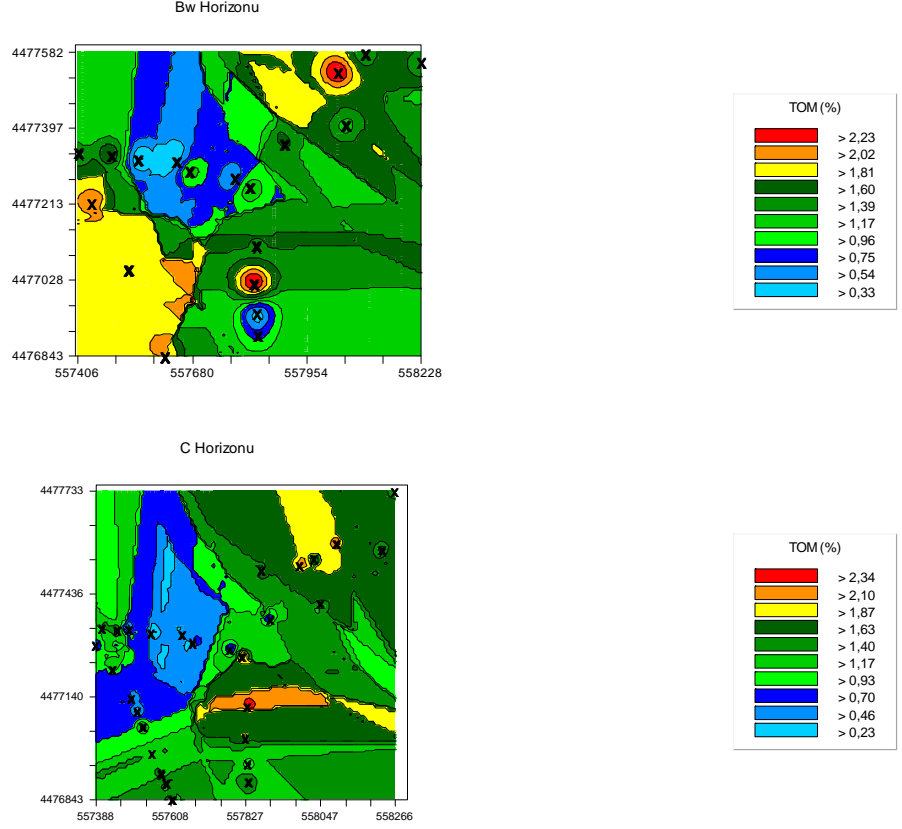
4.1.11.2 Krigleme Sonuçları

Çalışma alanında toprak fiziksel ve kimyasal özellikleri için yapılan jeostatistiksel analiz sonucunda bulunan semivariogram modellerine ilişkin krigleme haritaları yapılmıştır. Çalışma alanında TOM için deneysel semivaryogram modellerine ilişkin oluşturulan krigleme haritaları Şekil 4.33'de verilmiştir.

Krigleme haritasına bakıldığında organik maddenin toprak profilinin üst katmanlarından alt katmanlarına doğru gidildikçe azaldığı görülmektedir. Çalışma alanında organik maddenin orta seviyede olduğu yerler ayak ve parmak eğim bölgelerini kapsamaktadır. Bu alanlar çalışma alanında düzlük ve kuzeybatı bakıya denk gelmektedir. Yapılan çalışmalar gübre uygulamaları ve toprak işleme gibi küçük ölçekli faktörlerin toprak organik maddesinin dağılımını etkilediğini göstermektedir (Hu et al., 2005) TOM'un B_w horizonunda uzaysal bağımlılığın orta derecede olması, bu horizona mesafe ile açıklanamayan değişkenlik veya B_w horizonunun çalışma alanında açılan profillerin bazılarında olmaması sebebiyle daha az sayıda veri olmasından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Çalışma alanında toprak organik maddesi horizonlara göre düzensiz bir dağılım göstermektedir. Bu şekilde bir dağılım beklenen bir durumdur, çünkü klasik istatistik sonuçları da organik maddenin A, B_w ve C horizonunda farklı olduğunu göstermiştir.

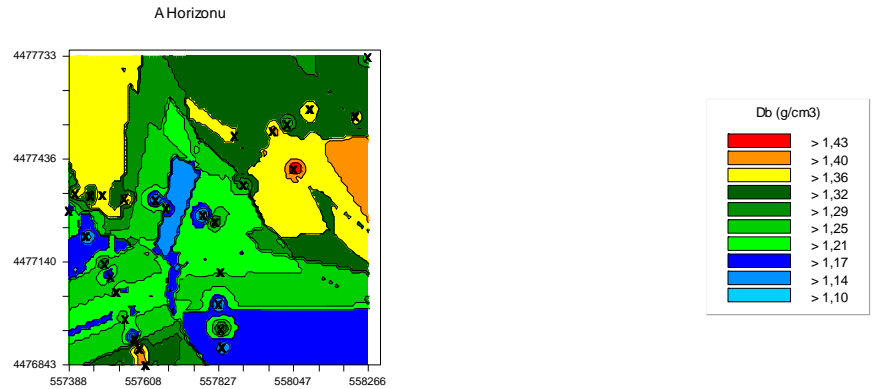


Şekil 4.33 Çalışma alanında toprak organik maddesinin (TOM) A, B_w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni

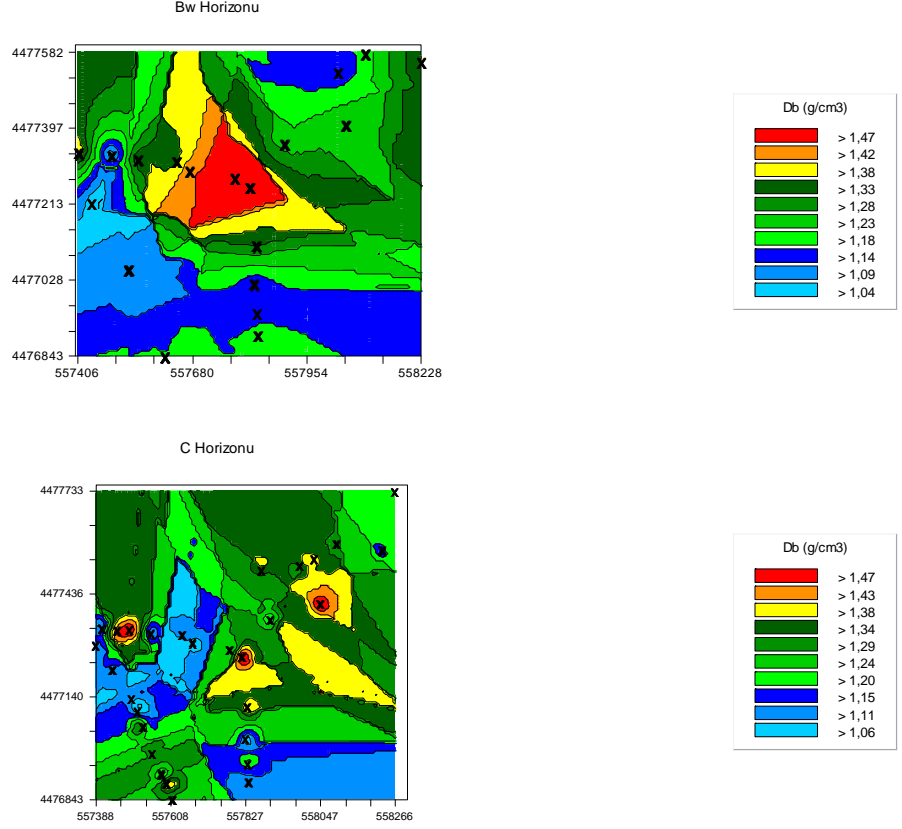


Şekil 4.33 (Devamı) Çalışma alanında toprak organik maddesinin (TOM) A, B_w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni

Çalışma alanında hacim ağırlığına ilişkin A, B_w ve C horizonu için oluşturulan krigleme haritaları Şekil 4.34’de verilmiştir. Çalışma alanında derinlikle beraber hacim ağırlığının arttığı görülmüştür. Bunun nedeninin sıkışmadan kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Aynı zamanda elde edilen krigleme haritalarında hacim ağırlığı değişiminin B_w horizonu ile C horizonunda birbirine benzer olduğu görülmektedir (Şekil 4.34).



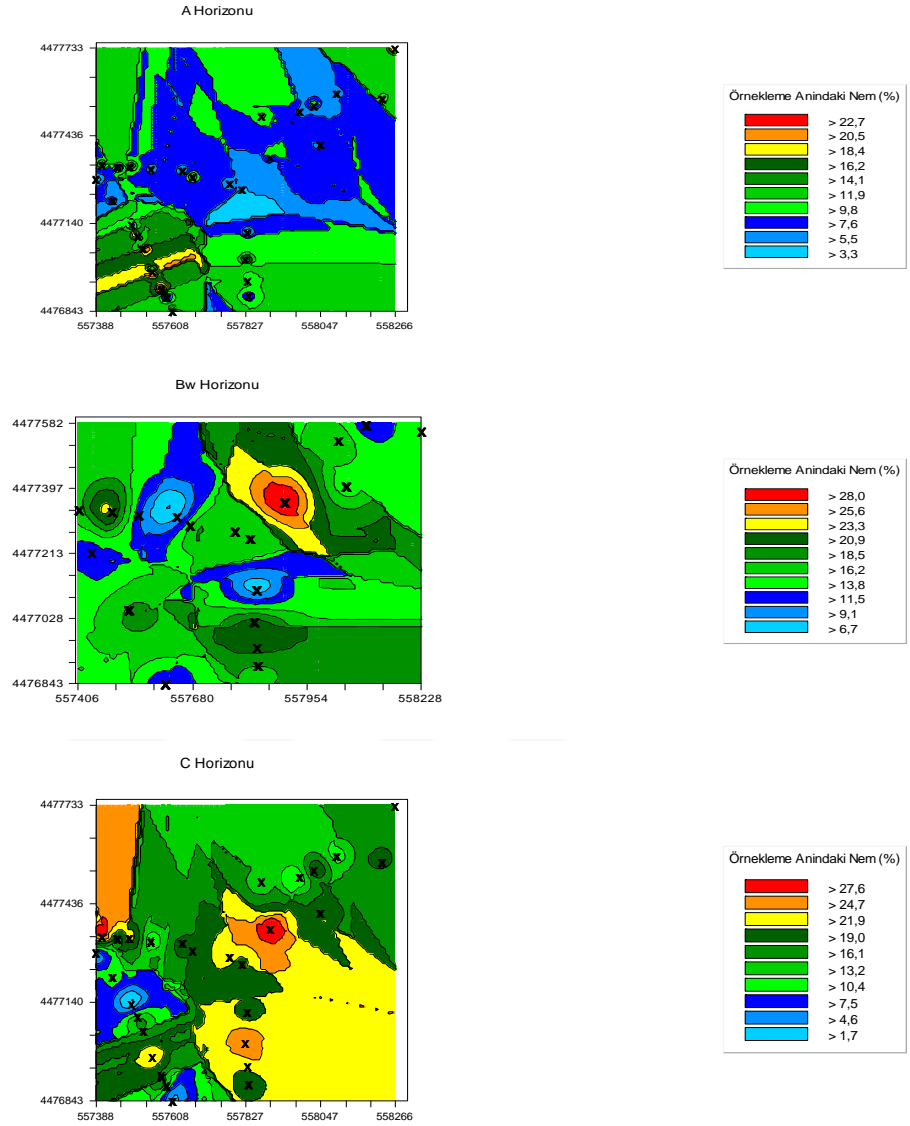
Şekil 4.34 Çalışma alanında hacim ağırlığının A, B_w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni



Şekil 4.34 (Devamı) Çalışma alanında hacim ağırlığının A, B_w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni

Çalışma alanında örnekleme esnasındaki toprak-su içeriği için deneysel semivariogram modellerine ilişkin krigleme haritaları Şekil 4.35’de verilmiştir. Buna göre örnekleme esnasında toprak su içeriğinin uzaysal değişkenliğinin her üç horizonunda da farklı olduğu anlaşılmaktadır. Buradan A, B_w ve C horizonunda toprak suyunun değişkenliğinin farklı uzaysal yapıya sahip faktörler tarafından kontrol edildiği sonucu çıkarılabilir

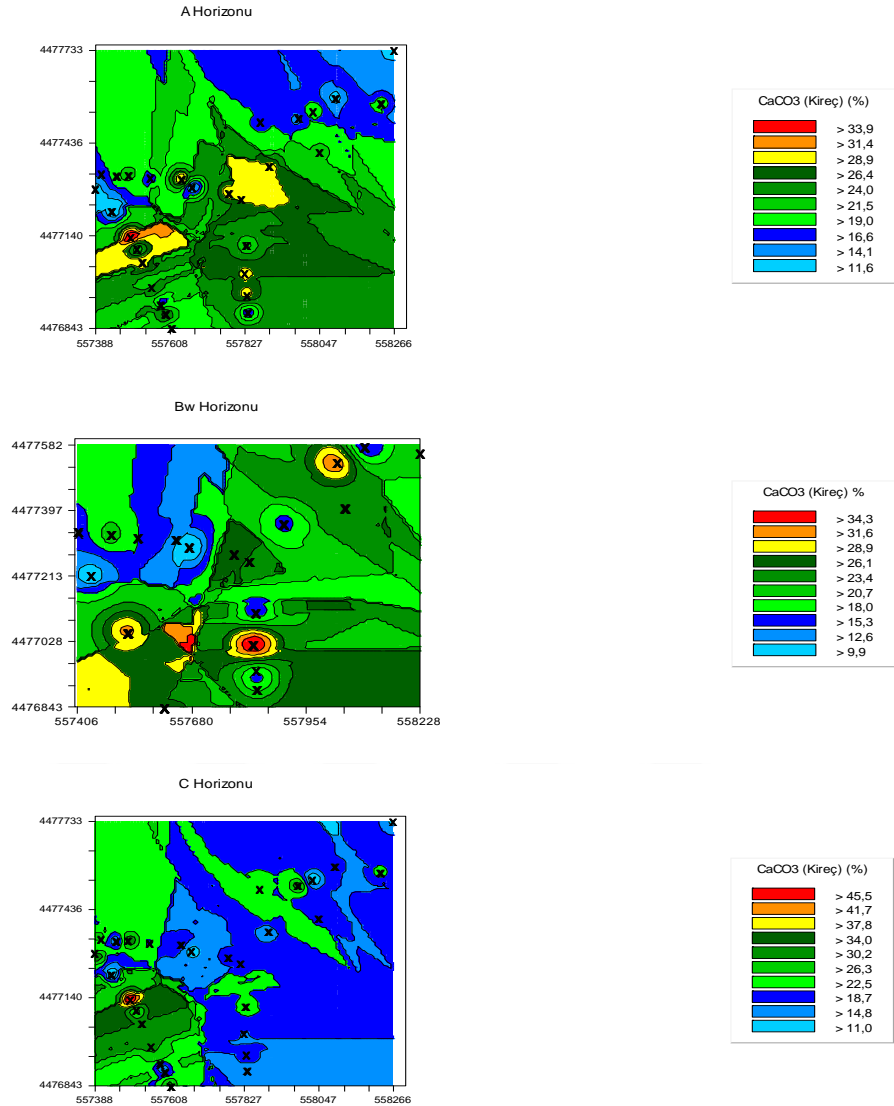
Topografya rüzgarın dağılımı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Rüzgar taşınmayı dolayısıyla hidrolojik süreçlerin değişkenliğinde ve erozyonda büyük bir rol oynar. Rüzgar mevsimsel olarak büyük kar dalgalanmalarına yol açarak toprak neminin uzaysal dağılımı üzerinde oldukça etkili olabilmektedir (Lin et al., 2006a). Tepe-eğim topografyasında güneş ışınları ve rüzgardaki bu değişkenlik toprak neminin yeniden dağılımı ile belirlenen mikro iklimler oluşturarak etkili ve yüksek değişkenliklere neden olur. Bu değişkenlik bütün mikroiklimlerde meydana gelen benzersiz hidrolojik süreçlerin varlığına işaret etmektedir (Zhou et al., 2008).



Şekil 4.35 Çalışma alanında örnekleme esnasındaki toprak su içeriğinin A, B_w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni

Yarı-kurak bölge topraklarında kireç genelde kalsit (CaCO_3) veya dolomit ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) şeklinde bulunmaktadır (Leytem and Mikkelsen, 2005). Deneysel semivaryogram sonucu horizonlar için oluşturulan krigleme haritalarında kireç miktarının A horizonundan C horizonuna doğru arttığı açık bir şekilde görülmektedir (Şekil 4.36). B_w horizonu kireç miktarında doğudan batıya bir azalma varken, C horizonunda batıdan doğuya doğru bir azalma olduğu görülmektedir. Haritada dikkati çeken bir husus da C horizonunda 8A nolu profili kapsayacak şekilde bir kireç hattının varlığıdır. Çalışma alanındaki toprak oluşumun karmaşık olması kireç içeriğine ilişkin uzaysal yapının horizonlar arasındaki farklılıklarının yorumlanmasını zorlaştırmaktadır. Örneğin, farklı tepe eğim pozisyonlarında kirecin yıkanma ve birikmesini kontrol eden süreçlerin uzaysal

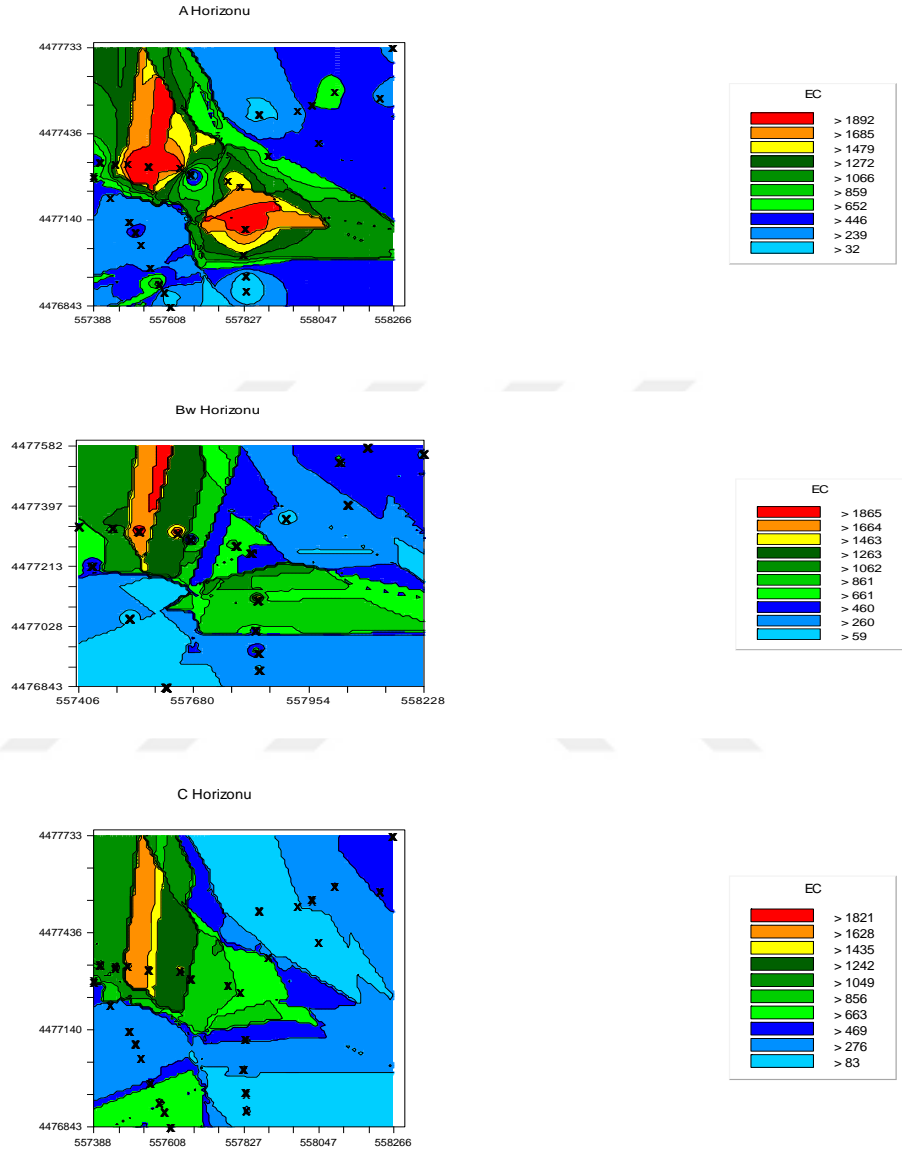
değişkenliği oldukça farklıdır. Bu aynı zamanda kirecin farklı derinliklerdeki uzaysal değişim deseninin de farklı olmasını sonuçlar.



Şekil 4.36 Çalışma alanında toprakların CaCO₃ içeriğinin A, B_w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni

Elektriksel iletkenlik toprak tuzluluğunun önemli göstergesidir. Çalışma alanında yağışların düşük ve drenajın çok zayıf olması nedeniyle kalsik ve jipsik horizonun varlığı bu katmanda tuzluluğa neden olan etmenlerdendir. Ancak çalışma alanında tuzluluk sorunu bulunmamaktadır. Yağışa bağlı yıkanma fazla olmadığı halde tuzluluk sorununun olmaması doğal drenaj sisteminin yeterli olması ile açıklanabilir.

Nokta krigleme sonucu elde edilen krigleme haritasına göre yüzey topraklarında (A horizonu) tuzluluğun en fazla kuzey bakıda bulunan 20 nolu profilin çevresi ve doğu bakıda bulunan 12-13 numaralı profillerin çevresinde olduğu görülmektedir (Şekil 4.37) (Murray, 1964).



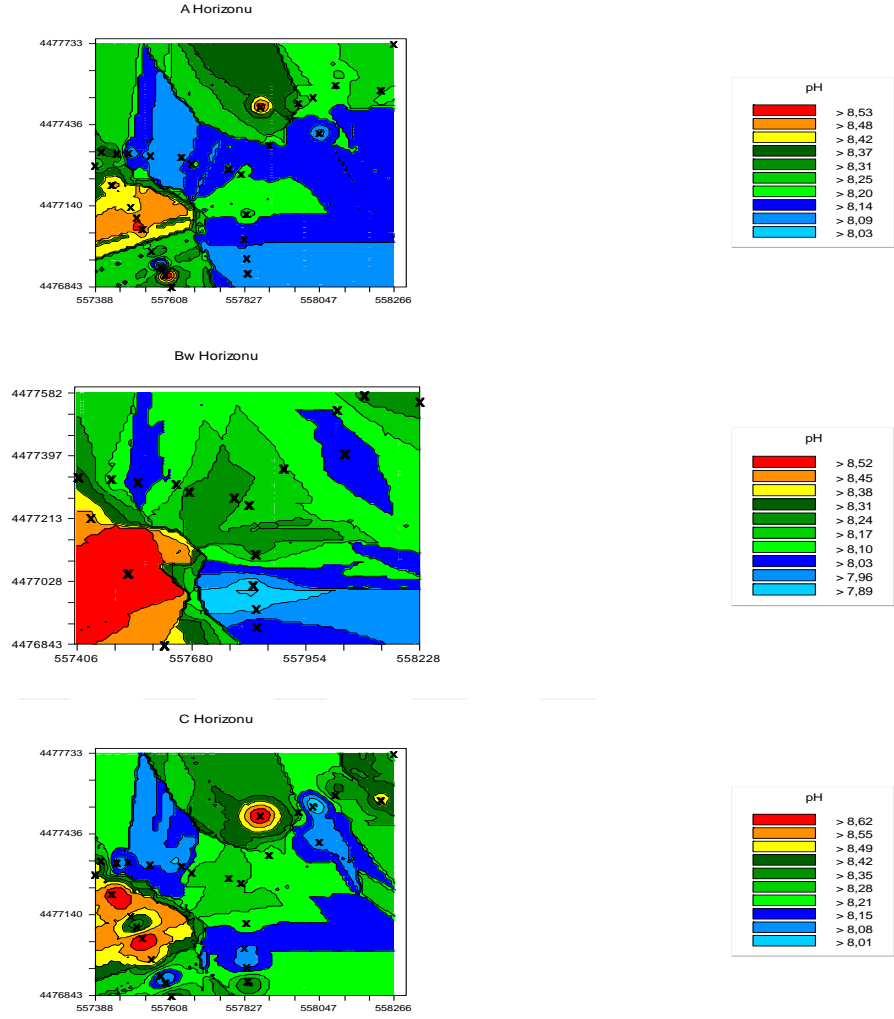
Şekil 4.37 Çalışma alanında toprakların EC içeriğinin A, B_w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni

Burada dikkati çeken bir husus 13 ve 20 nolu profillerin A, B_w ve C horizonlarında EC dağılımlarının benzer olduğudur. Çalışma alanında açılan 13 nolu profilin tamamen beyaz-gri renkte olduğu dikkati çekmiş olup, bunun jipsik anamateryalden kaynaklandığı söylenebilir. Jipsin doğada yaygın olarak kalsiyum sülfat formunda bulunduğu, belirli bir derinliğe kadar kararlılığını koruyabildiği ve bu derinlikten sonra anhidrite dönüştüğü bildirilmiştir. Aynı

zamanda anhidritin daha sonra yüzeye çıkması durumunda yüzey sularının nedeni ile tekrar jipse dönüşebildiği de belirtilmiştir

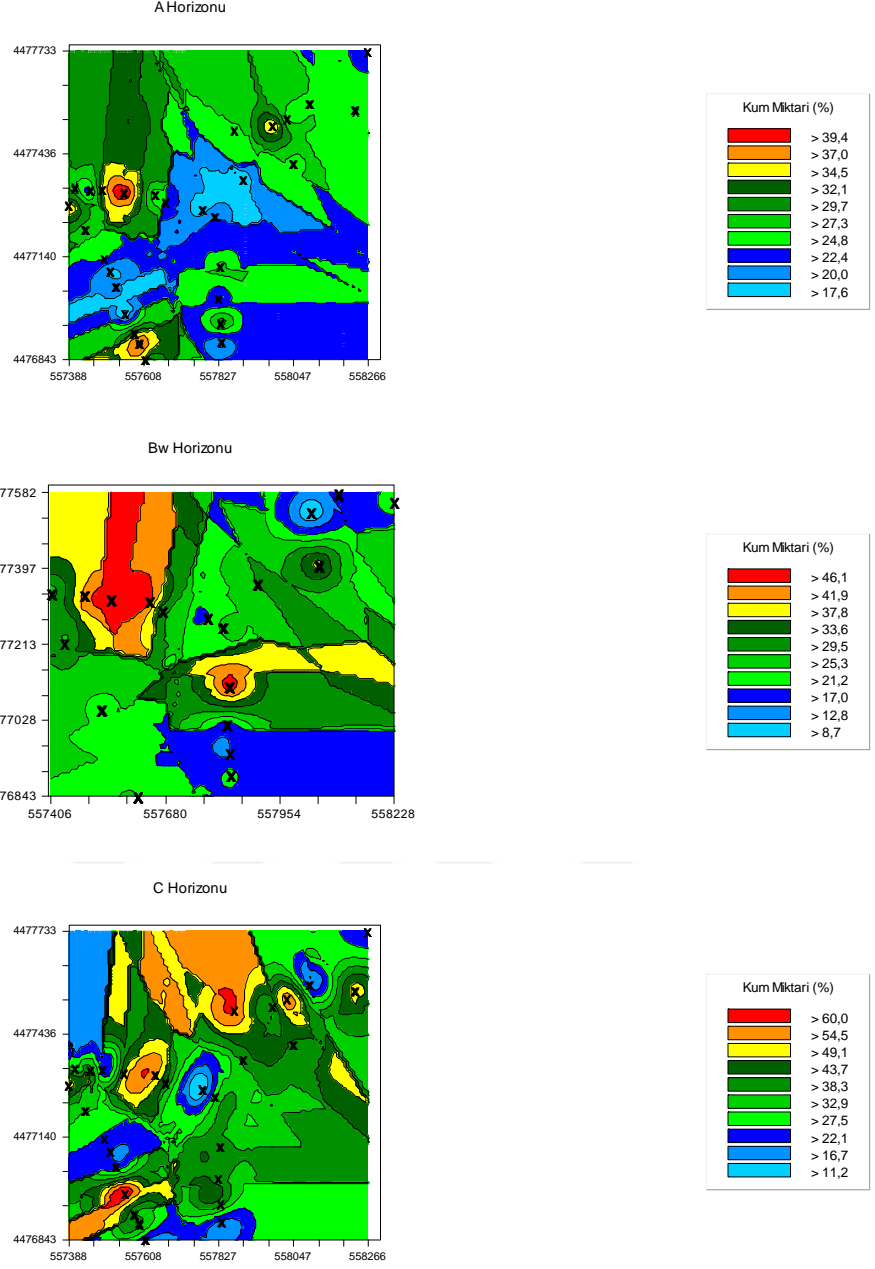
Toprak pH'sının alandaki değişimini gösteren krigleme haritaları Şekil 4.38'de verilmiştir. Çalışma alanı toprak pH'sı ortalama 8,2-8,3 civarındadır. Elde edilen tahmin haritalarına göre en yüksek pH 6-7-8-9-10 numaralı profillerin bulunduğu güneydoğu bakıda görülmüştür. Tahmin haritalarına göre 8A numaralı profilin olduğu bölgeler de yüksek pH tahmin edilmiştir. Oluşturulan tahmin haritalarına göre pH içeriğinin C horizonunda en yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Çalışma alanında pH değeri en düşük alanlar arazinin kuzey bakısında yer alan 18-20-21-22-23 nolu profillerin bulunduğu alanlardır. Redoks potansiyelinin düşmesi ile toprak pH'sında önemli değişiklikler olmaktadır. Zayıf ve orta derecede asit topraklarda redüksiyon arttıkça pH değerlerinde bir yükselme olur çünkü okside olmuş maddelerin redüksiyonunda H⁺ iyonları kullanılır. Oysa ki, redükte olmuş maddelerin oksidasyonunda pH'da bir azalma görülür. Alkalın topraklarda redükte edici koşullarda CO₂ ve organik asitlerin mikrobiyal faaliyetleri sonucunda pH'da azalmaya neden olur (Schaetzl and Thompson, 2015). Bizim çalışmamızda da düşük pH toprakta oluşan redoks potansiyeline bağlı olabilir. Nitekim sözü edilen profillerin bulunduğu alanda profilin bir kısmı su ile doludur.

Çalışma alanında pH fazla değişkenlik göstermemiştir. Toprak pH'sında az da olsa meydana gelen bu değişkenlik, bitkisel üretim yapılan bazı alanlarda gübrelemenin yapılması ve kireçli ana materyalden kaynaklanmış olabilir. Kireçli topraklarda pH, CaCO₃'ün çözünürlüğü ve CO₂'nin kısmi basıncı tarafından belirlenir ve çoğu kireçli topraklarda pH 7.3-8.35 arasında değerler almaktadır (Lindsay, 1984).



Şekil 4.38 Çalışma alanında toprak pH'sının A, B_w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni

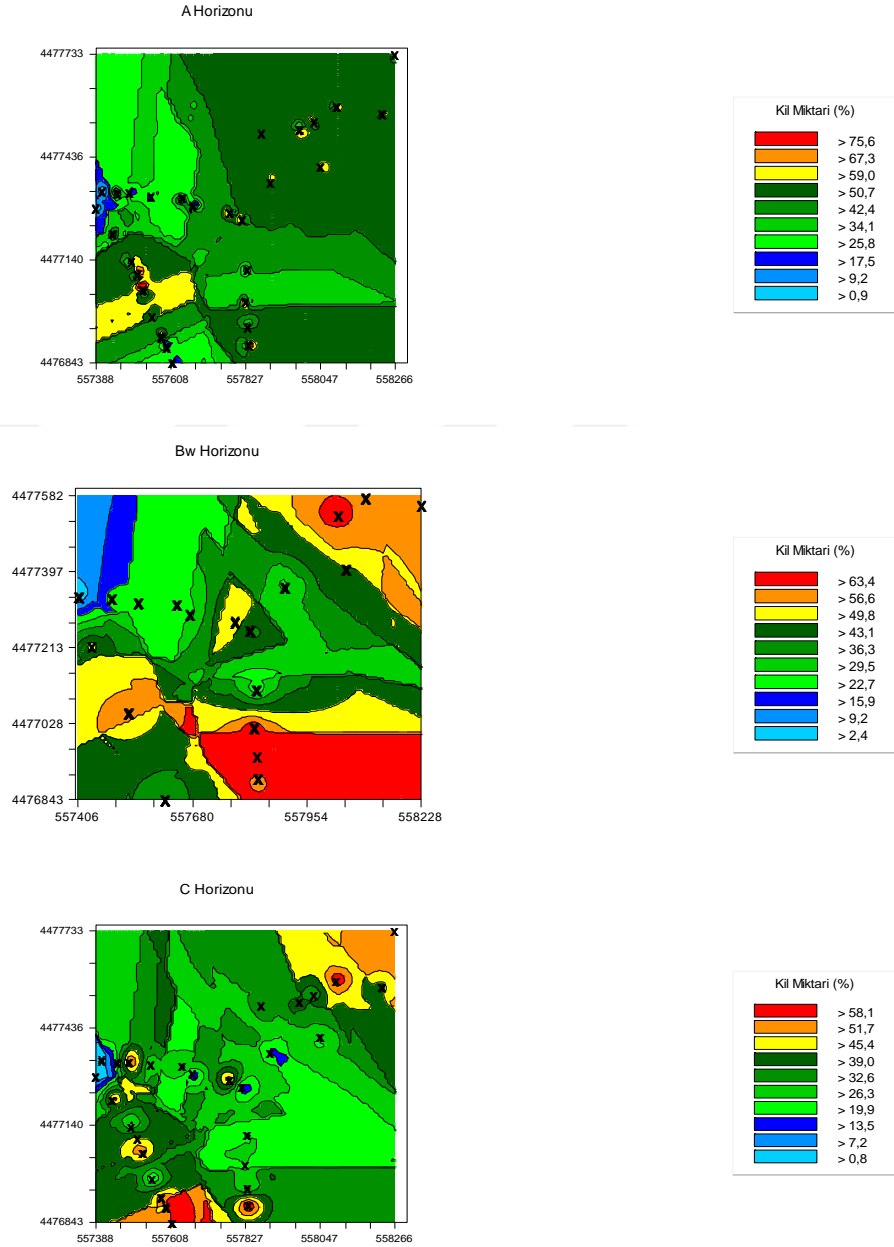
DeneySEL semivaryogram sonucu elde edilen, çalışma alanında kum miktarına ait krigleme haritaları Şekil 4.39'da verilmiştir. Çalışma alanında derinlikle beraber kum miktarının arttığı görülmektedir. Alanda kum miktarının yüksek ve düşük olduğu bölgeler bulunmaktadır. Kum miktarı en yüksek alan 11-12 -13 -14 -15 -7A ve 8A nolu profillerin olduğu doğu bakıyı içine alan bölümdür. Çalışma alanının orta bölümü B_w horizonunda kum miktarının yüksek olduğu lokal bir bölge görülmektedir Dikkati çeken bir husus doğu bakı 11-12-13 nolu profillerin, B_w horizonunda sanki bir hat gibi kum tabakasının varlığıdır. Burada meydana gelen hattın ana materyal kaynaklı olabileceği düşünülmektedir



Şekil 4.39 Çalışma alanında toprakların kum miktarının A, B_w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni

Kum miktarının C horizonunda yüksek olduğu tıpkı B_w horizonundaki gibi lokal bir bölge dikkati çekmektedir. Kum miktarı C horizonunda yama şeklinde dağınık bir dağılım göstermektedir. Aynı zamanda çalışma alanında kumun zirve pozisyonlarında biriktiği ve uzak mesafelere taşınmadığı tahmin haritalarından görülmektedir.

Çalışma alanında kil miktarı için deneysel semivariogram modelleri oluşturulduktan sonra nokta kriging yöntemi kullanılarak çalışma alanında her horizon için kil miktarının değişimlerini gösteren krigeleme haritaları oluşturulmuştur (Şekil 4.40).

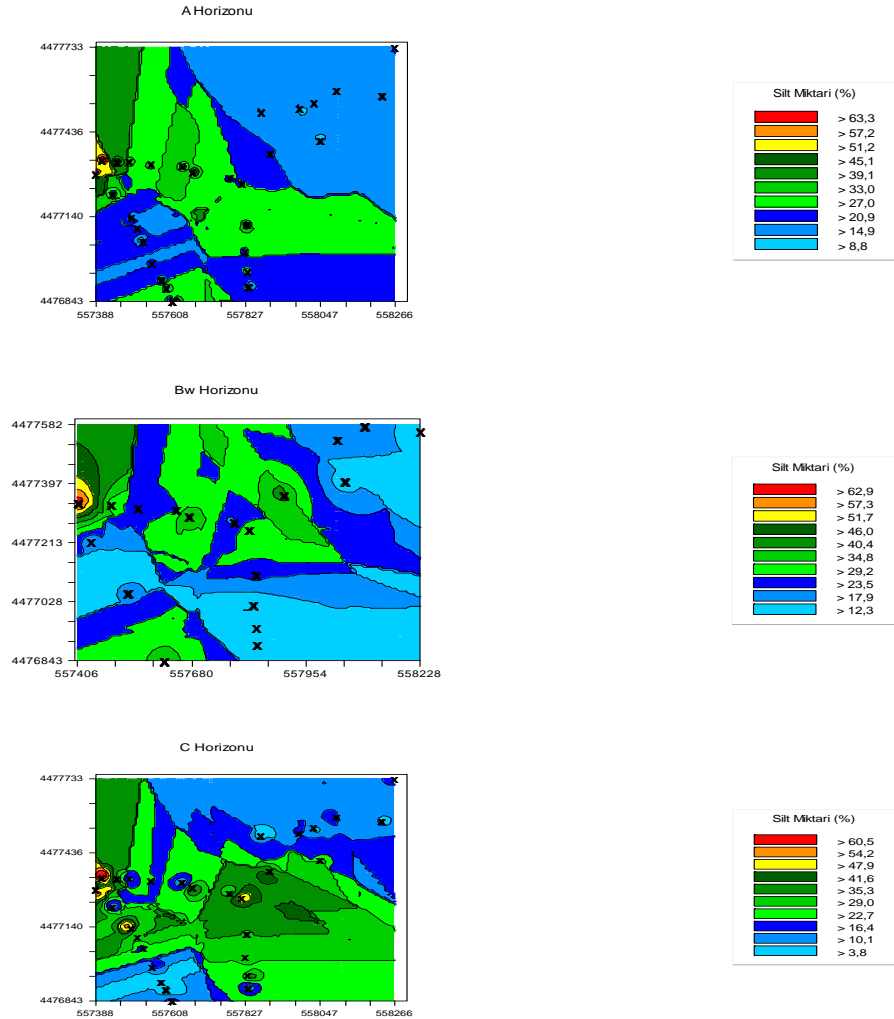


Şekil 4.40 Çalışma alanında toprakların kil miktarının A, B_w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni

Çalışma alanında ortalama kil miktarı %42,5 olup, B_w ve C horizonundaki kil miktarının A horizonundan daha fazla olduğu görülmektedir. Kil miktarının kuzey bakıdan güney bakıya doğru azaldığı ve özellikle 5 numaralı profilin bulunduğu alanda A horizonunda kil miktarının

arttığı dikkati çekmiştir. Bunun nedeninin bu bölgenin parmak eğim olması dolayısıyla kilin yıkanıp burada birikmesinden kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Çalışma alanının orta bölgesi C horizonunda kil miktarının yüksek ve yamalı şekilde dağıldığı görülmektedir (Şekil 4.40). Ayrıca, bütün horizonlar için kum miktarının düşük olduğu lokal bölgelerin, kil miktarının yüksek olduğu lokal bölgeler ile aynı olduğu görülmektedir. Yine bu lokal bölgelerde TOM miktarının da yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4.40).

Nokta kriging yöntemi kullanılarak çalışma alanında horizonlar için silt miktarının değişimlerini gösteren krigeleme haritaları Şekil 4.41’de verilmiştir. Çalışma alanında silt miktarının ortalaması % 26,9’dur.



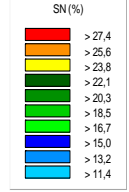
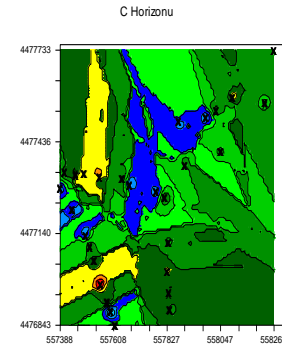
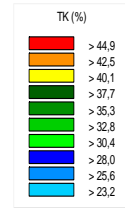
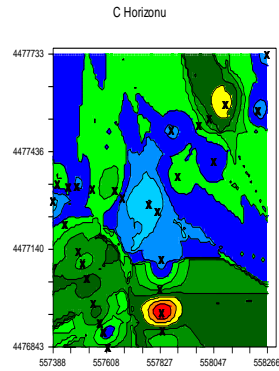
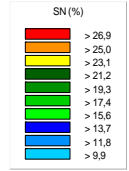
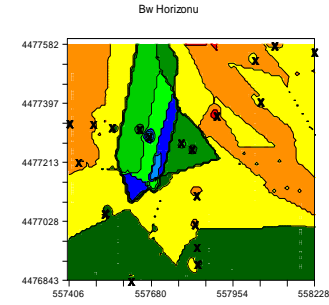
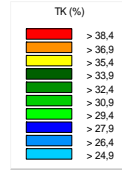
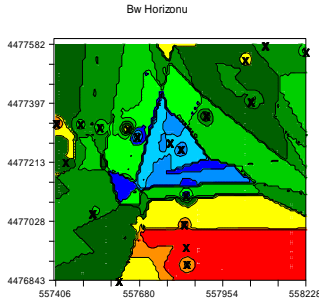
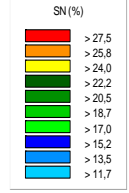
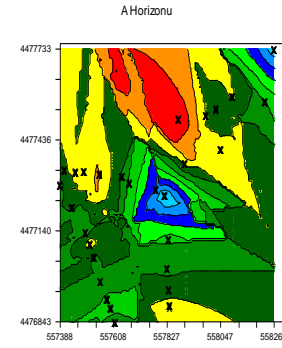
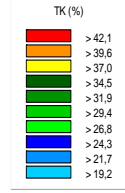
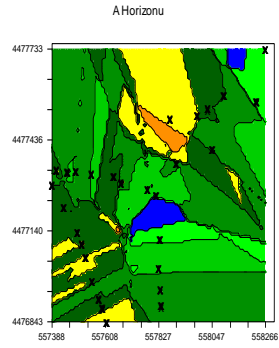
Şekil 4.41 Çalışma alanında toprakların silt miktarının A, B_w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni

Çalışma alanının ortasında bulunan (18 numaralı profil) alanda C horizonun silt miktarının kenarlara doğru gidildikçe azaldığı görülmektedir. Ayrıca krigleme haritalarına göre, güneydoğu bakıda ince üç hattın varlığı ve bu hatlarda silt miktarının çok düşük olduğu dikkati çekmektedir. Bu bölge tepe-eğim pozisyonunun parmak ve ayak eğim pozisyonuna denk gelmesi sebebiyle, ince materyalin sularının etkisi ile taşınıp burada birikmesinden kaynaklanmış olabilir. Genel olarak çalışma alanında silt miktarı çok değişmemekle beraber güneydoğu bakıdan kuzeydoğu bakıya doğru giderek azalmaktadır.

Şekil 4.41'den silt miktarının A ve B_w horizonlarında kum ve kil miktarına göre daha homojen bir dağılım sergilediği görülmektedir. Tıpkı kum ve kilde olduğu gibi, çalışma alanında silt miktarının yüksek olduğu lokal bölgeler dikkati çekmektedir. Tekstür bileşenlerinden en düşük range değeri 23,5 m ile A horizonu silt miktarı ve en yüksek range değeri 252,3 ile B_w horizonu silt miktarındadır. Uzaysal bağımlılık değerlendirilecek olursa en kuvvetli uzaysal bağımlılık A (0,13) ve C (0,80) horizonu kil miktarı için elde edilmiştir. Kum miktarının daha kısa range değeri göstermesinin nedenleri, yamaçlardan yerçekimi, toprak kayması ve yüzeysel akış etkisinde taşınan sedimentlerden kum fraksiyonun daha kısa mesafelerde, silt ve kil fraksiyonlarının ise daha uzun mesafelerde biriktirilmesi olabilir

Çalışma alanında horizonlar için TK ve SN'nin horizonlardaki değişimini gösteren krigleme haritaları Şekil 4.42'de verilmiştir. Çalışma alanında TK ortalaması %32,9 olup, en yüksek ortalama A horizonunda elde edilmiştir. Derinlikle beraber TK ortalaması azalmasına rağmen, uzaysal değişkenlikte böyle bir trend görülmemiştir. TK'nın A horizonunda kuzeybatı bakıdan, kuzeydoğu bakıya gittikçe azaldığı görülmektedir.

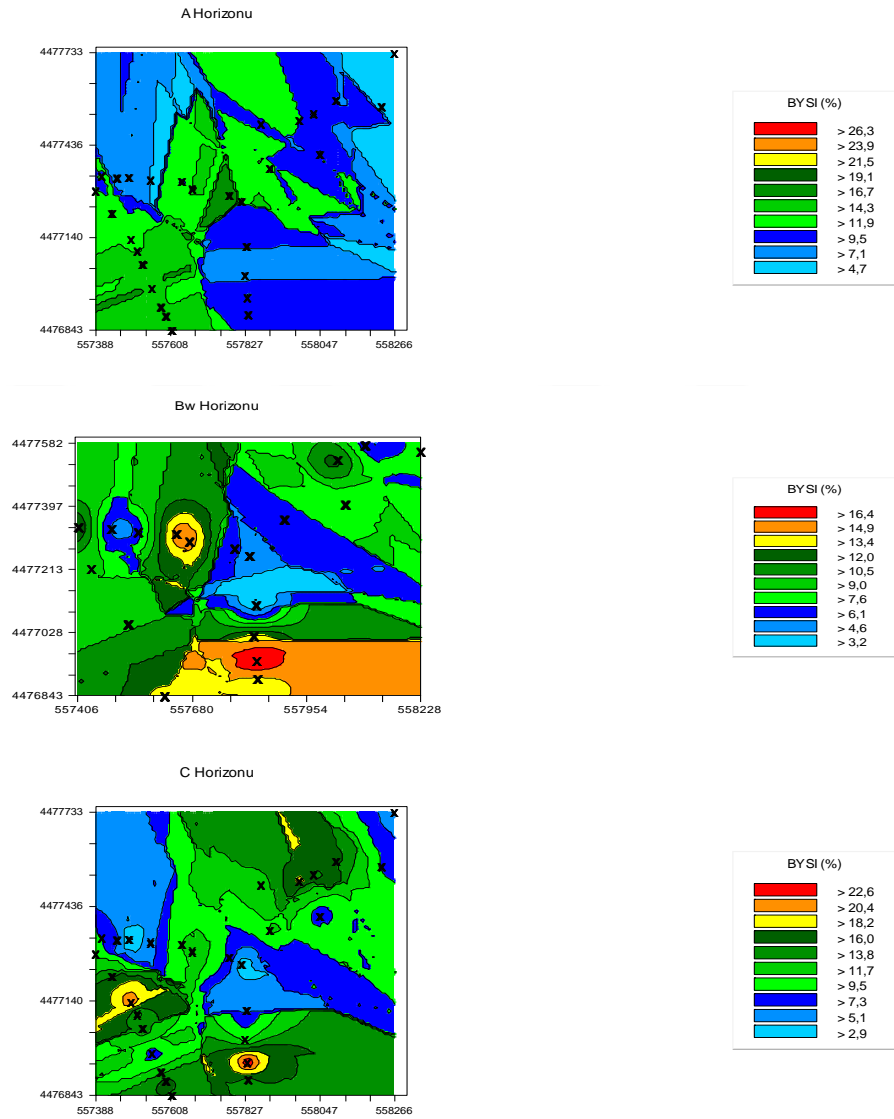
Çalışma alanında SN ortalaması %21,5 olup, en yüksek ortalama B_w horizonunda elde edilmiştir. Tahmin haritasında bu durum açıkça görülmektedir. SN'nin B_w horizonunda yüksek olması bu horizonunda geçirimsiz bir katmanın varlığını kanıtlar niteliktedir. Tahmin haritalarında dikkati çeken bir husus, çalışma alanının ortasında yer alan 17 ve 18 numaralı profillerin etrafında solma noktasının çok düşük değerler alıyor olmasıdır. Bunun nedeni mezo gözeneklilikten kaynaklanıyor olabilir. Çünkü solma noktasında mezo gözenekler tamamen boş iken, tarla kapasitesinde bu gözenekler doludur.



Şekil 4.42 Çalışma alanında tarla kapasitesi ve solma noktası değişimlerinin A, Bw ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni

Solma noktası toprak tekstürünün bir fonksiyonu olmasına rağmen, kil miktarı ile solma noktası için oluşturulan krigleme haritalarına bakıldığında A horizonu için iki özellik arasında net bir ilişki tespit edilememiş olup, B_w horizonunda kil miktarı ile solma noktası arasında ters bir ilişki olduğu görülmektedir

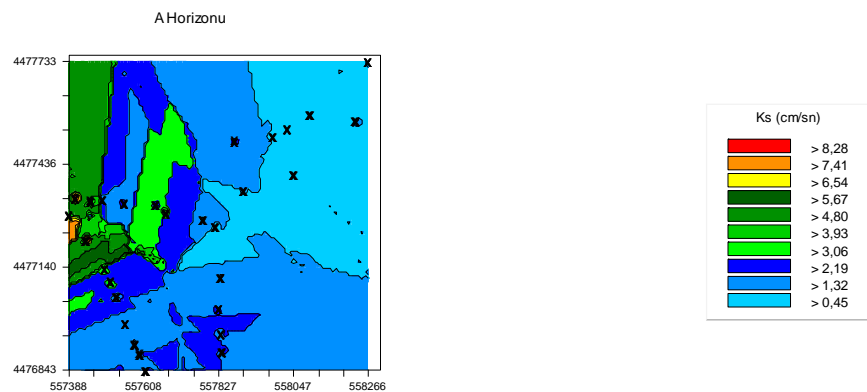
Deneysel semivariogram modelleri oluşturulduktan sonra her horizon için bitkiye yarayışlı su içeriğinin değişimlerini gösteren krigleme haritaları oluşturulmuştur (Şekil 4.43). Çalışma alanında bitkiye yarayışlı su içeriğinin ortalaması %11,36 olup, en yüksek ortalama C horizonunda elde edilmiştir. Krigleme haritasına göre bitkiye yarayışlı su içeriği kuzeydoğu bakıda en düşük değeri almıştır.



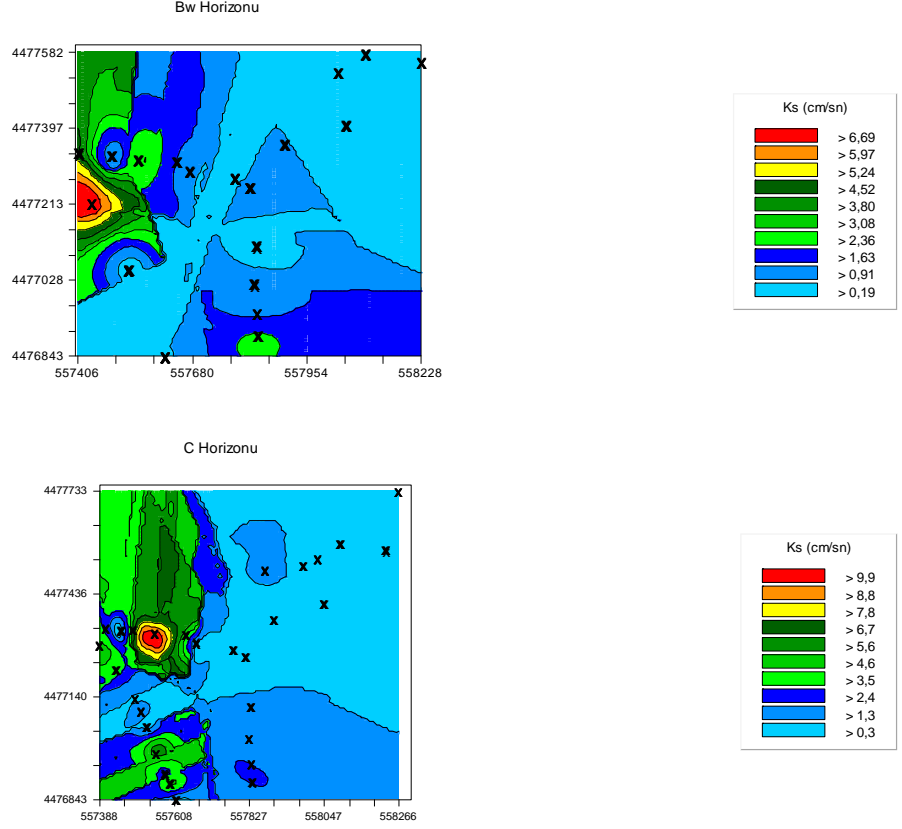
Şekil 4.43 Çalışma alanında toprakların bitkiye yarayışlı su içeriği değişimlerinin A, B_w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni

Çalışma alanında K_s B_w horizonunda daha uzun mesafeli uzaysal bağımlılık göstermektedir. Bu uzun mesafedeki bağımlılığın toprak tekstüründen kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim tekstür bileşenlerinin uzaysal bağımlılığına bakıldığında B_w horizonunda daha yüksek jeostatistiksel range değerleri elde edilmiştir. K_s çalışma alanında silt miktarı fazla olan bakılarda yüksek değerlere ulaşırken kil miktarı yüksek bakılarda düşük bulunmuştur. K_s 'in silt miktarı fazla olan alanlarda yüksek bulunması bu alanlarda mevcut kök ve por geometrisi ile açıklanabilir. Nitekim korelasyon analizinde K_s silt miktarı ile pozitif, kil miktarı ile negatif ilişkili çıkmış olup, kök ve porlar ile olan ilişkisi negatiftir (Çizelge 4.5). Yapılan diğer çalışmalarda K_s için range değeri Sağlam (2008) tarafından 1167 m, Yetgin (2004) tarafından 8,29 m bulunmuştur. Ayrıca jeostatistiksel değerlendirmede ekstrem değerler veri setinden atıldığından, silt değeri K_s için C horizonunda yüksek çıkmıştır

Çalışma alanında K_s ortalaması 2,21 cm/s olup, en yüksek ortalama A horizonunda elde edilmiştir. K_s ortalamasında A horizonundan B_w horizonuna geçişte azalma, C horizonuna geçtiğinde ise bir artma söz konusudur. A horizonunda K_s 'in daha yüksek çıkmasının sebebinin yüzey toprağında bulunan solucan ve kök kanallarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim Iqbal et al. (2005) tarafından yapılan bir çalışmada K_s A horizonunda daha yüksek bulunmuş olup, araştırmacılar bunun nedenini makroporların varlığına bağlamışlardır. Şekil 4.44'e göre kuzeydoğu bakıda K_s düşük iken, TOM yüksek; düz alanda ise TOM yüksek iken, K_s düşük bulunmuştur. Bunun nedeni çalışma alanında tekstürün TOM'a göre, K_s üzerinde daha fazla etkili olmasından kaynaklanmış olabilir. Çalışma alanında kireç miktarı için elde edilen tahmin haritası ile K_s için elde edilen tahmin haritasının birbiri ile ters olduğu dikkati çekmektedir. Nitekim yapılan korelasyon analizinde kireç miktarı ile K_s arasında 0.05 önem seviyesinde negatif ilişki bulunmuştur (Çizelge 4.5).



Şekil 4.44 Çalışma alanında toprakların doymuş hidrolik iletkenliğinin A, B_w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni



Şekil 4.44 (Devamı) Çalışma alanında toprakların doymuş hidrolik iletkenliğinin A, B_w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni

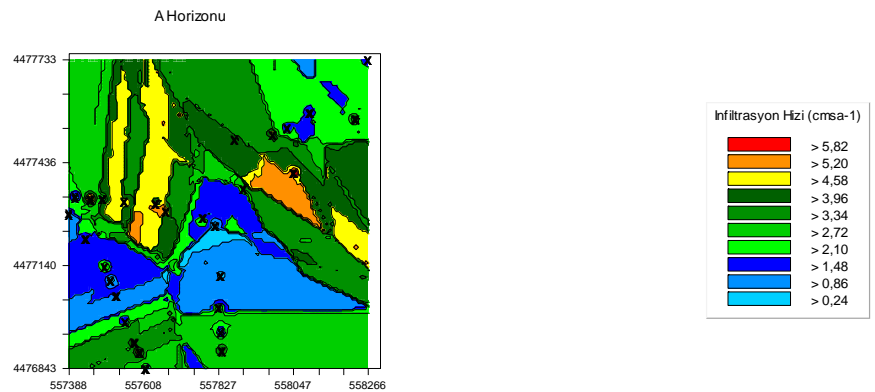
İnfiltrasyon hızını toprağın yüzey özellikleri, başlangıç su içeriği, kil tipi, eğim, hidrolik iletkenlik, tekstür, strüktür ve gözeneklilik gibi özellikler oldukça etkilemektedir. İnce tekstürlü toprakların infiltrasyon hızı düşüktür. Aynı zamanda yağmur damlalarının darbe etkilerini azaltacak bitki artıkları (anız) ve suya dayanıklı agregatların olmaması sebebiyle toprak yüzeyinde oluşan ince geçirimsiz katman infiltrasyon hızını önemli düzeyde düşürebilir. İnfiltrasyon hızının düşmesi ise yüzey akışının artmasına sebep olmaktadır (Erşahin, 2001).

İnfiltrasyon testleri yalnızca yüzey horizonunda yapılmış olup, yüzey toprağının infiltrasyon hızı tartışılmıştır. Deneysel semivariogram modeline göre infiltrasyon hızının A horizonunda 28 m’de jeostatistiksel range değerine ulaşıldığı görülmektedir. Diğer bir ifadeyle, infiltrasyon hızı değerleri çalışma arazisinde her bir 28 m yarıçapındaki dairesel alan içerisinde uzaysal olarak bağımlıdır, yani otokorele olmaktadır. İnfiltrasyon hızı için elde edilen jeostatistiksel range değeri kil ve silt miktarı için elde edilen range değerlerine yakındır.

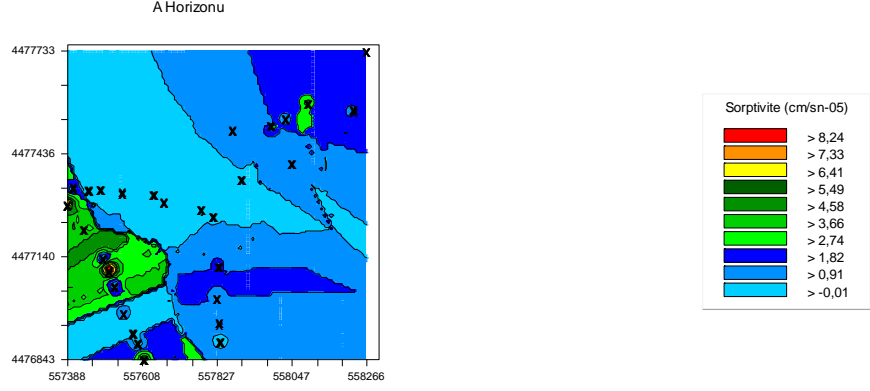
Çalışma alanında infiltrasyon hızı ortalaması $3,35 \text{ cms}^{-1}$ olup, en yüksek ortalama $5,41 \text{ cms}^{-1}$ ile düz alanda elde edilmiştir. Çalışma alanının orta bölümünde infiltrasyon hızının çok düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni topografyanın etkisiyle kilin buraya taşınıp burada birikmesinden kaynaklanmış olabilir. Tahmin haritasına göre kil miktarının yüksek olduğu bazı bölgelerde infiltrasyon hızında yüksek olduğu görülmektedir. Aynı zamanda infiltrasyon hızının düşük olması süreklilik göstermeyen büyük gözeneklerin eksikliği ve büyük gözenekleri tıkayan ince parçacıklarından ortamda olmasından kaynaklanır (Trout, 1992) Nitekim çalışma alanında infiltrasyon hızının düşük olduğu bölgelerde jipsli materyalin varlığı dikkat çekmektedir

Çalışma alanının önemli bir kısmında toprak işleme yapıldığından dolayı büyük gözeneklerin toprak işleme, ve sıkıştırma sebebiyle yok edilmesinden infiltrasyon hızı düşük çıkmış olabilir. Dikkati çeken bir diğer husus, kireç miktarının uzaysal dağılım deseni ile infiltrasyon hızının uzaysal dağılım deseni arasında ters bir ilişkinin varlığıdır. Çalışma alanında infiltrasyon hızı dağılımının uzaysal deseninin homojen olmadığı ve herhangi bir eğilim (trend) bulunmadığı, ancak bazı lokal bölgelerde infiltrasyon hızının yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4.45).

TOM, hacim ağırlığı ve K_s krigleme haritalarına bakıldığında bu toprak özellikleri ile infiltrasyon hızı arasında net bir ilişki tespit edilememiştir. Farklı toprak özelliklerinin uzaysal değişkenliğine farklı süreçler etki ettiğinden bu toprak özelliklerinin deneysel semivaryogram ve uzaysal değişkenliği de farklı olabilir. Nitekim çalışma alanında toprak özellikleri arasında yapılan korelasyon analizi sonucu sözü edilen toprak özellikleri arasında önemli bir ilişki bulunamamıştır Ancak silt miktarı için oluşturulan krigleme haritasına bakıldığında, infiltrasyon hızının uzaysal dağılım deseni ile ters bir ilişki gösterdiği açıkça görülmektedir (Şekil 4.41).



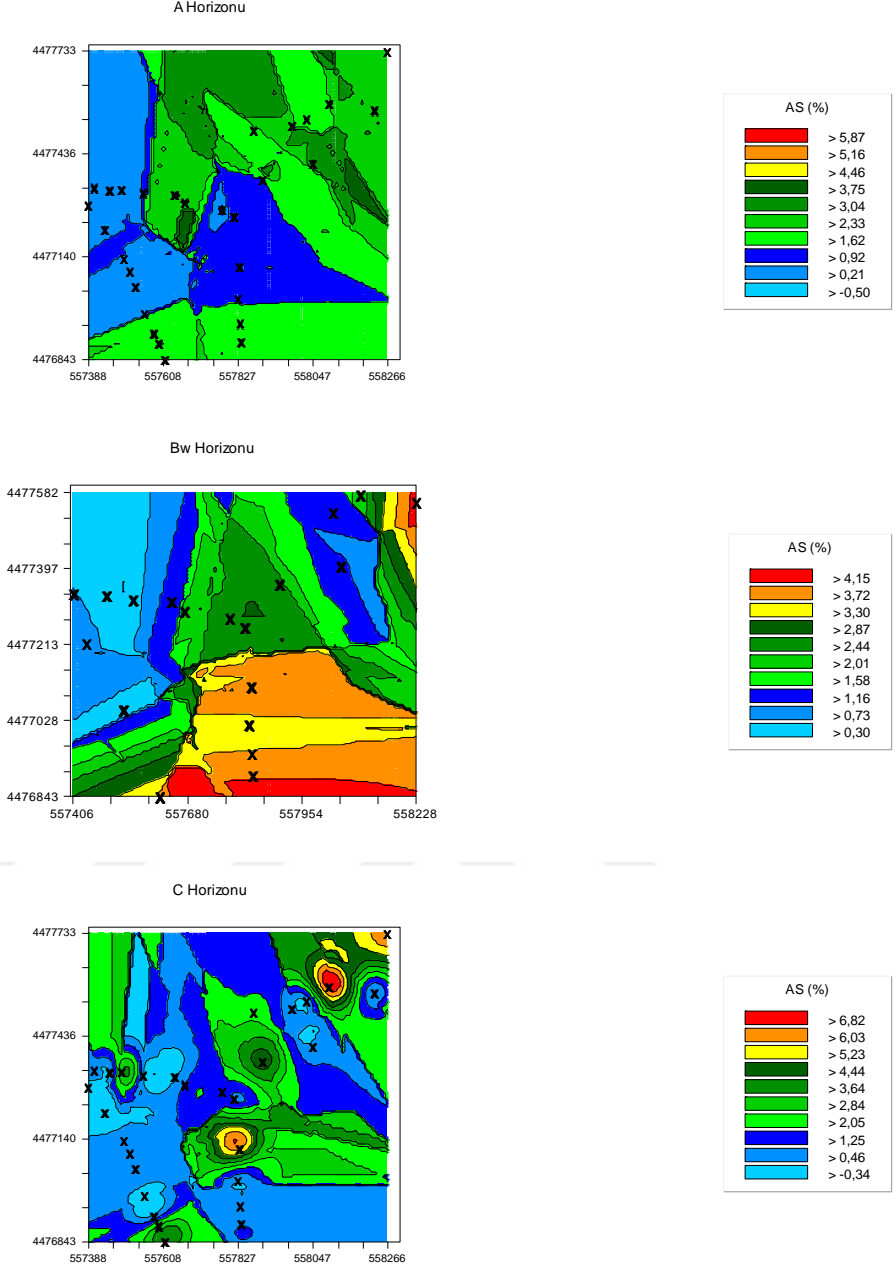
Şekil 4.45 Çalışma alanı topraklarında infiltrasyon hızı A horizonunda uzaysal dağılım deseni



Şekil 4.46 Çalışma alanı topraklarında sorptivitenin A horizonunda uzaysal dağılım deseni

Sorptivite toprağın başlangıçta yer çekimi etkisi ihmal edilebilir olduğunda (matrik kuvvetlerin göreceli olarak çok daha etkin olduğu ilk birkaç dakika), matrik kuvvetlerin etkisi altında toprağın suyu alma hızıdır. Sorptivite üzerinde gözenek büyüklük dağılımı ve tekstür oldukça etkilidir. Sorptivitenin arazide yüksek olması istenir deneysel semivariogram modeline göre A horizonu için 28,05 m range değerine ulaşıldığı görülmektedir. Nokta krigleme yöntemi kullanılarak çalışma alanında sorptivitenin değişimini gösteren tahmin haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.46). Kireç miktarı ve EC için elde edilen haritalar ile sorptivitenin ters, silt miktarı ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Çalışma alanında AS değişimlerini gösteren krigleme haritalarından anlaşıldığı üzere (Şekil 4.47). genellikle AS düşüktür Kil miktarı ve TOM krigleme haritalarına bakıldığında AS'nin uzaysal dağılımının bu özellikler ile benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır. AS ortalaması kuzeydoğu bakıdan güneydoğu bakıya doğru azalmakta olup, bunun nedeninin tekstürdeki farklılıktan kaynaklandığı sanılmaktadır. Jipsin AS'ye olan olumlu etkisinden dolayı B_w horizonunun AS ortalamasında bir artış olduğu görülmektedir. Diğer taraftan kireç miktarının da B_w horizonunda artmış olması, AS'nin yüksek çıkmasına neden olmuş olabilir. AS'nin bu şekilde bir dağılım göstermesi çalışma alanında belirli bölgelerin rüzgar erozyonuna çok hassas olduğunu göstermektedir. B_w horizonuna ilişkin AS dağılımının uzaysal deseninin homojen olmadığı ancak herhangi bir eğiliminde (trend) bulunmadığı görülmektedir (Şekil 4.43). diğer taraftan krigleme haritalarına bakıldığında dikkat çeken bir husus da B_w ve C horizonunda lokal bölgelerde AS'nin yüksek çıkması olup, bu lokal bölgelerin tıpkı kil miktarı ve TOM krigleme haritalarında da görülen noktalar olmasıdır.

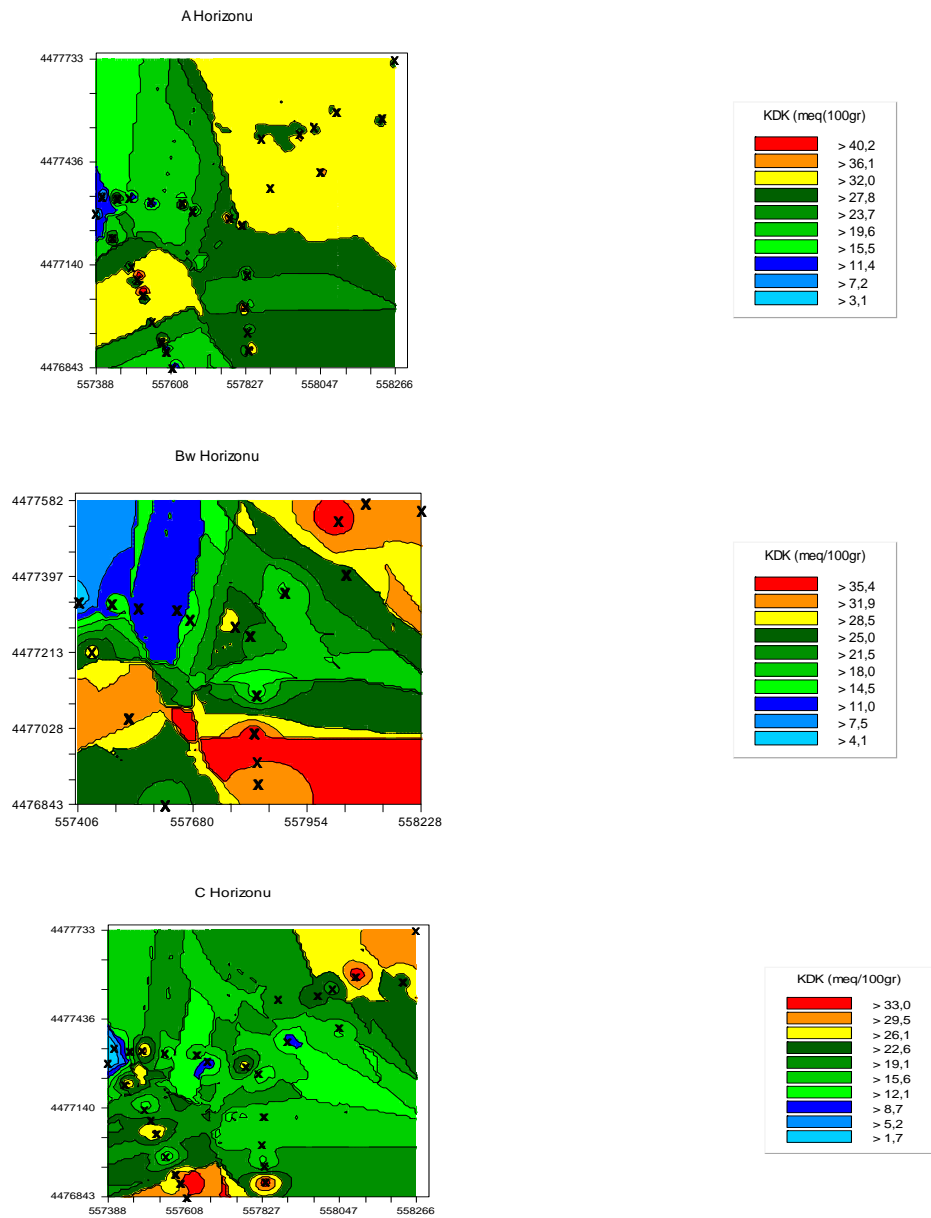


Şekil 4.47 Çalışma alanı topraklarında agregat stabilitesinin A, B_w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni

KDK için oluşturulan semivariogram modellerinde A horizonu için 27,3 m, B_w horizonu için 263,7 m ve C horizonu için 106,8 m jeostatistiksel range değerine ulaşıldığı görülmektedir (Çizelge 4.27). Çalışma alanında KDK, B_w horizonunda uzun mesafelerde bağımlılık göstermekte olup, bu bağımlılığın toprak tekstüründen kaynaklandığı düşünülmektedir. B_w horizonunda toprak tekstürünün, KDK'nın dağılımında TOM'a göre KDK üzerinde daha etkili olduğu düşünülmektedir. Kum miktarı için oluşturulan krigleme haritaları ile KDK için oluşturulan krigleme haritalarının birbirine zıt olduğu açıkça görülmektedir (Şekil 4.39 ve Şekil

4.48) Nitekim korelasyon analizine göre kum miktarı ve KDK arasında 0.01 önem seviyesinde negatif bir ilişki çıkmıştır.

Krigleme haritalarına göre KDK A ve B_w horizonlarında kireç için elde edilen haritalar ve tüm horizonlarda kil miktarı için elde edilen haritalar ile oldukça benzerdir. Çalışma alanında KDK değeri parmak eğiminde en yüksek olup, bu bölge kil ve kireççe zengindir. Çalışma alanında kuzey bölgede KDK içeriğinin daha yüksek olduğu görülmüş olup, bu bölgeler organik madde ve kil miktarının da yüksek olduğu bölgelerdir. (Şekil 4.48). KDK değerinin A horizonunda daha yüksek çıkması organik maddenin yüksek olması ile ilişkilidir.



Şekil 4.48 Çalışma alanı topraklarında KDK'nın A, B_w ve C horizonunda uzaysal dağılım deseni

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma alanı genel itibariyle bakıldığında tipik tepe-eğim (hillslope) modeline iyi bir örnek teşkil etmektedir. Tepe-eğim modeli geniş arazilerin karakterize edilmesi, arazi kullanımı, yönetimi ve farklı topografik birimler arasında akış ve taşınma süreçlerinin anlaşılmasında araziyi temsil edebilen en küçük birimdir.

Bu çalışmada tipik yarı-kurak özellik gösteren, jips ve kireç depozileri üzerinde yer alan dalgalı bir arazinin hidropedolojisi araştırılmıştır. Bu bağlamda; toprak morfolojik ve parametrik özelliklerinin eğim pozisyonu, bakı ve horizonlar ile ilişkileri ve uzaysal değişkenlikleri incelenerek çalışma alanının hidropedolojisi açıklanmıştır.

Çalışma alanında 5 farklı bakı, 1 adet düzlük; 3 farklı horizon ve 5 farklı eğim pozisyonu bulunmaktadır. Analiz edilen çok sayıda değişken olması sebebiyle, varyasyonu oluşturan tüm faktörlerin dikkate alınması ve elde edilen değişkenlerin bütün yönleri ile değerlendirilebilmesi için çoklu karşılaştırma (multivariable) testleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; *Bakı*, *Horizon*, *Eğim pozisyonu*; *BakıxHorizon*, *BakıxEğim*; *HorizonxEğim*; *BakıxHorizonxEğim Pozisyonunun* toprak parametrik ve morfolojik özelliklerini önemli düzeyde ($P<0.05$) etkilediği görülmüştür.

Çalışma alanında bakılar gözönüne alındığında en fazla değişkenlik; K_s , infiltrasyon hızı, AS, EC, BYSİ, TOM, KDK ve örnekleme anındaki su içeriğindedir. Bakılar arasında toprak parametrik özelliklerinden; pH, K_s ve infiltrasyon hızı; toprak morfolojik özelliklerinden; mottles, konsantrasyon, kök sınıf/boyut/şekil, por sınıf/boyut/şekil ortalamaları arasında 0,05 seviyesinde önemli bir fark görülmektedir. Kuzey ve güney bakılar güneş ışınları, nem ve rüzgar gibi farklılıklardan dolayı farklı mikro-iklime sahiptirler ve dolayısıyla farklı toprak oluşumunu sonuçlamaktadır. Toprak morfolojik özelliklerindeki bu farklar da muhtemelen toprak suyunun hareketi, iklim ve ana materyalden kaynaklanmıştır. Çalışma alanı topografyası, yağış ve toprak morfolojisindeki yerel değişkenliği etkilediğinden toprak oluşumu ve hidrolojik süreçler arasında karşılıklı bir etkileşime neden olmuştur. Bunun sonucunda kuzey bakılar daha nemli mikro ortamı teşkil ederken, güney bakılar güneşe daha fazla maruz kaldığından nispeten yüksek buharlaşma olan mikro ortamı oluşturmuşlardır. Bakılar arasında dikkat çeken bir husus, kuzeydoğu bakıda düzensiz gözeneklerin artması sonucu K_s 'de bir azalmanın olmasıdır.

Çalışma alanında 5 farklı eğim pozisyonu bulunmaktadır ve toprak özellikleri için en önemli farklılıklar arka eğim pozisyonunda ortaya çıkmıştır. Bunun nedeni zirve pozisyonundan gelen yüzeyaltı yatay akışların arka pozisyonunda sızıntı şeklinde tekrar toprak yüzeyinde ortaya çıkmasından kaynaklanmış olmasıdır. Aynı zamanda A ve B_w horizonları ara yüzünde bir yatay su hareketinin olabileceği düşünülmektedir. Eğim pozisyonu dikkate alındığında, toprak morfolojik özellikleri her pozisyonunda yüksek derecede değişkenlik göstermiştir. Eğim pozisyonları arasında konsantrasyonlar, kök şekli, por boyut/şekil, hacim ağırlığı, kum miktarı, sorptivite ve infiltrasyon hızı arasında 0,05 seviyesinde önemli bir fark vardır. Tepe-eğim ölçeğinin herbir pozisyonundaki nem farklılıkları, eğim dikliği, eğim şekli ve eğim açısı su hareketini kontrol ederek toprak değişkenliği üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Aynı zamanda hidropedolojik çalışmalarda farklı morfolojik özelliklerin, farklı hidrolojik koşulları temsil ettiği unutulmamalıdır. Bizim çalışmamızda kök-toprak arayüzünde gözlemlenen çok ince gözenekliliğin infiltrasyon hızında etkili olduğu düşünülmektedir. Nitekim çalışmamızda eğim pozisyonlarında artan kil miktarı ile infiltrasyon hızının arttığı tespit edilmiştir. Bunun nedeninin kilin iyi gelişmiş bir mikro-strüktüre sahip olması sonucu oluşan makroporlardan kaynaklandığı sanılmaktadır.

Çalışma alanı topraklarında genelde horizon dizilimi A-B_w-C şeklindedir, ancak A-C ve Ap-B_{w1}-B_{w2}-C şeklindeki profiller de bulunmaktadır. Çalışma alanında açılan bazı profillerde jipsik ve petrojipsik horizonlar tanımlanmıştır. B_w horizonunun alt kısmında geçirimsiz bir katman nedeniyle yüzey akışlarla gelip ped yüzeylerinde görülen kirli beyaz renk benekleri de (jips birikimleri) görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, horizonlara göre incelenen değişkenlerin ortalamaları arasında konsantrasyonlar, kök şekli, por şekli, TOM, örnekleme anındaki su miktarı, kum ile kil miktarı, AS, K_s ve KDK arasında önemli bir fark vardır (P<0.05). Bu farklılığın kaynağı yüzey ve yeraltı su hareketinin sonucunda taşınma ve birikme olaylarıdır. Hidropedolojik çalışmalarda altta yatan pedalite ve toprak fiziksel özellikleri, arazinin hidrolojisini yansıtır. Bu sebeple suyun ortalama kalış süresi, taşınma yolları, akış hızı ve diğer hidrolojik süreçler tepe-eğim modelinin toprak yapısının karakterize edilmesinde mutlaka ölçülmelidir.

Faktör analizi sonuçlarına göre, çalışma alanında toprak parametrik ve morfolojik özelliklerindeki toplam değişkenliğin 9 faktöre dolan 26 değişken toplam değişkenliğin %75'ni tanımlamıştır. Topografik özelliklerin faktörler üzerindeki etkisinin ortaya konulması için yapılan çoklu

ANOVA testi ise, *Bakı, Horizon, Eğim Pozisyonu; BakıxHorizon, BakıxEğim; HorizonxEğim; BakıxHorizonxEğim Pozisyonunun* faktörler üzerindeki etkisinin %5 düzeyinde önemli olduğunu göstermiştir. Ayrıca faktör analizleri, parametrik ve morfolojik özelliklerin tek tek ya da birlikte analiz edilmesinin farklı sonuçlar üreteceğini göstermiştir.

Çalışma alanında toprak özelliklerinin uzaysal değişkenliği jeostatistiksel yöntemlerle modellenmiştir. Elde edilen semivaryogram modelleme sonuçları incelenen değişkenler arasında mesafeye bağlı bir değişimin (otokorelasyon) olduğunu, ancak bu değişimin farklı değişkenler için genellenmesinin imkansız olduğunu göstermektedir. Çalışma alanının karmaşık bir topografik yapıya sahip olması nedeniyle toprak özelliklerine ilişkin uzaysal yapının toprak horzionları arasında oldukça farklı olduğu görülmüştür. Örneğin, toprak organik maddesinin uzaysal yapısı A, B_w ve C horizonunda oldukça farklıdır. Bunun nedeni ise TOM'u kontrol eden faktörlerin uzaysal yapısının da bu horizonlarda farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Diğer taraftan çok az sayıdaki değişkenin uzaysal değişim deseninin benzerlik gösterdiği görülmektedir. Örneğin, KDK için elde edilmiş olan kireleme haritası OM ve kil için elde edilenlerle belirli bir düzeyde benzerlik göstermektedir.

Özellikle yarı-kurak bölgelerde bulunan tepe-eğim modelinde toprak özellikleri çok yüksek değişkenlik gösterirler Bu sebeple toprakların değişkenliği ve bu değişkenliğin kaynakları hidropedolojik çalışmaların içine mutlaka dahil edilmelidir. Toprak değişkenliğinin belirlenmesinde mevsimsel faktörlerin de ele alınması gerektiği unutulmamalıdır. Hidropedolojik çalışmalarda toprak örnekleme birden fazla zamanda yapılacaksa nem ve sıcaklık koşullarının benzer olmasına dikkat edilmelidir

Yarı-kurak bölgelerde toprak oluşumu ve toprak hidrolik özellikleri arasında kuvvetli bir ilişki bulunmaktadır. Bu tip bölgelerde toprak oluşumu ve ve toprak hidrolik özellikleri arasında kuvvetli bir ilişki bulunmaktadır. Tepe-eğim hidropedolojisini daha iyi tanımlayabilmek için yüzey altında gerçekleşen süreçleri ve bu süreçlerin yeterli ve etkin toprak-su amenajmanın üzerindeki etkilerinin anlaşılması ve kontrolü için çalışmalar yapılmalı ve sonuçların pratikte kullanımı teşvik edilmelidir.

Yüzey altında gerçekleşen süreçler, toprak oluşumu, toprak hidrolojisi ve hidrofiziksel süreçler üzerinde büyük bir kontrole sahiptir. Bu aşamada gerçekleşen iki yönlü geri-besleme mekanizmalarının anlaşılması oldukça önemlidir. Bizim çalışmamızda farkına vardığımız geçirimsiz tabaka ile üst toprak ara yüzünde meydana gelen yatay akışın, baskın hidrolojik süreç olduğunu düşünmekteyiz. Çalışma alanında özellikle arka eğim pozisyonunda geçirimsiz bir katmanın varlığı tespit edilmiş olup, bu katmanın arazide yüzey altı yatay akış ve hidrolik özellikler üzerindeki etkileri ve geçirimsiz katmanı etkileyen hidrolojik süreçler ve karşılıklı geri beslemelerin neler olduğu iyi anlaşılmalıdır. Geçirimsiz katmanın zamanla gelişmesiyle birlikte hidrolik iletkenliğin giderek daha da düşmesi muhtemeldir. Çalışma alanında arazi gözlemleri esnasında üreticilerin pulluk yardımıyla yüzeysel toprak işleme yaptıkları görülmüştür. Bu katmanın dip kazan veya riper yardımıyla belirli aralıklarla derin sürüm yapıp kırılarak, su hareketinin o bölgede depolanması sağlanabilir. Bununla birlikte sert katmanın kırılması esnasında parçalanmış bölgeye gübreleme ve dikey malçlama yapılabilir. Ancak bu yöntem masraflı olduğundan dolayı pratikte pek yer verilmemektedir. Eğimin daha dik olduğu pozisyonlarda daha derin toprak işleme yapılması gerekmektedir. Ancak derin sürüm nedeniyle derinlerde biriken kireçli ve jipsli maddelerin yüzeye çıkarılması, arazinin bozulmasına neden olabilir. Buralarda rüzgar erozyonuna karşı ve toprak koruma açısından etkili olan vejetasyonun devamlılığı sağlanmalı, yetiştirme ortamına uygun bitki türleri ile bu gibi yerler örtülmeye çalışılmalıdır. Bu sayede daha fazla yağış suyunun toprağa girmesi ve toprakta depolanması sağlanabilir.

Çalışma alanının yıllardır yapılan tarımsal işlemler sebebiyle çok zayıf bir bitki örtüsüne sahip olması ve yağışlı zamanlarda toprağın örtüsüz bırakılması erozyonu artırmaktadır. Yağışlı zamanlarda toprağı örten yoğun ve sık bitki örtüsü oluşturulmalı, ya da anızlı toprak işleme yapılmalıdır. Ana materyalin yüzeye yakın olduğu sığ toprakların su tutma kapasiteleri yetersiz olduğundan buralarda yağışla gelen fazla su yüzey akışına geçerek erozyona sebep olmaktadır. Özellikle yarı-kurak bölgelerde, infiltrasyonu teşvik eden ve yüzey akışı azaltan toprak amanjmanı yöntemleri tercih edilmeli ve yaygınlaştırılmalıdır. Bu bağlamda, korumaya yönelik toprak işleme yöntemleri devreye sokulabilir. Özellikle toprak yüzeyinin anızlı bırakıldığı ve kısa toprak işleme ve ekimin birlikte yapıldığı toprak işleme yöntemleri kışın ve erken ilkbaharda daha fazla yağış suyunun toprağa girişini ve orada depolanmasını teşvik edebilir. Bu uygulama ile aynı zamanda özellikle kış sonu ve erken ilkbaharda görülen yüzey akışı ve erozyon da büyük ölçüde engellenmiş olur.

Geçirimsiz tabakanın varlığı yeraltı yatay akışın başlamasına sebep olur ve tepe-eğimin yakınsak eğim bölgelerinde doymuşluk fazlası akış meydana gelebilir. Son yıllarda yapılan çalışmalar böyle bir durumda doymuş bölgelerde oyuntu (gully) oluşumunun arttığını göstermektedir. Idaho 'NRCS Conservation Practice' tarafından geliştirilen bir yöntem ile delikli tıpların bu bölgelere takılmasıyla gully oluşumu engellenebileceği belirtilmiştir. Bu donanım gully oluşumu başlamadan hemen önce yüzey akışını durdurmak için tasarlanmıştır. Böyle bir donanımın çalışma alanına uygunluğu ve pratikte kullanımı için çalışmaların yapılması gerekmektedir. Donanıma ait detaylı bilgiye Idaho 'NRCS Conservation Practice Standard 638' internet sitesine bakılabilir (Idaho, 2017). Bu sorunları azaltmanın en etkili ve ucuz yolu korumaya yönelik toprak işleme sistemlerinin çalışma alanında uygulanmasını teşvik etmektir.

Çalışma alanında toprak özellikle zirve pozisyonlarında daha derindir. Buna benzer, toprak derinliğinin yeterli olduğu alanlarda iyi bir toprak işleme planı yapılması gerekmektedir. Alanın tamamı için aynı amenajman yöntemi uygulamak yerine, yere özgü amenajman yöntemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Çalışma alanı ve benzer yarı-kurak bölgelerde toprak koruma ve yeşillendirmeye yönelik bitkilendirme çalışmaları yapılmalıdır. Eğimli ve erozyona açık bir alan olan çalışma alanında üreticiler eş yüksekli eğrilere dik bir şekilde sürüm yaparak erozyon potansiyelini daha da artırmaktadırlar. Bu tip yerlerde eş yükselti eğrilere paralel bir sürüm önerilmektedir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, yarı-kurak tepelik alanlarda iyi bir toprak-su amenajmanı için toprak yüzeyinde alınacak tedbirlerin yeterli olmayacağı, yüzey altında gerçekleşen süreçlerin de mutlaka dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Çalışma alanındaki toprak profillerinde gözlemlenen redoksimorfik özellikler de özellikle yüzey altında meydana gelen karmaşık süreçler hakkında fikir sahibi olmamızı sağlayabilir. Bu bağlamda, bu alanda yapılacak çalışmalarda toprak parametrik özellikleri yanında toprak morfolojik özelliklerin de dikkate alınmasının aktif bölge olarak adlandırılan topraktaki suyun etkin kullanılmasına yönelik yöntemlerin oluşturulmasında son derece önemli avantaj sağlayacağı anlaşılmaktadır. Özellikle yarı-kurak jipsli alanların kullanımında bu hususlar daha da önem kazanmaktadır.

Jipsli toprakların kök gelişimi ve bitki üretim potansiyelinde belirgin bir etkisi vardır ve profildeki jips miktarı tarımsal üretimde belirleyici bir kriter olarak alınabilir. Köklerin yetişebileceği toprağın kalınlığı jipsik horizon ile sınırlandırılabilir. Dolayısıyla kök gelişimi ve

bitki üretimi için bu bölge önem taşıdığından, bu bölgenin jips içeriği ve topraktaki derinliğine göre amenajman uygulamaları yapılmalıdır. Jipsli toprakların yönetiminde toprağın mevcut gözenek ve kök sisteminin detaylı analizinin yapılması gerekmektedir. Jipsli topraklar için önerilen ve bitki üretim potansiyeli yüksek uygulamalar literatürlerde verilmiştir. Yarı-kurak jipsli bölgelerde rüzgar erozyonu oldukça yaygındır. Rüzgarlarla taşınan jips kum tepeleri üzerinde birikebilir Çalışma alanının bir bölümünde bu formda bir yapı tanımlanmış olup, buralarda A horizonu bile zor ayırt edilmiştir. Arazi çalışması esnasında, sert esen rüzgarın etkisi ile bu profilin bulunduğu bölgede havayı beyaz bir toz bulutunun kapladığı gözlenmiştir. Rüzgar ile taşınan bu materyal bitkilerin üstünü kaplayarak onlara zarar verir, taşınan alanlarda ise bitki kökleri açıkta kalarak bitkiler zayıf kalır. Bu tozlar ve tozlarla birlikte bulunan organik ve inorganik maddeler yakındaki yerleşim yerlerinde yaşamakta olan halkın sağlığını tehdit edebilir. Toprak yüzeyinin pürüzlü olması rüzgar erozyonu etkisini azaltabilir. Çalışma alanında rüzgar erozyonuna hassas bölgelerde toprağın işlenmemesi ve toprak yüzeyinin kapalı tutulması çevre sağlığı ve toprak koruma açısından son derece önemlidir. Sürecin kontrolden çıkması halinde daha ciddi ve pahalı önlemlerin alınması gerekebilir

Çalışma alanında hidropedolojik kavram sayesinde, su ve toprak kaynaklarının yönetimi daha doğru tanımlanabilir. Tepe-eğim ölçeğinde hidropedoloji kavramının anlaşılması ile yerel erozyon, toprak/su kalitesi, yeraltı yatay akış, toprak morfolojisi ve hidrolojik süreçler arasındaki çoklu etkileşimlerin anlaşılması daha kolay hale gelerek sorunlu bölgeler için etkili ve güncel çözüm önerileri üretilebilir. Klasik pedoloji çalışmalarının tersine araziye uniform değerlendirmek yerine toprak ve su yönetimi uygulamaları yere özgü hale getirilebilir. Bunun yanında tepe-eğim ölçeğinde gerçekleşen su akış süreçlerine dayanarak çifçiler için gübre ve pestisit uygulamalarında kritik bölgeler hakkında detaylı bilgi verilebilir.

Ülkemizin önemli bir kısmının yarı-kurak olması ve buralarda kuru tarımın yapıyor olması hidropedolojiye yönelik çalışmaların yapılmasını son derece önemli kılmaktadır. Yapılan bu çalışma ile ülkemizde ilk defa bir tepe-eğim ölçeğinde hidropedolojik çalışma yapılarak benzer arazi ve iklim koşulları için toprak ve su amenajmanı tavsiyelerinde bulunmuştur. Bu bağlamda suyun sınırlı olduğu yarı-kurak alanlarda yağış suyundan maksimum fayda elde edilebilmesi için hidropedolojik özelliklerin dikkate alınması toprak amenajmanında avantajlar sağlayacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Ahl, Valerie and Timothy FH Allen 1996. Hierarchy theory: a vision, vocabulary, and epistemology: Columbia University Press.
- Ahuja, LR, DG DeCoursey, BB Barnes and KW Rojas 1993. Characteristics of macropore transport studied with the ARS root zone water quality model. Transactions of the ASAE 36: 369-380.
- Akalan, İ 1974. Soil and water conservation. Ankara Uni. Agricultural Faculty Publication.
- Akbaş, F 2004. Entisol ordosuna ait bir arazide bazı toprak özelliklerinin değişiminin geleneksel ve jeostatistiksel yöntemlerle belirlenmesi. Doktora tezi, Gazi Osmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Basılmamış), Tokat.
- Akgül, Emin; Büyükduman, Metin 1975. Jipsli topraklar Karakteristikleri ve Amenajman Hakkında Kısa. Bilgiler. ORMANCILIK ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ YAYINLARI 34.
- Alaoui, A, U Caduff, HH Gerke and R Weingartner 2011. APreferential Flow Effects on Infiltration and Runoff in Grassland and Forest Soils. Vadose Zone Journal 10: 367-377.
- Alexander, Shlomo and Raymond Orbach 1982. Density of states on fractals:«fractons». Journal de Physique Lettres 43: 625-631.
- Amit, Rivka, Yehouda Enzel, Tamir Grodek, Onn Crouvi, Naomi Porat and Avner Ayalon 2010. The role of rare rainstorms in the formation of calcic soil horizons on alluvial surfaces in extreme deserts. Quaternary Research 74: 177-187.
- Anderson, AE, M Weiler, Y Alila and RO Hudson 2009. Subsurface flow velocities in a hillslope with lateral preferential flow. Water Resources Research 45.
- Anderson, MG and CCM Rogers 1987. Catchment scale distributed hydrological models a discussion of research directions. Progress in Physical Geography 11: 28-51.
- Angulo-Jaramillo, Rafael, Jean-Pierre Vandervaere, Stephanie Roulier, Jean-Louis Thony, Jean-Paul Gaudet and Michel Vauclin 2000. Field measurement of soil surface hydraulic properties by disc and ring infiltrometers: A review and recent developments. Soil and tillage research 55: 1-29.
- Anonim 2017. İllere ait mevsim normalleri. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=CANKIRI>.
- Archer, NAL, John N Quinton and TM Hess 2002. Below-ground relationships of soil texture, roots and hydraulic conductivity in two-phase mosaic vegetation in South-east Spain. Journal of arid environments 52: 535-553.
- Artieda, O and J Herrero 2003. Pedogenesis in lutitic Cr horizons of gypsiferous soils. Soil Science Society of America Journal 67: 1496-1506.
- Asano, Yuko, Taro Uchida and Nobuhito Ohte 2002. Residence times and flow paths of water in steep unchannelled catchments, Tanakami, Japan. Journal of Hydrology 261: 173-192.
- Aşkın, Tayfun 2010. Doygun Hidrolik İletkenlik: Killi Topraklarda Bir Path Analizi Çalışması.
- Aşkın, Tayfun 2002. Toprak Aşınabilirliğinin Topoğrafik Pozisyonla İlişkili Olarak Jeostatistiksel Tekniklerle

- Değerlendirilmesi. Doktora Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Atalay, İ 2015. Türkiye Topraklarının Oluşumu ve Kullanımı. In Toprak Amenajmanı, ed. S. Erşahin, Öztaş, T., Namlı, A., Karahan, G., 19-94. Ankara: Gazi Kitabevi.
- Atkinson, Timothy C 1978. Techniques for measuring subsurface flow on hillslopes. Hillslope hydrology: 73-120.
- Aubert, G., Boulaïne J., 1967. La Pedologieque. Que Sais je Presses Uni. de France Paris.
- Azooz, RH, MA Arshad and AJ Franzluebbbers 1996. Pore size distribution and hydraulic conductivity affected by tillage in northwestern Canada. Soil Science Society of America Journal 60: 1197-1201.
- Bachmair, Sophie and Markus Weiler 2011. New dimensions of hillslope hydrology. In forest hydrology and biogeochemistry, 455-481: Springer.
- Bagarello, Vincenzo 1997. Influence of well preparation on field-saturated hydraulic conductivity measured with the Guelph permeameter. Geoderma 80: 169-180.
- Ball, BC, DJ Campbell and EA Hunter 2000. Soil compactibility in relation to physical and organic properties at 156 sites in UK. Soil and tillage research 57: 83-91.
- Barrett, Linda R 2002. Spectrophotometric color measurement in situ in well drained sandy soils. Geoderma 108: 49-77.
- Barthes, Bernard and Eric Roose 2002. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. Catena 47: 133-149.
- Bartoli, F, Ph Dutartre, V Gomendy, S Niquet, M Dubuit and H Vivier 1998. Fractals and soil structure.
- Baskan, O, G Erpul and O Dengiz 2009. Comparing the efficiency of ordinary kriging and cokriging to estimate the Atterberg limits spatially using some soil physical properties. Clay Minerals 44: 181-193.
- Baskan, Oguz, Orhan Dengiz and Atilla Gunturk 2016. Effects of toposequence and land use-land cover on the spatial distribution of soil properties. Environmental Earth Sciences 75: 1-10.
- Başal, Aylin and Mehmet Ekmekçi 2000. Antalya Traverten Platosu toprak zonunun akifere koruyucu örtü olarak doğal arındırma özellikleri. Yerbilimleri Dergisi 5: 95-107.
- Başayığıt, Levent and Ural Dinç 2005. Toprak Taksonomisine Göre Toprak İklim Rejimleri ve Türkiye Toprakları İçin Örnekler. GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi 22: 83-91.
- Başkan, O 2004. Gölbaşı yöresi topraklarının mühendislik, fiziksel özellik ilişkilerinde jeostatistik uygulaması. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Ankara.
- Beckers, Jos and Younes Alila 2004. A model of rapid preferential hillslope runoff contributions to peak flow generation in a temperate rain forest watershed. Water Resources Research 40.
- Ben-Hur, M, I Shainberg, D Bakker and R Keren 1985. Effect of soil texture and CaCO₃ content on water infiltration in crusted soil as related to water salinity. Irrigation Science 6: 281-294.

- Bengough, A Glyn, BM McKenzie, PD Hallett and TA Valentine 2011. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. *Journal of Experimental Botany* 62: 59-68.
- Benoit, GR and J Bornstein 1970. Freezing and thawing effects on drainage. *Soil Science Society of America Journal* 34: 551-557.
- Bétard, François, Laurent Caner, Yanni Gunnell and Gérard Bourgeon 2009. Illite neoformation in plagioclase during weathering: evidence from semi-arid Northeast Brazil. *Geoderma* 152: 53-62.
- Beven, Keith and Peter Germann 1982. Macropores and water flow in soils. *Water Resources Research* 18: 1311-1325.
- Bhatti, AU, DJ Mulla and BE Frazier 1991. Estimation of soil properties and wheat yields on complex eroded hills using geostatistics and thematic mapper images. *Remote Sensing of Environment* 37: 181-191.
- Bird, TL, TM Willis and GJ Melville 1996. Subsoil hydraulic conductivity estimates for the Lower Macquarie Valley. *Soil Research* 34: 213-228.
- Birgili, S, R Yoldas and G Unalan 1975. Çankiri–Çorum havzasinin jeolojisi ve petrol olanakları. MTA Raporu.
- Birhan, H and Öztaş, T., 2001. Farklı Topografik Pozisyonların Verim Ve Bazı Toprak Özellikleri Bakımından Karşılaştırılması. *Trakya Toprak ve Su Kaynakları Sempozyumu*: 63-71.
- Birkeland, Peter W 1984. *Soils and geomorphology*: Oxford University Press.
- Bishop, TFA and AB McBratney 2001. A comparison of prediction methods for the creation of field-extent soil property maps. *Geoderma* 103: 149-160.
- Bittelli, Marco, Gaylon S Campbell and Markus Flury 1999. Characterization of particle-size distribution in soils with a fragmentation model. *Soil Science Society of America Journal* 63: 782-788.
- Blake, GR and KH Hartge 1986. Particle density. *Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods*: 377-382.
- Blöschl, Günter and M Sivapalan 1995. Scale issues in hydrological modelling: a review. *Hydrological Processes* 9: 251-290.
- Blume, Hans-Peter, Gerhard W Brümmer, Heiner Fleige, Rainer Horn, Ellen Kandeler, Ingrid Kögel-Knabner, Ruben Kretschmar, Karl Stahr and Berndt-Michael Wilke 2015. *Scheffer/Schachtschabel soil science*: Springer.
- Boix-Fayos, C, A Calvo-Cases, AC Imeson and MD Soriano-Soto 2001. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. *Catena* 44: 47-67.
- Boix-Fayos, C, A Calvo-Cases, AC Imeson, MD Soriano-Soto and IR Tiemessen 1998. Spatial and short-term temporal variations in runoff, soil aggregation and other soil properties along a Mediterranean climatological gradient. *Catena* 33: 123-138.
- Bormann, H and K Klaassen 2008. Seasonal and land use dependent variability of soil hydraulic and soil hydrological properties of two Northern German soils. *Geoderma* 145: 295-302.

- Bouma, J 1989. Using soil survey data for quantitative land evaluation. In *Advances in soil science*, 177-213: Springer.
- Bouma, J, HWG Booltink and PA Finke 1996. Use of soil survey data for modeling solute transport in the vadose zone. *Journal of Environmental Quality* 25: 519-526.
- Bouma, J, J Stoorvogel, BJ Van Alphen and HWG Booltink 1999. Pedology, precision agriculture, and the changing paradigm of agricultural research. *Soil Science Society of America Journal* 63: 1763-1768.
- Bouwer, D, PAL Le Roux, JJ van Tol and CW van Huyssteen 2015. Using ancient and recent soil properties to design a conceptual hydrological response model. *Geoderma* 241: 1-11.
- Boyadgiev, TG and WH Verheye 1996. Contribution to a utilitarian classification of gypsiferous soil. *Geoderma* 74: 321-338.
- Brady, N and RR Weil 2002. *The nature and properties of soils*. 13 Edic. Prentice Hall. New Jersey. USA. 598p.
- Brady, Nyle C and Ray R Weil 2000. *Elements of the nature and properties of soils*. In *Elements of the nature and properties of soils*: Prentice hall Upper Saddle River, NJ, USA:.
- Brohi, AR, A Aydeniz and MR Karaman 1997. *Toprak Verimliliği Genişletilmiş II. Baskı*. THK Basımevi. Ankara.
- Bronick, Carol Jean and Rattan Lal 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124: 3-22.
- Brooks, Erin S, Jan Boll and Paul A McDaniel 2004. A hillslope-scale experiment to measure lateral saturated hydraulic conductivity. *Water Resources Research* 40.
- Brooks, Erin S, Jan Boll and Paul A McDaniel 2012. *Hydropedology in seasonally dry landscapes: The Palouse region of the Pacific Northwest, USA*. *Hydropedology: synergistic integration of soil science and hydrology*. Academic Press, Elsevier BV, London: 329-350.
- Browning, GM, RA Norton, EV Collins and HA Wilson 1945. Tillage practices in relation to soil and water conservation and crop yields in Iowa. *Soil Science Society of America Journal* 9: 241-247.
- Budak, Mesut 2012. *Tuzlu alkali toprakların oluşumu, sınıflandırılması ve klasik toprak etüt ve jeoistatistik yöntemlerle haritalanması*.
- Bullock, Peter, Nicolas Fedoroff, A_ Jongerius, Georges Stoops and Tatiana Tursina 1985. *Handbook for soil thin section description*: Waine Research.
- Buol, Stanley W, Francis D Hole, Ralph J McCracken and Randal J Southard 1997. *Soil genesis and classification*: Iowa State University Press.
- Burden, DS and HM Selim 1989. Correlation of spatially variable soil water retention for a surface soil. *Soil Science* 148: 436-447.
- Buss, Heather L, Peter B Sak, Samuel M Webb and Susan L Brantley 2008. Weathering of the Rio Blanco quartz diorite, Luquillo Mountains, Puerto Rico: Coupling oxidation, dissolution, and fracturing. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 72: 4488-4507.
- Butt, CRM and Hubert Zeegers 1992. *Regolith exploration geochemistry in tropical and subtropical terrains*: Elsevier.

- Calvo-Cases, A, C Boix-Fayos and AC Imeson 2003. Runoff generation, sediment movement and soil water behaviour on calcareous (limestone) slopes of some Mediterranean environments in southeast Spain. *Geomorphology* 50: 269-291.
- Cambardella, CA, TB Moorman, TB Parkin, DL Karlen, JM Novak, RF Turco and AE Konopka 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal* 58: 1501-1511.
- Campbell, GS and S Shiozawa 1992. Prediction of hydraulic properties of soils using particle-size distribution and bulk density data. Indirect methods for estimating the hydraulic properties of unsaturated soils. University of California, Riverside: 317-328.
- Canbolat, MY and T Öztaş 1997. Toprağın kıvam limitleri üzerine etki eden bazı faktörler ve kıvam limitlerinin tarımsal yönden değerlendirilmesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 28: 120-129.
- Canpolat, Mustafa and Ömer Anapalıcı 2011. Sabit Sevelili Permeametre Vönteminde Farkli Toprakların, Potansiyometrik Vüklerin.
- Cantón, Y, F Domingo, A Solé-Benet and J Puigdefábregas 2001. Hydrological and erosion response of a badlands system in semiarid SE Spain. *Journal of Hydrology* 252: 65-84.
- Cassel, DK and DR Nielsen 1986. Field capacity and available water capacity. *Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods*: 901-926.
- Castrignanò, A, L Giugliarini, R Risaliti and N Martinelli 2000. Study of spatial relationships among some soil physico-chemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatistics. *Geoderma* 97: 39-60.
- Cerdà, A 2001. Effects of rock fragment cover on soil infiltration, interrill runoff and erosion. *European Journal of Soil Science* 52: 59-68.
- Cerda, Artemi 1999. Parent material and vegetation affect soil erosion in eastern Spain. *Soil Science Society of America Journal* 63: 362-368.
- Chaney, K and RS Swift 1984. The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. *European Journal of Soil Science* 35: 223-230.
- Chapman, HD and PF Pratt 1982. *Method for the Analysis of Soil. Plant And Water* 2nd ed California University Agricultural Division, California: 170.
- Chen, Hongsong, Jianwei Liu, Wei Zhang and Kelin Wang 2011. Soil hydraulic properties on the steep karst hillslopes in northwest Guangxi, China. *Environmental Earth Sciences* 66: 371-379. doi: 10.1007/s12665-011-1246-y
- Chowdary, VM, M Damodhara Rao and CS Jaiswal 2006. Study of infiltration process under different experimental conditions. *Agricultural Water Management* 83: 69-78.
- Cihan, UZUN and H Hüseyin Özyaytekin 2007. Yarı Kurak İklimde Kireçtaşı Üzerinde Oluşan Topraklarda Bazı Majör, Minör Ve Nadir Toprak Elementlerinin Düşey Dağılımı. *Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi* 21: 72-83.
- Clay, DE, J Chang, DD Malo, CG Carlson, C Reese, SA Clay, Michael Ellsbury and B Berg 2001. Factors influencing spatial variability of soil apparent electrical conductivity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32: 2993-3008.

- Coen, GM and C Wang 1989. Estimating vertical saturated hydraulic conductivity from soil morphology in Alberta. *Canadian Journal of Soil Science* 69: 1-16.
- Conacher, Arthur J and JB Dalrymple 1977. Preface. *Geoderma* 18: VII.
- Cousin, Isabelle, Bernard Nicoullaud and Caroline Coutadeur 2003. Influence of rock fragments on the water retention and water percolation in a calcareous soil. *Catena* 53: 97-114.
- Curran, Paul J and Peter M Atkinson 1999. Issues of scale and optimal pixel size. In *Spatial statistics for remote sensing*, 115-133: Springer.
- Çelenk, Fehmiye Kadioğulları 2016. Toprak özelliklerinde mekânsal değişkenliğin faktör analizi: Erenler örneği (Sakarya). *Türk Coğrafya Dergisi*.
- d'Herbès, Jean-Marc, Christian Valentin, David J Tongway and Jean-Claude Leprun 2001. Banded vegetation patterns and related structures. In *Banded vegetation patterning in arid and semiarid environments*, 1-19: Springer.
- da Silva, Alvaro Pires, Arie Nadler and BD Kay 2001. Factors contributing to temporal stability in spatial patterns of water content in the tillage zone. *Soil and tillage research* 58: 207-218.
- Delgado, G, M Melgosa, E Hita and R Delgado 1997. Cielab Color Parameters And Their Relationship To Soil Characteristics In Mediterranean Red Soils. *Soil Science* 162: 833-842.
- Demir, Saniye, Kenan Kılıç and Mustafa Aydın 2012. Farklı Kullanım Altındaki Toprakların Kıvam Limitleriyle Bazı Toprak Özellikleri Arasındaki İlişki. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2012.
- Demiray, Elif 2010. İşlenen ve işlenmeyen topraklarda toprak hidrolik özellikleri dinamiğinin karşılaştırılması, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Dengiz, Orhan, GOL Ceyhun, Elif öztürk and tuğrul yakupoğlu 2010. fluviyal yerçekimleri üzerinde oluşmuş farklı toprak dağılımların belirlenmesi ve sınıflaması. *selçuk tarım bilimleri dergisi* 24: 19-27.
- Dengiz, Orhan and Coşkun Gülser 2014. Farklı fluviyal depozitler üzerinde oluşmuş toprakların dağılım alanlarının belirlenmesi ve sınıflaması. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi* 1: 9-17.
- Dengiz, Orhan, Coşkun Gülser, Serkan İç and Zeynep Kara 2009. Aşağı Aksu Havzası Topraklarının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri ve Haritalanması. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi* 24: 34-43.
- Dengiz, Orhan, M Kibar, M Yüksel, YK Kadioğlu, S Karaca and A Durak 2006. Farklı Yöney, Fizyografik Ünite ve Jeolojik Birimler Üzerinde Oluşmuş Toprakların Oluşumları. *Tarım Bilimleri Dergisi* 12: 349-356.
- Dengiz, Orhan, Mustafa Sağlam, H Hüseyin Özyaytekin and Oğuz Başkan 2013. Weathering rates and some physico-chemical characteristics of soils developed on a calcic toposequences. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 8: 13-24.
- Desir, G and C Marín 2007. Factors controlling the erosion rates in a semi-arid zone (Bardenas Reales, NE Spain). *Catena* 71: 31-40.
- Devitt, Dale A and Stanley D Smith 2002. Root channel macropores enhance downward movement of water in a Mojave Desert ecosystem. *Journal of arid environments* 50: 99-108.

- Di, Hong J, RA Kemp and BB Trangmar 1989. Use of geostatistics in designing sampling strategies for soil survey. *Soil Science Society of America Journal* 53: 1163-1167.
- Dick, Richard P, David R Thomas, Jonathan J Halvorson, JW Doran and AJ Jones 1996. Standardized methods, sampling, and sample pretreatment. *Methods for assessing soil quality.*: 107-121.
- Dijkerman, JC 1974. Pedology as a science: The role of data, models and theories in the study of natural soil systems. *Geoderma* 11: 73-93.
- Dinç, U, S Kapur, H Özbek and S Şenol 1987. Toprak Genesisi ve Sınıflandırılması. Çukurova Üniversitesi Yayınları Ders Kitabı 7.
- Dinç, U and S Şenol 2009. Toprak etüd ve haritalama. ÇÜ Ziraat Fakültesi Ders Kitapları Yayın.
- Dittman, FW 1976. The Chemical Treatment of Cooling Water. *Soil Science* 121: 128.
- Doğan, Uğur 2002. Çankırı doğusunda jips karstlaşmasıyla oluşan sübsidans dolinleri. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi* 22.
- Donald, Richard G, Darwin W Anderson and John WB Stewart 1993. The distribution of selected soil properties in relation to landscape morphology in forested Gray Luvisol soils. *Canadian Journal of Soil Science* 73: 165-172.
- Donkin, MJ and MV Fey 1991. Factor analysis of familiar properties of some Natal soils with potential for afforestation. *Geoderma* 48: 297-304.
- Donma, Sevgi, Selim Kapur, Rıza Kanber and Tarımsal Yapılar 2005. Aşağı Seyhan Ovasında, Tabansuyu Derinliği, Tuzluluğu Ve Toprak Tuzluluğundaki Süreçsel Değişiklikler.
- Dontsova, Katerina M and L Darrell Norton 2002. Clay dispersion, infiltration, and erosion as influenced by exchangeable Ca and Mg. *Soil Science* 167: 184-193.
- Dooge, JAMES CI 1997. Scale Problems In Hydrology James Ci Dooge 1. Orders Of Magnitude 1.1 Choice of topic. *Reflections in Hydrology: Science and Practice*: 85.
- Dougherty, Warwick J, Nigel K Fleming, Jim W Cox and David J Chittleborough 2004. Phosphorus transfer in surface runoff from intensive pasture systems at various scales. *Journal of Environmental Quality* 33: 1973-1988.
- Duffera, Miressa, Jeffrey G White and Randy Weisz 2007. Spatial variability of Southeastern US Coastal Plain soil physical properties: Implications for site-specific management. *Geoderma* 137: 327-339.
- Duniway, Michael C, Jeffrey E Herrick and H Curtis Monger 2007. The high water-holding capacity of petrocalcic horizons. *Soil Science Society of America Journal* 71: 812-819.
- Dunne, Thomas, Weihua Zhang and Brian F Aubry 1991. Effects of rainfall, vegetation, and microtopography on infiltration and runoff. *Water Resources Research* 27: 2271-2285.
- Durak, Alper and Mehmet Erdem Aydın 2014. Soil Formation and Taxonomy in Yeşilirmak River Terraces. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology* 2.
- Durak, Alper and Kenan Kılıç 1997. Tokat Bölgesi Hidromorfik Topraklarının Redoksimorfik Özellikleri Ve Redoks Potansiyelleri. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 1997.

- Efe, Recep 1999. Güney Marmara Bölümü batısında toprak oluşumunu etkileyen coğrafi faktörler ve toprakların özellikleri. Türk Coğrafya Dergisi.
- Eggleton, Richard A 2001. The regolith glossary. Cooperative Research Centre of Landscape Evolution and Mineral Exploration, Perth, Australia.
- Ehlers, W 1977. Measurement and calculation of hydraulic conductivity in horizons of tilled and untilled loess-derived soil, Germany. Geoderma 19: 293-306.
- Ekberli, İmanverdi and Orhan Dengiz 2016. Bazı Inceptisol ve Entisol Alt Grup Topraklarının Fizikokimyasal Özellikleri ile Isısal Yayımlı Katsayısı Arasındaki Regresyon İlişkilerinin Belirlenmesi. Toprak Su Dergisi Soil Water Journal: 1.
- Ekberli, İmanverdi and Yıldız Sarılar 2015. Toprak sıcaklığı ve ısısal yayılımının belirlenmesi.
- Eldridge, David J and David Freudenberger 2005. Ecosystem wicks: woodland trees enhance water infiltration in a fragmented agricultural landscape in eastern Australia. Austral Ecology 30: 336-347.
- Erie, Leonard J 1962. Evaluation of infiltration measurements. Trans. ASAE 5: 11-13.
- Erol, A and A Hızal 2006. Gümüşhane İli Köse Deresi Yağış Havzasında Hidro-Fiziksel Toprak Özelliklerinin, Toprak Oluşumunda Etkili Faktörlere Bağlı Olarak Değişimi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 10.
- Ersahin, Sabit 2003. Comparing Ordinary Kriging and Cokriging to Estimate Infiltration Rate. Soil Science Society of America Journal 67: 1848-1855.
- Ersahin, Sabit 1998. Solute transport in sloping layered soils.
- Ersahin, Sabit, Robert I Papendick, Jeffrey L Smith, C Kent Keller and Valipuram S Manoranjan 2002. Macropore transport of bromide as influenced by soil structure differences. Geoderma 108: 207-223.
- Erşahin, S 1999a. Aluviyal bir tarlada bazı fiziksel ve kimyasal toprak özelliklerinin uzaysal (Spatial) değişkenliğinin belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 13: 34-41.
- Erşahin, S and MR Karaman 2000. Toprak Değişkenliğinin Yere Özgü Amenajman ve Toprak Verimliliği Çalışmaları için Değerlendirilmesinde Faktör Analizinin Kullanılması. Tarım Bilimleri Dergisi 6: 76-81.
- Erşahin, S., 2001. 2001. Toprak Amenajmanı. . GOÜ Ziraat Fakültesi Ders Notları Serisi Tokat 21: 44-57.
- Erşahin, S. 1990. Harran Ovasında Önemli ve Yaygın Altı Toprak Serisinin İnfiltrasyon Hızları İle Bazı Temel Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkiler Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı Master tezi.
- Erşahin, S., Er, F. 1999b. Topraklarda Tercih Akı ile Kimyasal Taşınması. S.Ü. Ziraat Fak. Derg 13: 25-33.
- Erşahin, S. Kılıç, M. Yeşilsoy M. Ş. 1991a. Effect of Raindrop impact energy, water salinity and soil sodicity on infiltration rate and crust formation in soils. C. Ü. Tokat Ziraat Fak. Derg 7.

- Erşahin, S. Yeşilsoy M. Ş. 1991b. The relationship between infiltration rates and some physical and chemical properties of six widely distributed and important soil series selected in Harran Plain.
- Erşahin, Sabit 2010. Farklı İklim Ve Topografya Koşullarında Toprak Organik Karbonu Potansiyel Dinamiğinin Matematiksel Modellemesi.
- Erşahin, Sabit 2008. Toprak fiziği, yayınlanmamış ders notları.
- Erşahin, Sabit, Alper Durak and Mustafa KILIÇ 1997. Toprak Oluşum Süreçleri Tarafından Etkilenen Bir İklim Hattı Boyunca Toprak Oluşumu. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 1997.
- Evans, CVm and DP Franzmeier 1986. Saturation, aeration, and color patterns in a toposequence of soils in north-central Indiana. Soil Science Society of America Journal 50: 975-980.
- Fabric, R Brewer 1976. Mineral Analysis of soils. Rieger, Huntigton: 483.
- Fanning, Delvin Seymour and Mary Christine Balluff Fanning 1989. Soil morphology, genesis and classification: John Wiley and Sons Inc.
- Fazeli, Sahar, Ali Abtahi, Rosa M Poch and Hakime Abbaslou 2017. Gypsification processes and porosity changes in soils from southern Iran (Jooyom region-Fars province). Arid Ecosystems 7: 80-91.
- Feng, Tao-Wei 2000. Fall-cone penetration and water content relationship of clays. Geotechnique 50: 181-187.
- Filiz, K 2008. Alçı ve alçı bağlı kalıplarda prizlenme genleşmesi. Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü-Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı İstanbul.
- Florea, N and Kh Al-Joumaa 1998. Genesis and classification of gypsiferous soils of the Middle Euphrates Floodplain, Syria. Geoderma 87: 67-85.
- Flury, Markus, Hannes Fliihler, WA Jury and J Leuenberger 1994. Susceptibility of soils to preferential flow of water: a field study. Wat. Resour. Res 30: 1945-1954.
- Galbraith, G. W. Hurt and J. M. 2005. Using Soil Morphology and Soil Survey Data for Restoring and Creating Wetlands. soil survey horizon 46: 109-119.
- Gasparatos, D, D Tarenidis, C Haidouti and G Oikonomou 2005. Microscopic structure of soil Fe-Mn nodules: environmental implication. Environmental Chemistry Letters 2: 175-178.
- Gassel, DK 1982. Tillage effects on soil bulk density and mechanical impedance. Predicting tillage effects on soil physical properties and processes: 45-67.
- Gburek, WJ, BA Needelman and MS Srinivasan 2006. Fragipan controls on runoff generation: Hydropedological implications at landscape and watershed scales. Geoderma 131: 330-344.
- Gee, Glendon W and James W Bauder 1986. Particle-size analysis. Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods: 383-411.
- Genç, Zübeyde and Orhan Dengiz 2015. Madendere havzasında fizyografik faktörlerin ve bazı fiziko-kimyasal toprak özelliklerinin belirlenmesi ve haritalanması. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi 2: 28-39.

- Gerrard, A John 1981. Soils and landforms. An integration of geomorphology and pedology: George Allen & Unwin (Publishers) Ltd.
- Glassford, DK and V Semeniuk 1995. Desert-aeolian origin of late Cenozoic regolith in arid and semi-arid Southwestern Australia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 114: 131-166.
- Goderya, Farida S 1998. Field scale variations in soil properties for spatially variable control: a review. *Journal of Soil Contamination* 7: 243-264.
- Godfrey, Curtis L and FF Riecken 1954. Distribution of phosphorus in some genetically related loess-derived soils. *Soil Science Society of America Journal* 18: 80-84.
- Göl, Ceyhun and Orhan Dengiz 2007. Çankiri-Eldivan Karataşbağı Deresi Havza Arazi Kullanım-Arazi Örtüsündeki Değişim Ve Toprak Özellikleri. *J. Of Fac. Of Agric., Omu* 22: 86-97.
- Green, RE, LR Ahuja and SK Chong 1986. Hydraulic conductivity, diffusivity, and sorptivity of unsaturated soils: Field methods. *Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods*: 771-798.
- Gregory, Kenneth John and Desmond Eric Walling 1973. Drainage basin form and process.
- Group, Soil Classification Working and CN Macvicar 1991. Soil classification: a taxonomic system for South Africa: Department of Agricultural Development.
- Gunal, Hikmet 2001. Clay illuviation and calcium carbonate accumulation along a precipitation gradient in Kansas. PhD. diss. Kansas State Univ., Manhattan.
- Gutierrez, M, C Sancho, Gerardo Benito, J Sirvent and G Desir 1997. Quantitative study of piping processes in badland areas of the Ebro Basin, NE Spain. *Geomorphology* 20: 237-253.
- Guzman, JG and MM Al-Kaisi 2011. Landscape position effect on selected soil physical properties of reconstructed prairies in southcentral Iowa. *Journal of Soil and Water Conservation* 66: 183-191.
- Gül, Ebru, Sabit Erşahin and Melda Dölarslan 2012. Orta-Kuzey Anadolu Yarı-Kurak İklim Koşullarında Topografya, Toprak Özellikleri ve Bitki Kompozisyonu Etkileşimi.
- Gülser, C and İ Ekberli 2002. Toprak sıcaklığının profil boyunca değişimi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 17: 43-47.
- Gülser, Coskun and Feride Candemir 2008. Prediction of saturated hydraulic conductivity using some moisture constants and soil physical properties. *Proceedings of the BALWOIS, Macedonia*: 1-5.
- Günel, H, F Akbaş, E Özgöz, A Ünlükara, H Yıldız, A Kurunç, A Çetin and S Ersahin 2008. Kazova'da Sürdürülebilir Tarımsal Üretim için Gerekli Güncel Veri Tabanının Oluşturulması. TÜBİTAK Projesi Raporu, TOVAG 105.
- Günel, Hikmet 2006. Ardışık İki Topografya'da Yer Alan Toprakların Oluşumları ve Sınıflamaları. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2006.
- Günel, Hikmet and Sabit Erşahin 2006. Toprak Özelliklerinin Tahmininde Sayısallaştırılmış Renk Parametrelerinin Kullanımı. *Tarım Bilimleri Dergisi* 12: 85-92.
- Gündoğan, Recep 2005. Toprak Su İçeriğinin Topoğrafik Özelliklere Bağlı Değişkenliği. *KSU Journal of Science and Engineering* 8(1).

- Gwenzi, Willis, Christoph Hinz, Karen Holmes, Ian R Phillips and Ian J Mullins 2011. Field-scale spatial variability of saturated hydraulic conductivity on a recently constructed artificial ecosystem. *Geoderma* 166: 43-56.
- Hair, Joseph F, Rolph E Anderson, Ronald L Tatham and C William 1998. *Black 1998, Multivariate Data Analysis* (ed.). In *Black 1998, Multivariate Data Analysis* (ed.): New Jersey: Prentice-Hall International, Inc.
- Hairsine, PB, CJ Moran and CW Rose 1992. Recent developments regarding the influence of soil surface characteristics on overland flow and erosion. *Soil Research* 30: 249-264.
- Hall, GF and CG Olson 1991. Predicting variability of soils from landscape models. *Spatial Variabilities of Soils and Landforms*: 9-24.
- Hanay, Abdurrahman 1992. Çöp Kompostu Uygulamasinin Toprakların Kivam Limitleri İle Bazı Strüktür Stabilite İndekslerine Etkisi Üzerine Bir Araştırma. *Journal of the Faculty of Agriculture* 23.
- Hancock, GR and GR Willgoose 2004. An experimental and computer simulation study of erosion on a mine tailings dam wall. *Earth Surface Processes and Landforms* 29: 457-475.
- Hanna, AY, PW Harlan and DTy Lewis 1982. Soil available water as influenced by landscape position and aspect. *Agronomy Journal* 74: 999-1004.
- Harden, JW, EM Taylor, MC Reheis and LD McFadden 1991. Calcic, gypsic, and siliceous soil chronosequences in arid and semiarid environments. Occurrence, characteristics, and genesis of carbonate, gypsum, and silica accumulations in soils: 1-16.
- Harter, Thomas and Jan W Hopmans 2004. *Role of vadose zone flow processes in regional scale hydrology: Review, opportunities and challenges*: Kluwer.
- Harter, Thomas and TC Jim Yeh 1998. Flow in unsaturated random porous media, nonlinear numerical analysis and comparison to analytical stochastic models. *Advances in water resources* 22: 257-272.
- Heddadj, D and C Gascuel-Oudou 1999. Topographic and seasonal variations of unsaturated hydraulic conductivity as measured by tension disc infiltrometers at the field scale. *European Journal of Soil Science* 50: 275-283.
- Helling, CS. and Gish. T J. 1991. Physical and Chemical Processes Affecting Preferential Flow," *Preferential Flow, Proceedings of the National Symposium*: 77-86.
- Hendershot, WH, H Lalonde and M Duquette 1993. Ion exchange and exchangeable cations. *Soil sampling and methods of analysis* 19: 167-176.
- Hendrickx, Jan MH and Markus Flury 2001. Uniform and preferential flow mechanisms in the vadose zone. *Conceptual models of flow and transport in the fractured vadose zone*: 149-187.
- Herrero, J, Octavio Artieda and Wayne H Hudnall 2009. Gypsum, a tricky material. *Soil Science Society of America Journal* 73: 1757-1763.
- Heuvelink, Gerard BM 1998. Uncertainty analysis in environmental modelling under a change of spatial scale. In *Soil and Water Quality at Different Scales*, 255-264: Springer.
- Hillel, Daniel 1982. *Introduction to soil physics* Academic Press. Inc. San Dieoga, California, USA: 364.

- Holden, Joseph 2009. Topographic controls upon soil macropore flow. *Earth Surface Processes and Landforms* 34: 345-351.
- Holländer, Hartmut M, T Blume, H Bormann, W Buytaert, GB Chirico, J-F Exbrayat, David Gustafsson, H Hölzel, P Kraft and C Stamm 2009. Comparative predictions of discharge from an artificial catchment (Chicken Creek) using sparse data. *Hydrology and Earth System Sciences* 13: 2069.
- Hopmans, Jan W, Don R Nielsen and Keith L Bristow 2002. How Useful are Small-Scale Soil Hydraulic Property Measurements for Large-Scale Vadose Zone Modeling? *Environmental Mechanics: Water, Mass and Energy Transfer in the Biosphere: The Philip Volume*: 247-258.
- Hopmans, Jan W and Gerrit Schoups 2005. Soil water flow at different spatial scales. *Encyclopedia of hydrological sciences*.
- Hopp, L and JJ McDonnell 2009. Connectivity at the hillslope scale: Identifying interactions between storm size, bedrock permeability, slope angle and soil depth. *Journal of Hydrology* 376: 378-391.
- Hu, Kelin, Yuangfang Huang, Hong Li, Baoguo Li, Deli Chen and Robert Edlin White 2005. Spatial variability of shallow groundwater level, electrical conductivity and nitrate concentration, and risk assessment of nitrate contamination in North China Plain. *Environment international* 31: 896-903.
- Hu, Wei, Ming An Shao, Quan Jiu Wang, Jun Fan and Klaus Reichardt 2008. Spatial variability of soil hydraulic properties on a steep slope in the Loess Plateau of China. *Scientia Agricola* 65: 268-276.
- Husnjak, Stjepan, D Filipovic and S Kosutic 2002. Influence of different tillage systems on soil physical properties and crop yield. *Rostlinna Vyroba-UZPI (Czech Republic)*.
- Hussen, AA and AW Warrick 1993. Algebraic models for disc tension permeameters. *Water Resources Research* 29: 2779-2786.
- Hutchinson, David Graham and RD Moore 2000. Throughflow variability on a forested hillslope underlain by compacted glacial till. *Hydrological Processes* 14: 1751-1766.
- Hutson, JL and RJ Wagenet 1991. Simulating nitrogen dynamics in soils using a deterministic model. *Soil Use and Management* 7: 74-78.
- Idaho, NRCS 2017. Water and sediment control basin-Code 638. Natural Resources Conservation Service conservation practice standard
- Iqbal, Javed, John A Thomasson, Johnie N Jenkins, Phillip R Owens and Frank D Whisler 2005. Spatial variability analysis of soil physical properties of alluvial soils. *Soil Science Society of America Journal* 69: 1338-1350.
- Isaaks, Edward H Srivastava, Mohan R Edward H Isaaks and Mohan R Srivastava 1989. *Applied geostatistics*.
- Jackson, ML and G Donald Sherman 1953. Chemical weathering of minerals in soils. *Advances in agronomy* 5: 219-318.
- Jafarzadeh, AA and CP Burnham 1992. Gypsum crystals in soils. *European Journal of Soil Science* 43: 409-420.
- Jafri, J 1971. Water front study for spot irrigation. *J. Agric. Res* 1: 41-44.

- Janzen, HH 1993. Soluble salts. Soil sampling and methods of analysis: 161-166.
- Jarvis, NJ 2007. A review of non-equilibrium water flow and solute transport in soil macropores: Principles, controlling factors and consequences for water quality. *European Journal of Soil Science* 58: 523-546.
- Jeffrey, R and R Thompson Graham 1990. Structural variations in chlorite and illite in a diagenetic sequence from the Imperial Valley, California. *Clays and Clay Minerals* 38: 315-321.
- Jenkinson, Byron J, Donald P Franzmeier and Warren C Lynn 2002. Soil hydrology on an end moraine and a dissected till plain in west-central Indiana.
- Jenny, H 1980. *The Soil Resource* Springer-Verlag New York. NY, USA Google Scholar.
- Jenny, Hans 1994. *Factors of soil formation: a system of quantitative pedology*: Courier Corporation.
- Jensen, S 1983. Soil Survey of the USU Range Experiment Area in Tintic Valley, Utah. White Horse Associates, Smithfield, UT.
- Jiang, P, SH Anderson, NR Kitchen, EJ Sadler and KA Sudduth 2007. Landscape and conservation management effects on hydraulic properties of a claypan-soil toposequence. *Soil Science Society of America Journal* 71: 803-811.
- Joffe, Jacob S 1949. Pedology. *Soil Science* 68: 346.
- Johnson, Richard and Dean Wichern 1992. *Applied multivariate statistical methods*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Johnston, Scott G, Phil Hirst, Peter G Slavich, Richard T Bush and Thor Aaso 2009. Saturated hydraulic conductivity of sulfuric horizons in coastal floodplain acid sulfate soils: Variability and implications. *Geoderma* 151: 387-394.
- Jong, E De, DF Acton and HB Stonehouse 1990. Estimating the Atterberg limits of southern Saskatchewan soils from texture and carbon contents. *Canadian Journal of Soil Science* 70: 543-554.
- Jørgensen, Sven Erik and Giuseppe Bendoricchio 2001. *Fundamentals of ecological modelling*: Elsevier.
- Jury, W. A 1999. Present directions and future research in vadose zone hydrology. *Vadose zone hydrology: Cutting across disciplines*. Oxford Univ. Press, New York: 432-442.
- Kacar, B 1996. Toprak analizleri.(soil analysis) AÜ Ziraat Fakültesi Eğitim Arastırma ve Gelistirme Vakfi Publications No: 3. In Toprak analizleri.(soil analysis) AÜ Ziraat Fakültesi Eğitim Arastırma ve Gelistirme Vakfi Publications No: 3: Ankara.
- Kalaycı, Şeref 2010. SPSS uygulamalı çok değişkenli istatistik teknikleri: Asil Yayın Dağıtım Ankara, Turkey.
- Kantarıcı, M Doğan 2000. Toprak ilmi: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi.
- Kanwar, RS 1991. Preferential movement of nitrate and herbicides to shallow groundwater as affected by tillage and crop rotation. In Preferential movement of nitrate and herbicides to shallow groundwater as affected by tillage and crop rotation, Proc. of the National Symp. on Prefer. Flow, 328-337.

- Karvonen, T, H Koivusalo, M Jauhiainen, J Palko and K Wepling 1999. A hydrological model for predicting runoff from different land use areas. *Journal of hydrology* 217: 253-265.
- Kemp, Rob A, Paul A McDaniel and Alan J Busacca 1998. Genesis and relationship of macromorphology and micromorphology to contemporary hydrological conditions of a welded Argixeroll from the Palouse in Idaho. *Geoderma* 83: 309-329.
- Kemper, WD and RC Rosenau 1986. Aggregate stability and size distribution.
- Khadkikar, Aniruddha S, LS Chamyal and R Ramesh 2000. The character and genesis of calcrete in Late Quaternary alluvial deposits, Gujarat, western India, and its bearing on the interpretation of ancient climates. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 162: 239-261.
- Khan, Shahbaz, Munir A Hanjra and Jianxin Mu 2009. Water management and crop production for food security in China: a review. *Agricultural water management* 96: 349-360.
- Kılıç, Kenan, Engin Özgöz and Fevzi Akbaş 2004. Assessment of spatial variability in penetration resistance as related to some soil physical properties of two fluvents in Turkey. *Soil and tillage research* 76: 1-11.
- Kırda, C and A Sariyev 2002. *Toprak Fiziği*. ÇÜ Ziraat Fakültesi Genel Yayın.
- Kirkby, Michael J and RJ Chorley 1967. Throughflow, overland flow and erosion. *Hydrological Sciences Journal* 12: 5-21.
- Klimchouk, AB 1996. Speleogenesis in gypsum. *International Journal of Speleology* 25: 61-82.
- Klute, A 1982. Tillage effects on the hydraulic properties of soil: a review. Predicting tillage effects on soil physical properties and processes: 29-43.
- Klute, A and Ch Dirksen 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. *Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods*: 687-734.
- Kohnke, Helmut 1968. *Soil physics*: Tata Mcgraw-Hill Publishing Company Limited; New Delhi.
- Koorevaar, P, G Menelik and Christiaan Dirksen 1983. *Elements of soil physics*: Elsevier.
- Kulli, Beatrice, Christian Stamm, Andreas Papritz and Hannes Flüher 2003. Discrimination of flow regions on the basis of stained infiltration patterns in soil profiles. *Vadose Zone Journal* 2: 338-348.
- Kurniawan, Alfin, Suryadi Ismadji, Felycia Edi Soetaredjo and Aning Ayucitra 2014. Natural Clays/Clay Minerals and Modified Forms for Heavy Metals Removal. In *Heavy Metals In Water*, 213-248.
- Kutilek, M 2004. Soil hydraulic properties as related to soil structure. *Soil and tillage research* 79: 175-184.
- Kutlek, Miroslav and Donald R. Nielsen 2007. Interdisciplinarity of hydropedology. *Geoderma* 138: 252-260. doi: 10.1016/j.geoderma.2006.11.015
- Kutlu, Turgut 2005. Retc Bilgisayar Modelinde Kullanılan Parametreler ve Tahmin Değerlerinin Uzaysal Değişkenliği. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*
- Lal, Rattan 1988. Soil degradation and the future of agriculture in sub-Saharan Africa. *Journal of Soil and Water Conservation* 43: 444-451.

- Lambert, Raymond S 2007. Soils: Genesis and Geomorphology (Randall Schaetzl and Sharon Anderson). *Environmental & Engineering Geoscience* 13: 77-78.
- Lambrechts, JNN and CN MacVicar 2004. Soil genesis and classification and soil resources databases. *South African Journal of Plant and Soil* 21: 288-300.
- Leytem, AB and RL Mikkelsen 2005. The nature of phosphorus in calcareous soils. *Better Crops* 89: 11-13.
- Li, Xiao-Yan, Sergio Contreras, Albert Solé-Benet, Yolanda Cantón, Francisco Domingo, Roberto Lázaro, Henry Lin, Bas Van Wesemael and Juan Puigdefábregas 2011. Controls of infiltration–runoff processes in Mediterranean karst rangelands in SE Spain. *Catena* 86: 98-109. doi: 10.1016/j.catena.2011.03.003
- Li, Yimin and Masoud Ghodrati 1994. Preferential transport of nitrate through soil columns containing root channels. *Soil Science Society of America Journal* 58: 653-659.
- Lin, H 2010a. Earth's Critical Zone and hydrogeology: concepts, characteristics, and advances. *Hydrology and Earth System Sciences* 14: 25.
- Lin, H, J Bouma, LP Wilding, JL Richardson, M Kutilek and DR Nielsen 2005a. Advances in hydrogeology. *Advances in agronomy* 85: 1-89.
- Lin, H. S. K. J. McInnes, L. P. Wilding, and C. T. Hallmark 1999. Effects of Soil Morphology on Hydraulic Properties: II. Hydraulic Pedotransfer Functions *Soil Science Society of America Journal* 63: 955-961.
- Lin, Hangsheng 1995. Hydraulic properties and macropore flow of water in relation to soil morphology.
- Lin, Hangsheng 2003a. Hydrogeology. *Vadose Zone Journal* 2: 1-11.
- Lin, Hangsheng 2003b. Hydrogeology: Bridging Disciplines, Scales, and Data. *Vadose Zone Journal* 2:1–11 2: 1-11.
- Lin, Hangsheng, Dan Wheeler, Jay Bell and Larry Wilding 2005b. Assessment of soil spatial variability at multiple scales. *Ecological Modelling* 182: 271-290.
- Lin, Henry 2011. Hydrogeology: Towards new insights into interactive pedologic and hydrologic processes across scales. *Journal of Hydrology* 406: 141-145. doi: 10.1016/j.jhydrol.2011.05.054
- Lin, Henry 2010b. Linking principles of soil formation and flow regimes. *Journal of Hydrology* 393: 3-19.
- Lin, Henry, Johan Bouma, Yakov Pachepsky, Andrew Western, James Thompson, Rien Van Genuchten, Hans-Jörg Vogel and Allan Lilly 2006a. Hydrogeology: Synergistic integration of pedology and hydrology. *Water Resources Research* 42.
- Lin, Henry, Erin Brooks, Paul Mcdaniel and Jan Boll 2008. Hydrogeology and surface/subsurface runoff processes. *Encyclopedia of Hydrological Sciences*.
- Lin, HS, W Kogelmann, C Walker and MA Bruns 2006b. Soil moisture patterns in a forested catchment: A hydrogeological perspective. *Geoderma* 131: 345-368.
- Lin, Yong-Hong 2010c. Effects of aluminum on root growth and absorption of nutrients by two pineapple cultivars [*Ananas comosus* (L.) Merr.]. *African Journal of Biotechnology* 9: 4034-4041.

- Lindbo, David L and JL Richardson 2001. Hydric soils and wetlands in riverine systems. *Wetland soils: Genesis, hydrology, landscapes, and classification*. Lewis Publishers, Boca Raton. Hydric soils and wetlands in riverine systems: 283-299.
- Lindsay, WL 1984. Soil and plant relationships associated with iron deficiency with emphasis on nutrient interactions. *Journal of Plant Nutrition* 7: 489-500.
- Liu, F, C Colombo, P Adamo, JZ He and A Violante 2002. Trace elements in manganese-iron nodules from a Chinese Alfisol. *Soil Science Society of America Journal* 66: 661-670.
- Liu, SL, XD Guo, BJ Fu, G Lian and J Wang 2007. The effect of environmental variables on soil characteristics at different scales in the transition zone of the Loess Plateau in China. *Soil use and management* 23: 92-99.
- Logsdon, SD and DB Jaynes 1996. Spatial variability of hydraulic conductivity in a cultivated field at different times. *Soil Science Society of America Journal* 60: 703-709.
- Loveland, P and J Webb 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil and tillage research* 70: 1-18.
- Ludwig, John A and David J Tongway 1997. A landscape approach to rangeland ecology. In *A landscape approach to rangeland ecology*, 1-12: CSIRO Publishing, Melbourne, Australia.
- Ludwig, John A, John A Wiens and David J Tongway 2000. A scaling rule for landscape patches and how it applies to conserving soil resources in savannas. *Ecosystems* 3: 84-97.
- Ludwig, John A, Bradford P Wilcox, David D Breshears, David J Tongway and Anton C Imeson 2005. Vegetation patches and runoff-erosion as interacting ecohydrological processes in semiarid landscapes. *Ecology* 86: 288-297.
- Macfadyen, WA 1950. Sandy Gypsum Crystals from Berbera, British Somaliland. *Geological Magazine* 87: 409-420.
- Machin, J and A Navas 1998. Spatial analysis of gypsiferous soils in the Zaragoza province (Spain), using GIS as an aid to conservation. *Geoderma* 87: 57-66.
- Mallants, Dirk, Binayak P Mohanty, Diederik Jacques and Jan Feyen 1996. Spatial variability of hydraulic properties in a multi-layered soil profile. *Soil Science* 161: 167-181.
- Mallawatantri, AP, BG McConkey and DJ Mulla 1996. Characterization of pesticide sorption and degradation in macropore linings and soil horizons of Thatuna silt loam. *Journal of Environmental Quality* 25: 227-235.
- Mao, LL, TW Lei and VF Bralts 2011. An analytical approximation method for the linear source soil infiltrability measurement and its application. *Journal of Hydrology* 411: 169-177.
- Martinez-Mena, M, V Castillo and J Albaladejo 2001. Hydrological and erosional response to natural rainfall in a semi-arid area of south-east Spain. *Hydrological Processes* 15: 557-571.
- Mayor, Ángeles G, Susana Bautista and Juan Bellot 2009. Factors and interactions controlling infiltration, runoff, and soil loss at the microscale in a patchy Mediterranean semiarid landscape. *Earth Surface Processes and Landforms* 34: 1702-1711.

- Mazaheri, Mahmoud Reza and Majid Mahmoodabadi 2012. Study on infiltration rate based on primary particle size distribution data in arid and semiarid region soils. *Arabian Journal of Geosciences* 5: 1039-1046.
- McCarthy, Paul J and A Guy Plint 1998. Recognition of interfluvial sequence boundaries: integrating paleopedology and sequence stratigraphy. *Geology* 26: 387-390.
- McCord, James T and Daniel B Stephens 1987. Lateral moisture flow beneath a sandy hillslope without an apparent impeding layer. *Hydrological Processes* 1: 225-238.
- McDonnell, JJ, M Sivapalan, K Vaché, S Dunn, G Grant, R Haggerty, C Hinz, R Hooper, J Kirchner and ML Roderick 2007. Moving beyond heterogeneity and process complexity: A new vision for watershed hydrology. *Water Resources Research* 43.
- McFadden, Leslie David 1982. *The Impacts Of Temporal And Spatial Climatic Changes On Alluvial Soils Genesis In Southern California*.
- McGrath, David, Chaosheng Zhang and Owen T Carton 2004. Geostatistical analyses and hazard assessment on soil lead in Silvermines area, Ireland. *Environmental Pollution* 127: 239-248.
- McGuire, KJ, Jeffery J McDonnell, M Weiler, C Kendall, BL McGlynn, JM Welker and J Seibert 2005. The role of topography on catchment-scale water residence time. *Water Resources Research* 41.
- McNeal, James M, RC Severson and LARRY P GouGH 1985. The occurrence of extractable elements in soils from the northern Great Plains. *Soil Science Society of America Journal* 49: 873-881.
- Meek, Burl D, ER Rechel, Lyle M Carter, William R DeTar and AL Urie 1992. Infiltration rate of a sandy loam soil: effects of traffic, tillage, and plant roots. *Soil Science Society of America Journal* 56: 908-913.
- Mehuys, GR, LH Stolzy, J Letey and LV Weeks 1975. Effect of stones on the hydraulic conductivity of relatively dry desert soils. *Soil Science Society of America Journal* 39: 37-42.
- Merino-Martín, L, DD Breshears, M Moreno-de Las Heras, JC Villegas, S Pérez-Domingo, T Espigares and JM Nicolau 2011. Ecohydrological interrelationships between vegetation patches and soil hydrological properties along a disturbance gradient: How sources and sinks of runoff determine a restoration threshold. *Restor. Ecol* 20: 360-368.
- Merino-Martín, Luis, Mariano Moreno-de las Heras, Tíscar Espigares and José M. Nicolau 2015. Overland flow directs soil moisture and ecosystem processes at patch scale in Mediterranean restored hillslopes. *Catena* 133: 71-84. doi: 10.1016/j.catena.2015.05.002
- Messing, I and NJ Jarvis 1990. Seasonal variation in field-saturated hydraulic conductivity in two swelling clay soils in Sweden. *European Journal of Soil Science* 41: 229-237.
- Michaelides, Katerina, Debbie Lister, John Wainwright and Anthony J Parsons 2009. Vegetation controls on small-scale runoff and erosion dynamics in a degrading dryland environment. *Hydrological Processes* 23: 1617-1630.
- Miller, Bradley A and Randall J Schaetzl 2015. Digital classification of hillslope position. *Soil Science Society of America Journal* 79: 132-145.
- Miller, EE and RD Miller 1956. Physical theory for capillary flow phenomena. *Journal of Applied Physics* 27: 324-332.

- Miller, JJ and JA Brierley 2011. Solonetzic soils of Canada: Genesis, distribution, and classification. *Canadian Journal of Soil Science* 91: 889-902.
- Minasny, Budiman and Alex B McBratney 2002. The efficiency of various approaches to obtaining estimates of soil hydraulic properties. *Geoderma* 107: 55-70.
- Minasny, Budiman and Alex B McBratney 2000. Estimation of sorptivity from disc-permeameter measurements. *Geoderma* 95: 305-324.
- Minasny, Budiman, Alex B McBratney and Sébastien Salvador-Blanes 2008. Quantitative models for pedogenesis—A review. *Geoderma* 144: 140-157.
- Mirus, Benjamin B and Keith Loague 2013. How runoff begins (and ends): Characterizing hydrologic response at the catchment scale. *Water Resources Research* 49: 2987-3006.
- Moore, Ian D and GORDON J Burch 1986. Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Science Society of America Journal* 50: 1294-1298.
- Moore, ID, CL Larson, DC Slack, BN Wilson, F Idike and MC Hirschi 1981. Modelling infiltration: A measurable parameter approach. *Journal of Agricultural Engineering Research* 26: 21-32.
- Moreno-de Las Heras, M, JM Nicolau and T Espigares 2008. Vegetation succession in reclaimed coal-mining slopes in a Mediterranean-dry environment. *Ecological engineering* 34: 168-178.
- Morgan, Charles P and Mark H Stolt 2006. Soil morphology-water table cumulative duration relationships in southern New England. *Soil Science Society of America Journal* 70: 816-824.
- Mosley, M Paul 1979. Streamflow generation in a forested watershed, New Zealand. *Water Resources Research* 15: 795-806.
- Mugler, CC, JJ Van Loef, P Buurman and JDJ Van Doesburg 2001. Mineralogical and (sub) microscopic aspects of iron oxides in polygenetic Oxisols from Minas Gerais, Brazil. *Geoderma* 100: 147-171.
- Mulders, Michel Adrianus 1969. The arid soils of the Balikh Basin (Syria): [Goudsesingel 260] Bronder-Offset.
- Mulla, DJ and AB McBratney 2000. Soil spatial variability. p. A321–A352. MK Summer (ed.) *Handbook of soil science*. In *Soil spatial variability*. p. A321–A352. MK Summer (ed.) *Handbook of soil science*: CRC Press, Boca Raton, FL. *Soil spatial variability*. p. A321–A352. In MK Summer (ed.) *Handbook of soil science*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Munsuz, N, N Durutan, M Güler and M Karaca 1992. Soil Management for Efficient Water Use Under Main Cropping Systems in Semi-Arid Areas of Turkey. In *Water Saving Techniques for Plant Growth*, 167-189: Springer.
- Munsuz, Nuri 1985. *Toprak Mekaniği ve Teknolojisi*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. Ders Kitabı.
- Murray, RC 1964. Origin and diagenesis of gypsum and anhydrite. *Journal of Sedimentary Research* 34.
- Nelson, DW and L_E Sommers 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis*. Part 2. Chemical and microbiological properties: 539-579.

- Neris, J, C Jiménez, J Fuentes, G Morillas and M Tejedor 2012. Vegetation and land-use effects on soil properties and water infiltration of Andisols in Tenerife (Canary Islands, Spain). *Catena* 98: 55-62.
- Nichols, Dale S 1998. Temperature of upland and peatland soils in a north central Minnesota forest.
- Nieber, JL, TWJ Bauters, TS Steenhuis and J-Y Parlange 2000. Numerical simulation of experimental gravity-driven unstable flow in water repellent sand. *Journal of Hydrology* 231: 295-307.
- Nieber, John L and Glenn S Warner 1991. Soil pipe contribution to steady subsurface stormflow. *Hydrological Processes* 5: 329-344.
- Nielsen, DRJW, JW Biggar and KT Erh 1973. Spatial variability of field-measured soil-water properties. *California Agriculture* 42: 215-259.
- Nizam, A, D Kleinbaum, K Muller and L Kupper 1998. Applied regression analysis and other multivariable methods. Duxbury Pr, Pacific Grove.
- Nizeyimana, Egide and Thomas J Bicki 1992. Soil And Soil-Landscape Relationships In The North Central Region Of Rwanda, East-Central Africa. *Soil Science* 153: 225-236.
- Olorunlana, FA 2015. Factor analysis of soil spatial variability in Akoko Region of Ondo State, Nigeria. *Journal of Geography and Regional Planning* 8: 12.
- Orhunbilge, Neyran 2000. Tanımsal istatistik olasılık ve olasılık dağılımları: İstanbul Üniversitesi.
- Ott, RL 1993. An introduction to statistical methods and data analysis. Belmont, CA: Wadsworth. In An introduction to statistical methods and data analysis. Belmont, CA: Wadsworth: Inc.
- Ovalles, FA and ME Collins 1986. Soil-landscape relationships and soil variability in north central Florida. *Soil Science Society of America Journal* 50: 401-408.
- Owe, Manfred, E Bruce Jones and Thomas J Schmutge 1982. Soil Moisture Variation Patterns Observed In Hand County, South Dakota1. In *Soil Moisture Variation Patterns Observed In Hand County, South Dakota1*: Wiley Online Library.
- Owliaie, HR, A Abtahi and RJ Heck 2006. Pedogenesis and clay mineralogical investigation of soils formed on gypsiferous and calcareous materials, on a transect, southwestern Iran. *Geoderma* 134: 62-81.
- Öhrström, Pernilla, Magnus Persson, J Albergel, P Zante, S Nasri, Ronny Berndtsson and J Olsson 2002. Field-scale variation of preferential flow as indicated from dye coverage. *Journal of Hydrology* 257: 164-173.
- Özaytekin, Hasan Hüseyin and Uzun Cihan 2009. Orta Toroslarda Sert Kireç Taşı Üzerinde Yer Alan Kireçli Ve Kireçsiz Terra Rossalarda Toprak Oluşumu. *Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi* 23: 44-55.
- Özcan, Hasan and Cengiz Akbulak 2016. Toprak tekstürü-hidrolik iletkenlik ilişkisinin CBS ile incelenmesi: Kumkale ovası örneği.
- Özhan, S 2004. Havza amenajmanı. İÜ Rektörlük Yayın.
- Öztaş, T 1996. Eğimli bir arazide erozyonla kaybolan toprak derinliğindeki değişimin Kriging analizi ile belirlenmesi. *Tarım-Çevre İlişkileri Sempozyumu—Doğal Kaynakların Sürdürülebilir Kullanımı*, s: 327-335.

- Öztekin, Tekin, Bilal Cemek and Larry C Brown 2007. Pedotransfer functions for the hydraulic properties of layered soils. *GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi* 24: 77-86.
- Öztekin, Tekin and Sabit Erşahin 2006. Saturated hydraulic conductivity variation in cultivated and virgin soils. *Turkish journal of agriculture and forestry* 30: 1-10.
- Öztekin, Tekin and Selma Öztekin 2007. Hacim Ağırlığı ve Drenaj Sisteminin İnfiltrasyona Etkileri. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2007.
- Pachepsky, Ya A, DJ Timlin and WJ Rawls 2001. Soil water retention as related to topographic variables. *Soil Science Society of America Journal* 65: 1787-1795.
- Pachepsky, Yakov, Daniel Gimenez, Allan Lilly and Attila Nemes 2008. Promises of hydropedology. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 3: 1-19.
- Pagliai, M, M La Marca, G Lucamante and L Genovese 1984. Effects of zero and conventional tillage on the length and irregularity of elongated pores in a clay loam soil under viticulture. *Soil and tillage research* 4: 433-444.
- Pankhurst, CE, A Pierret, BG Hawke and JM Kirby 2002. Microbiological and chemical properties of soil associated with macropores at different depths in a red-duplex soil in NSW Australia. *Plant and Soil* 238: 11-20.
- Park, S. J. and N. van de Giesen 2004. Soil-landscape delineation to define spatial sampling domains for hillslope hydrology. *Journal of Hydrology* 295: 28-46. doi: 10.1016/j.jhydrol.2004.02.022
- Park, SJ and TP Burt 1999. Identification of throughflow using the distribution of secondary iron oxides in soils. *Geoderma* 93: 61-84.
- Parlange, Jean-yves 1972. *Theory Of Water Movement In Soils*: 8.: One-dimensional infiltration with constant flux at the surface. *Soil Science* 114: 1-4.
- Pennock, D Jo, BJ Zebarth and E De Jong 1987. Landform classification and soil distribution in hummocky terrain, Saskatchewan, Canada. *Geoderma* 40: 297-315.
- Pennock, DJ and E De Jong 1990. Regional and catenary variations in properties of Borolls of southern Saskatchewan, Canada. *Soil Science Society of America Journal* 54: 1697-1701.
- Perroux, KM and I White 1988. Designs for disc permeameters. *Soil Science Society of America Journal* 52: 1205-1215.
- Persson, Magnus 2005. Estimating surface soil moisture from soil color using image analysis. *Vadose Zone Journal* 4: 1119-1122.
- Philip, JR 1958. *The Theory Of Infiltration*: 7. *Soil Science* 85: 333-337.
- Pierson, Frederick B, Peter R Robichaud and Kenneth E Spaeth 2001. Spatial and temporal effects of wildfire on the hydrology of a steep rangeland watershed. *Hydrological Processes* 15: 2905-2916.
- Poch, Rosa Maria, Walter De Coster and Georges Stoops 1998. Pore space characteristics as indicators of soil behaviour in gypsiferous soils. *Geoderma* 87: 87-109.
- Porta, Jaume 1998. Methodologies for the analysis and characterization of gypsum in soils: a review. *Geoderma* 87: 31-46.

- Post, Donald F, RB Bryant, AK Batchily, AR Huete, SJ Levine, MD Mays and R Escadafal 1993. Correlations between field and laboratory measurements of soil color. *Soil color*: 35-49.
- Presley, DeAnn Ricks 2007. Genesis and spatial distribution of upland soils in east central Kansas, Kansas State University.
- Puigdefabregas, Juan, Gabriel del Barrio, Matthias M Boer, Leonardo Gutierrez and Albert Sole 1998. Differential responses of hillslope and channel elements to rainfall events in a semi-arid area. *Geomorphology* 23: 337-351.
- Qiu, Yang, Bojie Fu, Jun Wang and Liding Chen 2001. Soil moisture variation in relation to topography and land use in a hillslope catchment of the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology* 240: 243-263.
- Quisenberry, VL, BR Smith, RE Phillips, HD Scott and S Nortcliff 1993. A soil classification system for describing water and chemical transport. *Soil Science* 156: 306-315.
- Rabenhorst, Martin Capell, Jay C Bell and Paul A McDaniel 1998. Quantifying soil hydromorphology.
- Rabenhorst, MC, JE Foss and DS Fanning 1982. Genesis of Maryland soils formed from serpentinite. *Soil Science Society of America Journal* 46: 607-616.
- Rabenhorst, MC and DL Lindbo 1998. Micromorphology of sandy epipedons along an upland-wetland transect. *Quantifying Soil Hydromorphology*: 195-208.
- Ransom, MD, NE Smeck and JM Bigham 1987. Micromorphology of seasonally wet soils on the Illinoian till plain, USA. *Geoderma* 40: 83-99.
- Rasmussen, KJ 1976. Soil compaction by traffic in spring, 2: Soil physical measurements [porosity, retention curves, hydraulic conductivity, sheer strength]. *Tidsskrift for Planteavl* (Denmark).
- Rawls, Walter J, DL Brakensiek and KE Saxton 1982. Estimation of soil water properties. *Transactions of the ASAE* 25: 1316-1320.
- Reynolds, Wd And De Elrick 1985. In Situ Measurement Of Field-Saturated Hydraulic Conductivity, Sorptivity, And The [Alpha]-Parameter Using The Guelph Permeameter. *Soil Science* 140: 292-302.
- Rhanor, Thomas 2013. Topographic position and land cover effects on soil organic carbon distribution of loess-veneered hillslopes in the central United States: Southern Illinois University at Carbondale.
- Richardson, JL and FD Hole 1979. Mottling and iron distribution in a Glossoboralf-Haplaquoll hydrosequence on a glacial moraine in northwestern Wisconsin. *Soil Science Society of America Journal* 43: 552-558.
- Rinderer, Michael and Jan Seibert 2012. Soil information in hydrologic models: Hard data, soft data, and the dialog between experimentalists and modelers: na.
- Rodriguez-Cruz, M Sonia, Julie E Jones and Gary D Bending 2006. Field-scale study of the variability in pesticide biodegradation with soil depth and its relationship with soil characteristics. *Soil Biology and Biochemistry* 38: 2910-2918.

- Roseberg, RJ and EL McCoy 1991. Crop and tillage induced changes in macropore geometry. In Crop and tillage induced changes in macropore geometry, Preferential Flow: Proceedings of National Symposium, American Society of Agricultural Engineers, 383-392.
- Rossel, RA Viscarra, B Minasny, P Roudier and AB McBratney 2006a. Colour space models for soil science. *Geoderma* 133: 320-337.
- Rossel, RA Viscarra, DJJ Walvoort, AB McBratney, Leslie J Janik and JO Skjemstad 2006b. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. *Geoderma* 131: 59-75.
- Roth, CH, B Meyer, H-G Frede and R Derpsch 1986. The effect of different soybean tillage systems on infiltrability and erosion susceptibility of an Oxisol in Paran, Brazil. *Journal of agronomy and crop science* 157: 217-226.
- Roth, K, W Aetal Jury, H Flhler and W Attinger 1991. Transport of chloride through an unsaturated field soil. *Water Resources Research* 27: 2533-2541.
- Ruhe, Robert V 1960. Elements of the soil landscape. *Transactions 7th int. Congr. Soil Sci.* 4: 165-170.
- Sağlam, Mustafa 2013. ok değişkenli istatistiksel yntemler ile toprak zelliklerinin gruplandırılması. *Toprak Su Dergisi* 2.
- Sağlam, Mustafa 2015. Evaluation of the physicochemical properties of alluvial and colluvial soils formed under ustic moisture regime using multivariate geostatistical techniques. *Archives of Agronomy and Soil Science* 61: 943-957.
- Sağlam, Mustafa 2008. Gkhyk Tarım İşletmesinde Yaygın Toprak Serilerinde Bazı Kalite Gstergelerinin Uzaysal Degiskenliginin Jeostatistiksel Yntemlerle İncelenmesi.
- Salve, Rohit and Barbara Allen-Diaz 2001. Variations in soil moisture content in a rangeland catchment. *Journal of Range Management*: 44-51.
- Snchez-Maraon, M, R Delgado, J Prraga and G Delgado 1996. Multivariate analysis in the quantitative evaluation of soils for reforestation in the Sierra Nevada (southern Spain). *Geoderma* 69: 233-248.
- Sarp, Sinan; Aydoğdu nder 2010. ankiri-Merkez-Sleymanlı Ve Aşaağı Pelitz Jeotermal Arama Ruhsat Sahalari Jeoloji Etd. *Maden Tetkik ve Arama Genel Mdrlğ, Enerji Hammadde Ett ve Arama Dairesi Başkanlığı - Ankara.
- Satterlund, DR 1972. Erosion. *Wildland Watershed Management*. Ronal Press, NY: 172-189.
- Sauer, Thomas J and Sally D Logsdon 2002. Hydraulic and physical properties of stony soils in a small watershed. *Soil Science Society of America Journal* 66: 1947-1956.
- Schaetzl, Randall and Michael L Thompson 2015. *Soils*: Cambridge University Press.
- Schaetzl, RJ and S Anderson 2005. *Soils Genesis and Geomorphology* Cambridge University Press. New York.
- Scharenbroch, Bryant C, John E Lloyd and Jodi L Johnson-Maynard 2005. Distinguishing urban soils with physical, chemical, and biological properties. *Pedobiologia* 49: 283-296.

- Scheffer, F and P Schachtschabel 2001. Toprak Bilimi (Çevirenler: H. Özbek, Z. Kaya, M. Gök, H. Kaptan), Ç. Ü Ziraat Fakültesi, Genel Yayın.
- Schmocker-Fackel, P, F Naef and S Scherrer 2007. Identifying runoff processes on the plot and catchment scale. *Hydrology and Earth System Sciences* 11: 891-906.
- Schmocker-Fackel, Petra 2004. A method to delineate runoff processes in a catchment and its implications for runoff simulations.
- Schoeneberger, Philip J 2012. Field book for describing and sampling soils: Government Printing Office.
- Schoeneberger, Philip J 2002. Field book for describing and sampling soils: Government Printing Office.
- Schor, Horst J and Donald H Gray 2007. Landforming: an environmental approach to hillside development, mine reclamation and watershed restoration: John Wiley & Sons.
- Schulze, Darrell G, Jeffrey L Nagel, George E Van Scoyoc, Tracey L Henderson, Marion F Baumgardner and DE Stott 1993. Significance of organic matter in determining soil colors. *Soil color*: 71-90.
- Schwab, GO, Delmar D Fangmeier, William J Elliot and Richard K Frevert 1993. Soil and water conservation engineering. John Willey & Sons. Inc. Toronto.
- Schwertmann, Udo 1993. Relations between iron oxides, soil color, and soil formation. *Soil color*: 51-69.
- Seobi, Tshepiso, SH Anderson, RP Udawatta and CJ Gantzer 2005. Influence of grass and agroforestry buffer strips on soil hydraulic properties for an Albaqualf. *Soil Science Society of America Journal* 69: 893-901.
- Severson, ED, DL Lindbo and MJ Vepraskas 2008. Hydopedology of a coarse-loamy catena in the lower Coastal Plain, NC. *Catena* 73: 189-196.
- Shankar, Navin and Hema Achyuthan 2007. Genesis of calcic and petrocalcic horizons from Coimbatore, Tamil Nadu: Micromorphology and geochemical studies. *Quaternary International* 175: 140-154.
- Shapiro, MA, H Wernli, NA Bond and R Langland 2001. The influence of the 1997–99 El Niño Southern Oscillation on extratropical baroclinic life cycles over the eastern North Pacific. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 127: 331-342.
- Sharma, ML, GA Gander and CG Hunt 1980. Spatial variability of infiltration in a watershed. *Journal of Hydrology* 45: 101-122.
- Shi, Hui and Mingan Shao 2000. Soil and water loss from the Loess Plateau in China. *Journal of arid environments* 45: 9-20.
- Shukla, MK, R Lal and M Ebinger 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil and tillage research* 87: 194-204.
- Sidle, Roy C 2006. Field observations and process understanding in hydrology: essential components in scaling. *Hydrological Processes* 20: 1439-1445.
- Sidle, Roy C, Shoji Noguchi, Yoshio Tsuboyama and Karin Laursen 2001. A conceptual model of preferential flow systems in forested hillslopes: Evidence of self-organization. *Hydrological Processes* 15: 1675-1692.

- Sidele, Roy C, Yoshio Tsuboyama, Shoji Noguchi, Ikuhiro Hosoda, Motohisa Fujieda and Toshio Shimizu 2000. Stormflow generation in steep forested headwaters: a linked hydrogeomorphic paradigm. *Hydrological Processes* 14: 369-385.
- Sinai, G, D Zaslavsky and P Golany 1981. The effect of soil surface curvature on moisture and yield-Beer Sheba observation. *Soil Science* 132: 367-375.
- Sivapalan, Murugesu 2003. Process complexity at hillslope scale, process simplicity at the watershed scale: is there a connection? *Hydrological Processes* 17: 1037-1041.
- Skidmore, EL and JB Layton 1992. Dry-soil aggregate stability as influenced by selected soil properties. *Soil Science Society of America Journal* 56: 557-561.
- Sobecki, TM and LP Wilding 1982. Calcic horizon distribution and soil classification in selected soils of the Texas Coast Prairie. *Soil Science Society of America Journal* 46: 1222-1227.
- Sobieraj, JA, H Elsenbeer, RM Coelho and B Newton 2002. Spatial variability of soil hydraulic conductivity along a tropical rainforest catena. *Geoderma* 108: 79-90.
- Sojka, RE, RD Lentz, CW Ross, TJ Trout, DL Bjorneberg and JK Aase 1998. Polyacrylamide effects on infiltration in irrigated agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation* 53: 325-331.
- Sönmez, Koray 1980. Atatürk Üniversitesi Elazığ Çiftliğinde toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin agregasyon üzerine tesirleri ile ilgili araştırmalar. In Atatürk Üniversitesi Elazığ Çiftliğinde toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin agregasyon üzerine tesirleri ile ilgili araştırmalar.
- Sposito, G 1989. The chemistry of soils. New York. In *The chemistry of soils*. New York: Oxford University.
- Staff, Soil Survey Division 1993. *Soil survey manual*: United States Department of Agriculture.
- Stauffer, Fritz and Themistocles Dracos 1986. Experimental and numerical study of water and solute infiltration in layered porous media. *Journal of Hydrology* 84: 9-34.
- Şenol, Hüseyin 2014. Yarı Kurak Şartlarda Volkanik Materyal Üzerinde Oluşan Toprakların Ayrışma Oranları ve Kil Mineralojisine Kuzey ve Güney Bakınının Etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi* 20: 288-301.
- Şimşek, Gülağa 1973. Bir Toprak Üntinin Profil Ve Horizonlarının Tanımı Ve Sembollendirilmesi. *Journal of the Faculty of Agriculture* 4.
- Taboada, Miguel A 2003. Soil Structural Behaviour of Flooded Soils. In *Soil Structural Behaviour of Flooded Soils*.
- Tanaka, Katsunori and Shoji Hashimoto 2006. Plant canopy effects on soil thermal and hydrological properties and soil respiration. *Ecological Modelling* 196: 32-44.
- Tanju, Ö 1996. *Toprak Genesis ve Sınıflandırma*. Ankara Üniv. Zir. Fak. Ders Kitabı 437.
- Targulian, Victor O and Sergey V Goryachkin 2004. Soil memory: Types of record, carriers, hierarchy and diversity. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 21: 1-8.

- Tartakovsky, Daniel M, Zhiming Lu, Alberto Guadagnini and Alexandre M Tartakovsky 2003. Unsaturated flow in heterogeneous soils with spatially distributed uncertain hydraulic parameters. *Journal of Hydrology* 275: 182-193.
- Ticehurst, Jenifer Lyn, HP Cresswell, NJ McKenzie and MR Glover 2007. Interpreting soil and topographic properties to conceptualise hillslope hydrology. *Geoderma* 137: 279-292.
- Tisdall, Judith M and J_M Oades 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of soil science* 33: 141-163.
- Tomer, MD, CA Cambardella, DE James and TB Moorman 2006. Surface-soil properties and water contents across two watersheds with contrasting tillage histories. *Soil Science Society of America Journal* 70: 620-630.
- Torrent, Jose and Vidal Barrón 1993. Laboratory measurement of soil color: theory and practice. *Soil color*: 21-33.
- Trangmar, Bruce B, Russel S Yost and Goro Uehara 1985. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in agronomy* 38: 45-94.
- Triantafilis, John and SM Lesch 2005. Mapping clay content variation using electromagnetic induction techniques. *Computers and electronics in agriculture* 46: 203-237.
- Tromp-van Meerveld, Ilja and Markus Weiler 2008. Hillslope dynamics modeled with increasing complexity. *Journal of Hydrology* 361: 24-40.
- Tromp-van Meerveld, HJ and JJ McDonnell 2006. Threshold relations in subsurface stormflow: 2. The fill and spill hypothesis. *Water Resources Research* 42.
- Trout, Thomas J 1992. Flow velocity and wetted perimeter effects on furrow infiltration. *Transactions of the ASAE* 35: 855-863.
- Tsuboyama, Yoshio, Roy C Sidle, Shoji Noguchi and Ikuhiro Hosoda 1994. Flow and solute transport through the soil matrix and macropores of a hillslope segment. *Water Resources Research* 30: 879-890.
- Tufan, Erem Abdullah 2014. Ni-Lateritlerin Oluşumu ve Özellikleri. *BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi Cilt* 16: 68-78.
- Tuli, A, K Kosugi and JW Hopmans 2001. Simultaneous scaling of soil water retention and unsaturated hydraulic conductivity functions assuming lognormal pore-size distribution. *Advances in Water Resources* 24: 677-688.
- Tuncer, ER and AA Birand 1978. Yumuşak killi zeminlerin jeolojik özellikleri. VI. Bilim Kongresi Mühendislik Araştırma Grubu Tebliği, İnşaat Seksiyonu, sayfa: 1021-1031.
- Tunçay, Tülay, İlhami Bayramın, Günay Erpul and Mümtaz Kibar 2010. Kırşehir Çiçekdağ Tarım İşletmesi Topraklarının Kalite Durumlarının Belirlenmesi. *Anadolu Journal Of Agricultural Sciences* 25: 185-191.
- Turgut, Bülent, Ekrem Lütfi Aksakal and Taşkın Öztaş 2010. Toprak sıkışmasına bağlı fiziksel ortam özelliklerindeki etkileşimler.

- Uchida, Taro, Jeffrey J McDonnell and Yuko Asano 2006. Functional intercomparison of hillslopes and small catchments by examining water source, flowpath and mean residence time. *Journal of Hydrology* 327: 627-642.
- Uhlenbrook, S, J Wenninger and S Lorentz 2005. What happens after the catchment caught the storm? Hydrological processes at the small, semi-arid Weatherley catchment, South-Africa. *Advances in Geosciences* 2: 237-241.
- Usowicz, B, J Kossowski and P Baranowski 1996. Spatial variability of soil thermal properties in cultivated fields. *Soil and tillage research* 39: 85-100.
- Usta, Sadık 1995. *Toprak Kimyası*. Ankara Üniversitesi , Ziraat Fakültesi Yayınları 1387.
- Usul, M and Orhan Dengiz 2014. Yarı Kurak İklim Koşulları Altında Farklı Fizyografya, Benzer Ana Materyal Üzerinde Yeralan Toprakların Pedogenesisleri. *Toprak Su Dergisi-Soil Water Journal* 3.
- Valiantzas, John D 2010. New linearized two-parameter infiltration equation for direct determination of conductivity and sorptivity. *Journal of hydrology* 384: 1-13.
- Van Alphen, JG and Francisco de los Ríos Romero 1971. Gypsiferous soils: notes on their characteristics and management. In *Gypsiferous soils: notes on their characteristics and management*: ILRI.
- Van Doren-Chairman, DM, RR Allmaras, DR Linden, FD Whisler, EL Skidmore, David M Kral and Sherri Hawkins 1982. Predicting Tillage Effects on Soil Physical Properties and Processes.
- Van Es, HM, CB Ogden, RL Hill, RR Schindelbeck and T Tsegaye 1999. Integrated assessment of space, time, and management-related variability of soil hydraulic properties. *Soil Science Society of America Journal* 63: 1599-1608.
- Van Genuchten, M Th and DR Nielsen 1985. On describing and predicting the hydraulic properties. In *On describing and predicting the hydraulic properties*, *Annales Geophysicae*, 615-628.
- van Genuchten, Rien 2002. Welcome to Vadose Zone Journal. *Vadose Zone Journal* 1: 1-2.
- Van Schaik, NLMB 2009. Spatial variability of infiltration patterns related to site characteristics in a semi-arid watershed. *Catena* 78: 36-47.
- Van Schaik, NLMB, S Schnabel and VG Jetten 2008. The influence of preferential flow on hillslope hydrology in a semi-arid watershed (in the Spanish Dehesas). *Hydrological Processes* 22: 3844-3855.
- van Tol, J. J., P. A. L. Le Roux, S. A. Lorentz and M. Hensley 2013a. *Hydropedological Classification of South African Hillslopes*. *Vadose Zone Journal* 12: 0. doi: 10.2136/vzj2013.01.0007
- van Tol, J.J.V Pieter Le Roux and Malcolm Hensley 2011. Soil indicator of hillslope hydrology. *S. Afr. J. Plant & Soil* 27: 242-251.
- Van Tol, JJ, M Hensley and PAL Le Roux 2013b. Pedological criteria for estimating the importance of subsurface lateral flow in E horizons in South African soils. *Water SA* 39: 47-56.
- Vandervaere, Jean-Pierre, Michel Vauclin and Dave E Elrick 2000. Transient flow from tension infiltrometers I. The two-parameter equation. *Soil Science Society of America Journal* 64: 1263-1272.

- Vauclin, M, DE Elrick, JL Thony, G Vachaud, Ph Revol and P Ruelle 1994. Hydraulic conductivity measurements of the spatial variability of a loamy soil. *Soil Technology* 7: 181-195.
- Vepraskas, Michael J, Jimmie Larry Richardson, MJ Vepraskas and Christopher B Craft 2000. *Wetland soils: genesis, hydrology, landscapes, and classification*: CRC Press.
- Vepraskas, MJ and WR Guertal 1992. Morphological indicators of soil wetness. In *Morphological indicators of soil wetness, Proceedings of the... International Soil Correlation Meeting (ICOM)(USA)*.
- Vepraskas, MJ and LP Wilding 1983. Albic neoskeletans in argillic horizons as indices of seasonal saturation and iron reduction. *Soil Science Society of America Journal* 47: 1202-1208.
- Vereecken, H, JA Huisman, H Bogaen, Jan Vanderborght, JA Vrugt and JW Hopmans 2008. On the value of soil moisture measurements in vadose zone hydrology: A review. *Water Resources Research* 44.
- Vieira, Sidney Rosa, DR Nielsen and JW Biggar 1981. Spatial variability of field-measured infiltration rate. *Soil Science Society of America Journal* 45: 1040-1048.
- Vogel, H-J and K Roth 2003. Moving through scales of flow and transport in soil. *Journal of Hydrology* 272: 95-106.
- Warrick, AW 1980. Spatial variability of soil physical properties in the field. *Applications of soil physics*: 319-344.
- Watson, KW and RJ Luxmoore 1986. Estimating macroporosity in a forest watershed by use of a tension infiltrometer. *Soil Science Society of America Journal* 50: 578-582.
- Webster, Richard 1985. Quantitative spatial analysis of soil in the field. In *Advances in soil science*, 1-70: Springer.
- Webster, Richard and Margaret A Oliver 2001. *Geostatistics for environmental scientists (Statistics in Practice)*.
- Weiler, Markus, Jeffrey J McDonnell, Ilja Tromp-van Meerveld and Taro Uchida 2005. Subsurface stormflow. *Encyclopedia of hydrological sciences*.
- Weiler, Markus and Felix Naef 2003. An experimental tracer study of the role of macropores in infiltration in grassland soils. *Hydrological Processes* 17: 477-493.
- West, CP, AP Mallarino, WF Wedin and DB Marx 1989. Spatial variability of soil chemical properties in grazed pastures. *Soil Science Society of America Journal* 53: 784-789.
- West, LT, LP Wilding and CT Hallmark 1988. Calciustolls in central Texas: II. Genesis of calcic and petrocalcic horizons. *Soil Science Society of America Journal* 52: 1731-1740.
- Whipkey, Ronald Z and MJ Kirkby 1978. Flow within the soil. *Hillslope hydrology*: 121-144.
- Wilcox, Bradford P, Larry P Wilding and CM Woodruff 2007. Soil and topographic controls on runoff generation from stepped landforms in the Edwards Plateau of Central Texas. *Geophysical Research Letters* 34.

- Wilding, LP 1985. Spatial variability: its documentation, accommodation and implication to soil surveys. In *Spatial variability: its documentation, accommodation and implication to soil surveys*, Soil spatial variability. Workshop, 166-194.
- Wilding, LP, J Bouma and Don W Goss 1994. Impact of spatial variability on interpretive modeling. *Quantitative modeling of soil forming processes*: 61-75.
- Wilding, LP, NE Smeck and GF Hall 1985. Pedogenesis and Soil Taxonomy, Series I and II. In *Pedogenesis and Soil Taxonomy, Series I and II*: Elsevier, Amsterdam, Holland.
- Williams, JR, O Ying, JS Chen and V Ravi 1998. Estimation of infiltration rate in the vadose zone: Application of selected mathematical models. Volume 2. In *Estimation of infiltration rate in the vadose zone: Application of selected mathematical models. Volume 2*: ManTech Environmental Technology, Inc., Research Triangle Park, NC (United States); Dynamac Corp., Ada, OK (United States); National Risk Management Research Lab., Subsurface Protection and Remediation Div., Ada, OK (United States).
- Wilson, GV and RJ Luxmoore 1988. Infiltration, macroporosity, and mesoporosity distributions on two forested watersheds. *Soil Science Society of America Journal* 52: 329-335.
- Wu, Gao-Lin, Yu Liu, Zheng Yang, Zeng Cui, Lei Deng, Xiao-Feng Chang and Zhi-Hua Shi 2017. Root channels to indicate the increase in soil matrix water infiltration capacity of arid reclaimed mine soils. *Journal of Hydrology*.
- Yair, A and H Lavee 1985. Runoff generation in arid and semi-arid zones. *Hydrological forecasting*/edited by MG Anderson and TP Burt.
- Yang, ZP, Q Zhang, YL Wang, JJ Zhang and MC Chen 2011. Spatial and temporal variability of soil properties under *Caragana micropylla* shrubs in the northwestern Shanxi Loess Plateau, China. *Journal of arid environments* 75: 538-544.
- Yeşilsoy, M.Ş., Aydın, M. 1995. Toprak Fiziği. Çukurova Üniv. Ziraat Fak. Ders Kitabı 124.
- Yetgin, Buket 2004. Toprak fiziksel özelliklerinin uzaysal değişkenliğinin jeostatistiksel yöntemlerle analizi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yoldaş, R 1982. Tosya (Kastamonu) ile Bayat (Çorum) arasındaki bölgenin jeolojisi. İst. Üniv. Fen Fak. Gen. Jeol. Kürsüsü, Doktora Tezi (Basılmamış), İstanbul.
- Yost, RS, Goro Uehara and RL Fox 1982. Geostatistical analysis of soil chemical properties of large land areas. I. Semi-variograms. *Soil Science Society of America Journal* 46: 1028-1032.
- Young, FJ, RD Hammer and D Larsen 1999. Frequency distributions of soil properties on a loess-mantled Missouri watershed. *Soil Science Society of America Journal* 63: 178-185.
- Yu, Xuan, Christopher Duffy, Doug C Baldwin and Henry Lin 2014. The role of macropores and multi-resolution soil survey datasets for distributed surface-subsurface flow modeling. *Journal of Hydrology* 516: 97-106.
- Zehe, Erwin and Hannes Flüher 2001. Preferential transport of isoproturon at a plot scale and a field scale tile-drained site. *Journal of Hydrology* 247: 100-115.
- Zhang, Xiaoyang, Nick A Drake and John Wainwright 2004. Scaling issues in environmental modeling. *Environmental modelling: finding simplicity in complexity*: 319-334.

Zhou, X., H. S. Lin and E. A. White 2008. Surface soil hydraulic properties in four soil series under different land uses and their temporal changes. *Catena* 73: 180-188. doi: 10.1016/j.catena.2007.09.009



7. EKLER

EK 1. Çalışma Alanında Açılan Profillerin Özellikleri

x:557614 y:4476844		Profil No:1
Horizon	Derinlik (cm)	Özellikler
Ap	0-11	Kahverengi (10 YR 4/3) kuru, kahverengi (10 YR 4/4) nemli, siltli killi tın; yaygın-orta mottles; yaygın-ince-dendritik konsantrasyon; orta-orta granüler strüktür; orta derecede kırılabilir; çok yapışkan; çok plastik; yaygın-çok ince-vesicular por; yaygın-çok ince-vesicular kök; güçlü köpürme; kesin-dalgali sınır.
Bw1	11-32	Koyu kahverengi (7,5 YR 3/3) kuru, koyu kahverengi (7,5 YR 3/4) nemli, kil; yaygın-orta mottles; yaygın-ince-dendritik konsantrasyon; orta-kaba yarı-köşeli strüktür; hafif derecede kırılabilir; hafif yapışkan; hafif plastik; yaygın-çok ince-dendritik por; yaygın-çok ince-dendritik kök; güçlü köpürme; dalgali sınır.
Bw2	32-60	Koyu kahverengi (7,5 YR 3/4) kuru, koyu kahverengi (7,5 YR 3/4) nemli, siltli tın; az-kaba mottles; çok-orta dendritik konsantrasyon; orta-ince yarı-köşeli strüktür; hafif derecede kırılabilir; hafif yapışkan; hafif plastik; çok az- çok ince-dendritik por; çok az-çok ince-dendritik kök; hafif köpürme; kesin-düz sınır.
C	> 60	Açık kahverengi (7,5 YR 6/4) kuru, açık kahverengi (7,5 YR 6/4) nemli, kil; çok-kaba mottles; az-orta dendritik konsantrasyon; orta-güçlü yarı-köşeli strüktür; hafif derecede kırılabilir; hafif yapışkan; orta plastik; çok az- çok ince-dendritik por; çok az-çok ince-dendritik kök; güçlü köpürme.

x:557596 y:4476891		Profil No: 2
Horizon	Derinlik (cm)	Özellikler
Ap	0-25	Çok soluk kahverengi (10 Yr 8/4) kuru, çok soluk kahverengi (10 YR 8/3) nemli; tın; mottles yok; yaygın-orta-dendritik konsantrasyon; zayıf-orta granüler strüktür; yumuşak- kırılabilir; hafif yapışkan; orta plastik; çok az-çok ince-dendritik por; çok az-çok ince-dendritik kök; güçlü köpürme; ani-düzensiz sınır.
C	> 25	Açık sarımsı kahverengi (10 Yr 6/4) kuru, açık sarımsı kahverengi (10 Yr 6/4) nemli; kil; mottles yok; çok-kaba dendritik konsantrasyon; zayıf-orta granüler strüktür; yumuşak-kırılabilir; orta yapışkan; orta plastik; az- ince-dendritik por; çok az-çok ince-dendritik kök; güçlü köpürme.

x: 557581 y:4476891

Profil No: 3

Horizon	Derinlik (cm)	Özellikler
Ap	0-25	Kahverengi (10 Yr 4/3) kuru; kahverengi, 10 (Yr 4/4) nemli; kil; mottles yok; az-ince-silindirik konsantrasyon; zayıf-ince granüler strüktür; yumuşak-kırılabilir; hafif yapışkan; hafif plastik; çok az-orta-vesicular por; çok az- ince-vesicular kök; güçlü köpürme, kesindalgalı sınır.
C	> 25	Açık gri (10 Yr 7/1) kuru, açık gri (10 Yr 7/2) nemli; kil; mottles yok; az-ince-silindirik konsantrasyon; orta-ince yarı-köşeli strüktür; yumuşak-dağılabilir; yapışkan değil; plastik değil; az-çok ince-dendritik por; çok az- çok ince-dendritik kök; şiddetli köpürme.

x: 557554 y:4476978

Profil No: 4

Horizon	Derinlik (cm)	Özellikler
Ap	0-34	Grimsi kahverengi (10 Yr 5/2) kuru, grimsi kahverengi (10 Yr 5/3) nemli, kil; yaygın-orta mottles; az-ince-dendritik konsantrasyon; zayıf-çok ince yar-köşeli strüktür; orta sert derecede kırılabilir; hafif yapışkan; orta plastik; az-çok ince-dendritik por; az-çok ince-dendritik kök; güçlü köpürme; kesin-dalgalı sınır.
C	> 34	Beyaz (2,5 Yr 8/1) kuru, pembemsi beyaz (2,5 Yr 8/2) nemli, kil; yaygın-orta mottles; konsantrasyon yok; zayıf-çok ince granüler; gevşek kırılabilir; yapışkan değil; plastik değil; az- çok ince-dendritik por; çok az-çok ince-dendritik kök; güçlü köpürme.

x:557527y:4477055

Profil No: 5

Horizon	Derinlik (cm)	Özellikler
Ap	0-28	Kahverengi (7,5 Yr 5/4) kuru, kahverengi (7,5 Yr 5/4) nemli, kumlu tın; mottles yok; az-ince-dendritik konsantrasyon; orta-ince levhamsı strüktür; yumuşak derecede kırılabilir; yapışkan değil; orta plastik; orta az-orta-vesicular por; az- ince-vesicular kök; güçlü köpürme, çok ani-düzensiz sınır.
Bw1	28-63	Kahverengi (7,5 Yr 4/3) kuru, kahverengi (7,5 Yr 4/4) nemli; kumlu tın; mottles yok; az-orta-dendritik konsantrasyon; orta-orta yarı-köşeli strüktür; hafif derecede kırılabilir; hafif yapışkan; orta plastik; az-ince-vesicular por; az- ince-vesicular kök; güçlü köpürme, çok ani-düzensiz sınır.
Bw2	63-98	Koyu kahverengi (7,5 Yr 4/6) kuru, koyu kahverengi (7,5 Yr 4/6) nemli, kumlu tın; mottles yok; az-orta-silindirik konsantrasyon; orta-orta yarı-köşeli strüktür; hafif derecede kırılabilir; hafif yapışkan; orta plastik; yaygın-orta-vesicular por; az-ince-vesicular kök; güçlü köpürme, çok ani-düzensiz sınır.
		Koyu kahverengi (7,5 Yr 4/6) kuru, koyu kahverengi (7,5 Yr 4/6) nemli; kumlu tın; mottles yok; az-orta-silindirik konsantrasyon; güçlü-

C	> 98	orta yarı-köşeli strüktür; orta-sert derecede kırılabilir; orta yapışkan; hafif plastik; az-çok ince-dendritik por; az-ince-vesicular kök; güçlü köpürme.
----------	----------------	---

x:557511 y:4477099		Profil No: 6
Horizon	Derinlik (cm)	Özellikler
Ap	0-20	Koyu kahverengi (7,5 Yr ¾) kuru, koyu kahverengi (10 Yr 3/3) nemli; kil; mottles yok; yaygın-orta-silindirik konsantrasyon; güçlü- ince levhamsı strüktür; orta-sert derecede kırılabilir; hafif yapışkan; hafif plastik; az-çok ince-dendritik por; az-çok ince-dendritik kök; güçlü köpürme; kesin-dalgalı sınır.
C	> 20	Koyu kahverengi (7,5 Yr 3/3) kuru, koyu kahverengi (10 Yr ¾) nemli, kil; mottles yok; az-ince-silindirik konsantrasyon; güçlü- ince levhamsı strüktür; dağılabilir-çok derecede kırılabilir; hafif yapışkan; hafif plastik; çok az-ince-dendritik por; çok az-çok ince-dendritik kök; güçlü köpürme; kesin-dalgalı sınır.

x:557493 y:4477136		Profil No: 7
Horizon	Derinlik (cm)	Özellikler
Ap	0-26	Güçlü kahverengi (7,5 Yr 5/6) kuru, güçlü kahverengi (7,5 Yr 5/8) nemli, kil; mottles yok; konsantrasyon yok; zayıf- çok ince granüler strüktür; yumuşak- kırılabilir; orta yapışkan; hafif plastik; az-çok ince-dendritik por; az-çok ince-dendritik kök; güçlü köpürme; kesin-dalgalı sınır.
C	> 26	Beyaz (2,5 Yr 8/1) kuru, beyaz pembemsi (2,5 Yr 8/2) nemli, kil; mottles yok; konsantrasyon yok; zayıf- çok ince yarı-köşeli strüktür; yumuşak- kırılabilir; orta yapışkan; hafif plastik; çok az-orta-vesicular por; az-çok ince-vesicular kök; güçlü köpürme, kesin-dalgalı sınır.

x:557438 y:477218		Profil No: 8
Horizon	Derinlik (cm)	Özellikler
Ap	0-30	Çok koyu kahverengi (7,5 Yr 2,5/3) kuru, çok koyu kahverengi (7,5 Yr 2,5/2) nemli; kil; mottles yok; az-ince-düzensiz konsantrasyon; zayıf- çok ince granüler strüktür; orta sert- çok kırılabilir; yapışkan değil; plastik değil; yaygın-ince-dendritik por; az-çok ince-dendritik kök; güçlü köpürme; kesin-dalgalı sınır.
Bw	30-63	Koyu zeytin kahve (2,5 Yr 3/3) kuru, koyu zeytin kahve (2,5 Yr 3/3) nemli; kil; mottles yok; az-ince-düzensiz konsantrasyon; orta- çok ince prizmatik strüktür; orta sert- kırılabilir; hafif yapışkan; hafif plastik; az- çok ince-dendritik por; az-çok ince-dendritik kök; hafif köpürme, kesin-dalgalı sınır.
		Pembemsi beyaz (7,5 Yr 8/2) kuru, pembemsi beyaz (7,5 Yr 8/2)

C	>63	nemli; kil; mottles yok; az-ince-düzensiz konsantrasyon; orta-çok ince prizmatik strüktür; orta sert- kırılabilir; hafif yapışkan; hafif plastik; az- çok ince-dendritik por; az-çok ince-dendritik kök; hafif köpürme, kesin-dalgalı sınır.
----------	---------------	--

x:557389 y:4477289

Profil No: 9

Horizon	Derinlik (cm)	Özellikler
Ap	0-21	Koyu kahverengi (7,5 Yr 3/3) kuru, koyu kahverengi (7,5 Yr 3/2) nemli; kil; yaygın-orta mottles; az-ince-levha konsantrasyon; orta-ince yarı-köşeli strüktür; orta sert- kırılabilir; yapışkan değil; plastik değil; çok az- ince-dendritik por; çok az-çok ince-dendritik kök; güçlü köpürme, kesin-dalgalı sınır.
C	> 21	Açık kahverengi (7,5 Yr 6/3) kuru, açık kahverengi (7,5 Yr 6/4) nemli, kumlu killi tın; yaygın-orta mottles; az-orta-düzensiz konsantrasyon; orta-ince yarı-köşeli strüktür; yumuşak- kırılabilir; yapışkan değil; plastik değil; çok az- ince-dendritik por; çok az-çok ince-dendritik kök; güçlü köpürme, kesin-dalgalı sınır

x:557401 y:4477339

Profil No: 10

Horizon	Derinlik (cm)	Özellikler
Ap	0-17	Çok koyu kahverengi (7,5 Yr 2/2) kuru, çok koyu kahverengi (7,5 Yr 2/2) nemli; kil; mottles yok; az-ince-silindirik konsantrasyon; zayıf-ince levhamsı strüktür; yumuşak-çok kırılabilir; hafif yapışkan; hafif plastik; çok az-çok ince-dendritik por; az-çok ince-dendritik kök; güçlü köpürme, çok ani-dalgalı sınır.
Bw	17-91	Çok koyu kahverengi (7,5 Yr 2,5/3) kuru, çok koyu kahverengi (7,5 Yr 2,5/2) nemli; kil; mottles yok; az-ince-silindirik konsantrasyon; orta-ince yarı-köşeli strüktür; hafif sert-çok kırılabilir; orta yapışkan; orta plastik; çok az- ince-düzensiz por; az-çok ince-dendritik kök; hafif köpürme, çok ani-dalgalı sınır.
C	>91	Çok koyu kahverengi (7,5 Yr 2,5/3) kuru, çok koyu kahverengi (7,5 Yr 2,5/2) nemli, kil; mottles yok; az-ince-silindirik konsantrasyon; orta-ince yarı-köşeli strüktür; orta sert- kırılabilir; yapışkan değil; hafif plastik; az- çok ince-düzensiz por; az-çok ince-dendritik kök; hafif köpürme, çok ani-dalgalı sınır.

x:557452 y:4477332

Profil No: 11

Horizon	Derinlik (cm)	Özellikler
Ap	0-40	Çok soluk kahverengi (10 Yr 8/2) kuru, çok soluk kahverengi (10 Yr 8/3) nemli; kil; mottles yok; az-ince-silindirik konsantrasyon; zayıf-ince köşeli strüktür; orta sert- kırılabilir; orta yapışkan; orta plastik; çok az- çok ince-dendritik por; çok az-çok ince-dendritik kök; hafif köpürme; kesin-dalgalı sınır.

C	> 40	Koyu sarımsı kahverengi (10 Yr 4/4) kuru, koyu sarımsı kahverengi (10 Yr 4/6) nemli; tın; mottles yok; konsantrasyon yok; zayıf-çok ince granüler strüktür; yumuşak çok- kırılabilir; orta yapışkan; orta plastik; az- çok ince-dendritik por; çok az-çok ince-dendritik kök; güçlü köpürme; kesin-dalgalı sınır
----------	----------------	--

x:557487 y:4477334

Profil No: 12

Horizon	Derinlik (cm)	Özellikler
Ap	0-32	Çok soluk kahverengi (10 Yr 8/2) kuru, çok soluk kahverengi (10 Yr 8/2) nemli; tın; mottles yok; az-orta-silindirik konsantrasyon; orta-ince-prizmatik strüktür; yumuşak-dağılgan kıvam; orta yapışkan; hafif plastik; çok az-çok ince-dendritik por; az-çok ince-dendritik kök; güçlü köpürme; çok ani-dalgalı sınır.
Bw	32-71	Çok soluk kahverengi (10 Yr 8/2) kuru, çok soluk kahverengi (10 Yr 8/2) nemli; tın; yok; az-iri-düzensiz konsantrasyon; zayıf-çok ince-granüler strüktür; yumuşak-dağılgan kıvam; orta yapışkan; hafif plastik; por yok; çok az-çok ince-dendritik kök; kuvvetli köpürme, çok ani-dalgalı sınır.
C	>71	Beyaz (10 Yr 8/1) kuru, beyaz (10 Yr 8/1) nemli; kil; mottles yok; az-iri-düzensiz konsantrasyon; zayıf-çok ince-granüler strüktür; yumuşak-dağılgan kıvam; orta yapışkan; hafif plastik; por yok; çok az-çok ince-dendritik kök; kuvvetli köpürme, çok ani-dalgalı sınır.

x:557550 y:4477324

Profil No: 13

Horizon	Derinlik (cm)	Özellikler
Ap	0-12	Beyaz (7,5 Yr 8/1) kuru, pembemsi beyaz (10 Yr 8/2) nemli; tın; mottles yok konsantrasyon yok; zayıf-çok ince-granüler strüktür; yumuşak-çok kırılabilir; yapışkan değil; plastik değil; az- çok ince-dendritik por; çok az-çok ince-dendritik kök; güçlü köpürme, çok ani-düz sınır.
Bw	12-36	Beyaz (7,5 Yr 8/1) kuru, pembemsi beyaz (10 Yr 8/2) nemli; kumlu killi tın; mottles yok; konsantrasyon yok; zayıf-çok ince-granüler strüktür; yumuşak-çok kırılabilir; yapışkan değil; plastik değil; az-çok ince-tubular por; çok az-çok ince-dendritik kök; güçlü köpürme, çok ani-düz sınır.
C	>36	Pembemsi beyaz (2,5 Yr 8/2) kuru, pembemsi beyaz (10 Yr 8/2) nemli; kumlu killi tın; mottles yok; az-ince-irregular konsantrasyon; zayıf-çok ince-granüler strüktür; yumuşak-dağılabilir; yapışkan değil; plastik değil; por yok; çok az-çok ince-dendritik kök; şiddetli köpürme, çok ani-düz sınır

x:557642 y:4477319

Profil No: 14

Horizon	Derinlik (cm)	Özellikler
Ap	0-31	Sarımsı kahve (10 Yr 5/4) kuru, sarımsı kahve; (10 Yr 5/6) nemli; kil; mottles yok; konsantrasyon yok; orta-orta-köşeli strüktür; orta sert-dayanıklı; yapışkan değil; plastik değil; az- çok ince-dendritik por; çok az-çok ince-dendritik kök; güçlü köpürme, açık-düz sınır.
Bw	31-99	Pembemsi beyaz (7,5Yr 8/2) kuru, pembemsi beyaz (7,5 Yr 8/2) nemli; kumlu killi tın; mottles yok konsantrasyon yok; zayıf-çok ince-granüler strüktür; yumuşak dağılıbilir; yapışkan değil; plastik değil; por yok; kök yok; güçlü köpürme, açık-düz sınır.
C	>99	Pembemsi beyaz (7,5Yr 8/2) kuru, pembemsi beyaz (7,5 Yr 8/2) nemli; kumlu killi tın; mottles yok; konsantrasyon yok; zayıf-çok ince-granüler strüktür; yumuşak dağılıbilir; yapışkan değil; plastik değil; çok az- çok ince-dendritik por; kök yok; şiddetli köpürme, açık-düz sınır.

x:557673 y:4477296

Profil No: 15

Horizon	Derinlik (cm)	Özellikler
Ap	0-12	Açık gri (10 Yr 7/2) kuru; çok soluk kahve (10 Yr 7/3) nemli; siltli tın; mottles yok; konsantrasyon yok; orta-orta-köşeli strüktür; orta sert-dayanıklı; yapışkan değil; plastik değil; çok az- çok ince-dendritik por; çok az-çok ince-dendritik kök; güçlü köpürme, çok ani-dalgalı sınır.
Bw	12-81	Çok soluk kahve (10 Yr 8/2) kuru; çok soluk kahve (10 Yr 8/3) nemli; killi tın; mottles yok; konsantrasyon yok; orta-orta-köşeli strüktür; orta sert-dayanıklı; hafif yapışkan; plastik değil; çok az- çok ince-dendritik por; çok az-çok ince-dendritik kök; güçlü köpürme, çok ani-dalgalı sınır.
C	>81	Çok soluk kahve (10 Yr 8/2) kuru, çok soluk kahve (10 Yr 8/3) nemli; tın; mottles yok; konsantrasyon yok; orta-orta-yarı köşeli strüktür; orta sert-dayanıklı; yapışkan değil; hafif plastik; çok az- çok ince-dendritik por; çok az-çok ince-dendritik kök; şiddetli köpürme, çok ani-dalgalı sınır.

x:557781 y:4477277

Profil No: 17

Horizon	Derinlik (cm)	Özellikler
Ap	0-52	Soluk kahverengi (10 Yr 6/3) kuru, açık sarımsı kahverengi (10 Yr 6/4) nemli; kil; mottles yok; az-ince-düzensiz konsantrasyon; orta-ince yarı-köşeli strüktür; orta sert-çok dayanıklı; yapışkan değil; plastik değil; çok -orta-tubular por; çok fazla-çok kaba-tubular kök; güçlü köpürme, belirgin-kırık sınır.
Bw₁	52-134	Kahverengi (7,7 Yr 4/4) kuru, güçlü kahverengi (7,5 Yr 4/6) nemli; kil; mottles yok; yaygın-kaba-düz konsantrasyon; güçlü-orta yarı-köşeli strüktür; orta sert-dayanıklı; hafif yapışkan; hafif plastik; yaygın-kaba-tubular por; çok-orta-tubular kök; hafif köpürme,

		belirgin-düzensiz sınır.
B_{w2}	134-160	Koyu kahverengi (7,7 Yr 3/3) kuru, koyu kahverengi (7,5 Yr 3/3) nemli, kil; mottles yok; yaygın-orta-düzensiz konsantrasyon; zayıf-ince yarı-köşeli strüktür; sert-ekstra dayanıklı; orta yapışkan; orta plastik; orta az-orta-düzensiz por; orta-orta-tubular kök; hafif köpürme, belirgin-düzensiz sınır.
C	> 160	Koyu kahverengi (7,7 Yr 3/3) kuru, koyu kahverengi (7,5 Yr 3/3) nemli, kil; mottles yok; yaygın-orta-düzensiz konsantrasyon; zayıf-ince yarı-köşeli strüktür; orta sert-dayanıklı; hafif yapışkan; hafif plastik; az-ince-düzensiz por; orta-ince-tubular kök; hafif köpürme, belirgin-düzensiz sınır.

x:557817 y:4477257

Profil No: 18

Horizon	Derinlik (cm)	Özellikler
Ap	0-18	Soluk kahverengi (10 Yr 6/3) kuru, açık sarımsı kahverengi (10 Yr 6/4) nemli; kil; mottles yok; konsantrasyon yok; orta-orta yarı-köşeli strüktür; orta sert-çok kırılğan; orta yapışkan; hafif plastik; çok az -ince-düzensiz por; çok az-çok ince-düzensiz kök; hafif köpürme, belirgin-kırıklı sınır.
B_{w1}	18-82	Koyu sarımsı kahverengi (10 Yr 4/4) kuru, koyu sarımsı kahverengi (10 Yr 4/6) nemli; kil; mottles yok; yaygın-ince-irregular konsantrasyon; zayıf-ince yarı-köşeli strüktür; yumuşak-çok kırılğan; orta yapışkan; orta plastik; az -çok ince-dendritik por; çok az-çok ince-düzensiz kök; hafif köpürme, belirgin-düzensiz sınır.
B_{w2}	82-124	Koyu sarımsı kahverengi (10 Yr 4/4) kuru, koyu sarımsı kahverengi (10 Yr 4/6) nemli; tın; mottles yok; yaygın-kaba-irregular konsantrasyon; zayıf-çok ince yarı-köşeli strüktür; orta sert-çok dayanıklı; orta yapışkan; orta plastik; az -çok ince-dendritik por; çok az-çok ince-düzensiz kök; hafif köpürme, belirgin-düzensiz sınır.
C	> 124	Açık sarımsı kahverengi (10 Yr 6/4) kuru, kahverengimsi sarı (10 Yr 6/6) nemli; siltli tın; mottles yok; konsantrasyon yok; zayıf-çok ince granüler strüktür; yumuşak-çok kırılğan; hafif yapışkan; hafif plastik; çok az -çok ince-dendritik por; çok az-çok ince-düzensiz kök; güçlü köpürme.

x:557833 y:4477112

Profil No: 20

Horizon	Derinlik (cm)	Özellikler
Ap	18	Çok soluk kahve (10 Yr 8/2) kuru, çok soluk kahve (10 Yr 8/3) nemli; tın; mottles yok; konsantrasyon yok; zayıf-çok ince-granüler strüktür; yumuşak-çok dağılğan; hafif yapışkan; hafif plastik; çok az- çok ince-dendritik por; çok az-çok ince-dendritik kök; hafif köpürme, çok ani-kırıklı sınır.
B_w	92	Beyaz (10 Yr 8/1) kuru; çok soluk kahve (10 Yr 8/2) nemli; tın; mottles yok; konsantrasyon yok; zayıf-çok ince-levhamsı strüktür; yumuşak-çok dağılğan; yapışkan değil; plastik değil; por yok; kök

		yok; hafif köpürme, çok ani-dalgalı sınır.
C	>92	Beyaz (10 Yr 8/1) kuru; çok soluk kahve (10 Yr 8/2) nemli; tın; mottles yok; konsantrasyon yok; güçlü-ince-prismatik strüktür; yumuşak-çok dağılgan; yapışkan değil; plastik değil; por yok; kök yok; hafif köpürme.

x:557827 y:4477020

Profil No: 21

Horizon	Derinlik (cm)	Özellikler
Ap	0-29	Sarımsı kahve (10 Yr 5/4) kuru; sarımsı kahve (10 Yr 5/6) nemli; kil; mottles yok; konsantrasyon yok; orta-orta yarı-köşeli strüktür; sert-dağılgan; hafif yapışkan; hafif plastik; az- çok ince-tubular por; çok az-çok ince-dendritik kök; güçlü köpürme, ani-düzensiz sınır.
Bw	29-103	Kahverengi (10 Yr 4/3) kuru; koyu sarımsı kahve (10 Yr 4/4) nemli; kil; mottles yok; yaygın-ince-düzensiz konsantrasyon; zayıf-ince yarı-köşeli strüktür; hafif sert-az dağılgan; hafif yapışkan; orta plastik; yaygın- kaba-dendritik por; az-orta-tubular kök; güçlü köpürme, çok ani-düzensiz sınır.
C	>103	Soluk sarı (2,5 Yr 7/3) kuru; soluk sarı (2,5 Yr 7/4) nemli; tın; mottles yok; yaygın-kaba-düzensiz konsantrasyon; zayıf-ince yarı-köşeli strüktür; yumuşak-çok dağılgan; orta yapışkan; hafif plastik; çok az-çok ince-dendritik por; çok az-çok ince-dendritik kök; güçlü köpürme.

x:557834 y:4476949

Profil No: 22

Horizon	Derinlik (cm)	Özellikler
Ap	0-55	Koyu kahve 10 Yr 3/3 (kuru); koyu sarımsı kahve 10 Yr 3/3 (nemli); killi tın; mottles yok; az-orta-düzensiz konsantrasyon; zayıf-ince-yarı-köşeli strüktür; yumuşak- dağılgan kıvam; hafif yapışkan; hafif plastik; çok az- çok ince-dendritik por; çok az-çok ince-dendritik kök; güçlü köpürme.
Bw	55-113	Pembemsi gri 5 Yr 7/2 (kuru); açık gri 5 Yr 7/1 (nemli); kumlu killi tın; mottles yok; az-orta-düzensiz konsantrasyon; zayıf-ince-yarı-köşeli strüktür; yumuşak- dağılgan kıvam; hafif yapışkan; hafif plastik; çok az- çok ince-dendritik por; çok az-çok ince-dendritik kök; güçlü köpürme.
C	>113	Soluk sarı (5 Yr 8/3) kuru; soluk sarı (5 Yr 8/4) nemli; killi tın; mottles yok; az-iri-düzensiz konsantrasyon; orta-ince-kolumnar strüktür; ekstra sert-çok dayanıklı kıvam; orta yapışkan; por yok; kök yok; güçlü köpürme.

x:557836 y:4476846		Profil No: 23
Horizon	Derinlik (cm)	Özellikler
Ap	15	Kahverengi (10 Yr 4/3) kuru; kahverengi (10 Yr 4/3) nemli;kil; mottles yok; az-ince-dendritik konsantrasyon; orta-orta-yarı-köşeli strüktür; orta sert- dağılgan kıvam; hafif yapışkan; hafif plastik; az-çok ince-dendritik por; çok az-çok ince-dendritik kök; hafif köpürme, çok ani-dalgali sınır.
Bw	88	Koyu sarımsı kahverengi (10 Yr 3/4) kuru; koyu sarımsı kahverengi (10 Yr 3/6) nemli; kil; mottles yok; yaygın-ince-düzensiz konsantrasyon; orta-orta-yarı-köşeli strüktür; orta sert- dağılgan kıvam; hafif yapışkan; hafif plastik; az- çok ince-dendritik por; çok az-çok ince-dendritik kök; güçlü köpürme, çok ani-dalgali sınır.
C	>88	Koyu sarımsı kahverengi (10 Yr 3/4) kuru koyu sarımsı kahverengi; (10 Yr 3/6) nemli; kil; mottles yok; çok-iri-düzensiz konsantrasyon; zayıf-ince-yarı-köşeli strüktür; orta-dağılgan kıvam; hafif yapışkan; hafif plastik; az- çok ince-düzensiz por; çok az-çok ince-düzensiz kök; hafif köpürme.

x:557900 y:4477362		Profil No: 24
Horizon	Derinlik (cm)	Özellikler
A	0-32	Sarımsı kahverengi (10 Yr 5/4) kuru; sarımsı kahverengi (10 Yr 5/6) nemli; kil; mottles yok; konsantrasyon yok; güçlü-ince-yarı-köşeli strüktür; sert-çok dayanıklı kıvam; orta yapışkan; orta plastik; orta-orta-dendritik por; az-orta-dendritik kök; hafif köpürme, açık-dalgali sınır.
Bw	32-	Soluk kahverengi (10 Yr 6/3) kuru; soluk kahverengi (10 Yr 6/4) nemli; killi tın; mottles yok; az-ince-irregüler konsantrasyon; zayıf-çok ince-granüler strüktür; yumuşak-çok dağılgan kıvam; orta yapışkan; hafif plastik; yaygın-ince-dendritik por; az-orta-dendritik kök; hafif köpürme, açık-dalgali sınır.
C	>62	Soluk sarı (2,5 Y 7/3) kuru; soluk sarı (2,5Y 7/4) nemli; tın; mottles yok; az-ince-irregüler konsantrasyon; zayıf-çok ince-granüler strüktür; yumuşak-çok dağılgan kıvam; hafif yapışkan; hafif plastik; az-çok ince-dendritik por; az-çok ince-dendritik kök; güçlü köpürme.

x:558047 y:4477407		Profil No: 25
Horizon	Derinlik (cm)	Özellikler
Ap	0-26	Koyu grimsi kahve (10 Yr 4/2) kuru; kahverengi (10 Yr 4/3) nemli; kil; mottles yok; az-ince-irregüler konsantrasyon; orta-ince-köşeli strüktür; orta-dayanıklı kıvam; orta yapışkan; hafif plastik; az-çok ince-dendritik por; az-ince-dendritik kök; hafif köpürme, ani-dalgali sınır.

Bw	26-71	Kahverengi (10 Yr 5/3) kuru; kahverengi (10 Yr 5/3) nemli; kil; mottles yok; yaygın-ince-dendritik konsantrasyon; orta-orta-yarı-köşeli strüktür; orta-dayanıklı kıvam; hafif yapışkan; hafif plastik; az-çok ince-tubular por; az-ince-tubular kök; hafif köpürme.
C	>71	Çok soluk kahverengi (10 Yr 8/2) kuru, çok soluk kahverengi (10 Yr 8/3) nemli; killi tın; mottles yok; yaygın-ince-silindirik konsantrasyon; zayıf-ince-yarı-köşeli strüktür; hafif-kırılgan kıvam; hafif yapışkan; hafif plastik; çok az-çok ince-dendritik por; az-ince-dendritik kök; hafif köpürme.

x:558227 y:4477561

Profil No: 26

Horizon	Derinlik (cm)	Özellikler
Ap	0-12	Koyu sarımsı kahve (10 Yr 4/4) kuru; (10 Yr 4/6) koyu sarımsı kahve nemli; kil; mottles yok; az-ince-irregular konsantrasyon; orta-orta-yarı-köşeli strüktür; çok sert-dayanıklı kıvam; orta yapışkan; orta plastik; yaygın-çok ince-dendritik por; az-ince-dendritik kök; hafif köpürme, açık-kırıklı sınır.
Bw	12-46	Kahverengi (10 Yr 4/3) kuru; koyu sarımsı kahve (10Yr 4/6) nemli; kil; mottles yok; az-ince-irregular konsantrasyon; orta-orta-yarı-köşeli strüktür; çok sert-dayanıklı kıvam; orta yapışkan; orta plastik; yaygın-çok ince-dendritik por; az-ince-dendritik kök; hafif köpürme, açık-kırıklı sınır.
C	>46	Açık sarımsı kahve (10 Yr 6/4) kuru; açık sarımsı kahve (10 Yr 6/4) nemli; kumlu kil; mottles yok; konsantrasyon yok; zayıf-ince-yarı-köşeli strüktür; yumuşak-dağılgan kıvam; yapışkan değil; plastik değil; çok az-çok ince-dendritik por; çok az-ince-dendritik kök; güçlü köpürme.

x:558265 y:4477732

Profil No: 27

Horizon	Derinlik (cm)	Özellikler
Ap	0-36	Pembe (7,5 Yr 7/3) kuru; pembe (7,5 Yr 7/4) nemli; kil; yaygın-orta mottles; az-ince-irregular konsantrasyon; zayıf-ince-kolumnar strüktür; hafif-kırılgan kıvam; orta yapışkan; orta plastik; çok az ince-dendritik por; az-ince-dendritik kök; hafif köpürme, açık-kırıklı sınır.
C	>36	Pembe (7,5 Yr 7/3) kuru; pembe (7,5 Yr 7/4) nemli; kil; yaygın-orta mottles; az-ince-irregular konsantrasyon; zayıf-ince-kolumnar strüktür; hafif-kırılgan kıvam; orta yapışkan; orta plastik; çok az ince-dendritik por; az-ince-dendritik kök; hafif köpürme, açık-kırıklı sınır.

x:558094 y:4477581		Profil No: 28
Horizon	Derinlik (cm)	Özellikler
Ap	18	Kahverengi (10 Yr 5/3) kuru; kahverengi (10 Yr 5/3) nemli; kil; mottles yok; az-ince-dendritik konsantrasyon; orta-orta-yarı-köşeli strüktür; orta-dayanıklı kıvam; orta yapışkan; hafif plastik; az-çok ince-dendritik por; az-ince-dendritik kök; hafif köpürme, çok ani-dalgali sınır.
Bw	60	Koyu sarımsı kahve (10 Yr 4/4) kuru; koyu sarımsı kahve (10 Yr 4/4) nemli; kil; mottles yok; zayıf-ince-dendritik konsantrasyon; zayıf-çok ince-granüler strüktür; hafif sert-çok kırılğan kıvam; orta yapışkan; hafif plastik; yaygın-ince-tubular por; çok-ince-tubular kök; hafif köpürme, çok ani-dalgali sınır.
C	>60	Çok soluk kahve (10 Yr 8/2) kuru; çok soluk kahve (10 Yr 8/3) nemli; kil; mottles yok; konsantrasyon yok; zayıf-orta-granüler strüktür; yumuşak-çok kırılğan kıvam; orta yapışkan; orta plastik; yaygın-çok ince-dendritik por; çok-ince-dendritik kök; hafif köpürme.

x:558028 y:4477537		Profil No: 29
Horizon	Derinlik (cm)	Özellikler
Ap	0-51	Koyu sarımsı kahve (10 Yr 3/4) kuru; koyu sarımsı kahve (10 Yr 3/6) nemli; kil; mottles yok; konsantrasyon yok; zayıf-ince-granüler strüktür; yumuşak-çok kırılğan kıvam; hafif yapışkan; hafif plastik; çok az-çok ince-dendritik por; az-ince-dendritik kök; hafif köpürme, çok ani-dalgali sınır.
Bw	51-90	Açık zeytin kahve (2,5 Y 5/4) kuru; açık zeytin kahve (2,5 Y 5/6) nemli; kil; mottles yok; az-ince-dendritik konsantrasyon; orta-orta-yarı-köşeli strüktür; yumuşak-çok kırılğan kıvam; hafif yapışkan; hafif plastik; yaygın-ince-tubular por; çok-ince-dendritik kök; hafif köpürme, çok ani-dalgali sınır.
C	>90	Açık sarımsı kahve (2,5 Y 6/3) kuru; açık sarımsı kahve (2,5 Y 6/4) nemli; kumlu killi tın; mottles yok; yaygın-kaba-levhamsı konsantrasyon; zayıf-orta-yarı-köşeli strüktür; orta sert-çok kırılğan kıvam; hafif yapışkan; hafif plastik; yaygın-ince-tubular por; çok-ince-dendritik kök; hafif köpürme.

x:557986 y:4477517		Profil No: 30
Horizon	Derinlik (cm)	Özellikler
Ap	40	Sarımsı kahve (10 Yr 3/4) kuru koyu; 10 Yr 3/6 (nemli) koyu sarımsı kahve; kil; mottles yok; konsantrasyon yok; zayıf-ince-granüler strüktür; yumuşak-kırılğan kıvam; hafif yapışkan; orta plastik; çok az-çok ince-dendritik por; az-ince-dendritik kök; hafif köpürme, ani-dalgali sınır.
		Koyu sarımsı kahve (10 Yr 4/4) kuru; koyu sarımsı kahve (10 Yr

C	>40	4/6) nemli; kil; mottles yok; yaygın-orta-konsantrasyon; zayıf-ince-granüler strüktür; yumuşak-kırılğan kıvam; orta yapışkan; orta plastik; az-ince-tubular por; az-ince-tubular kök; güçlü köpürme.
----------	---------------	--

x:557784 y:4477504

Profil No: 31

Horizon	Derinlik (cm)	Özellikler
Ap	0-30	Kahverengi (10 Yr 4/3) kuru; koyu sarımsı kahve (10 Yr 4/4) nemli; mottles yok; konsantrasyon yok; zayıf-ince-granüler strüktür; yumuşak-çok kırılğan kıvam; yapışkan değil; plastik değil; orta-çok ince-dendritik por; az-ince-dendritik kök; hafif köpürme, açık-dalgalı sınır.
C	>30	Kahverengi (10 Yr 4/3) kuru; koyu sarımsı kahve (10 Yr 4/4) nemli; mottles yok; konsantrasyon yok; zayıf-ince-granüler strüktür; yumuşak-çok kırılğan kıvam; yapışkan değil; plastik değil; orta-çok ince-dendritik por; az-ince-dendritik kök; güçlü köpürme.

EK-2 Profillerde Bulunan Sulara Ait Sulama Suyu Analizi

Özellik	Profil No			
	16	17	19	25
Sodyum (meq/l)	8,57	10,43	7,00	8,83
Potasyum (meq/l)	0,49	0,34	0,30	0,20
Kalsiyum (meq/l)	8,32	8,32	8,74	11,65
Magnezyum (meq/l)	1,66	1,66	10,19	0,00
Toplam Katyon (meq/l)	19,04	20,75	26,23	20,68
Karbonat (meq/l)	0,00	0,00	0,00	0,60
Bikarbonat (meq/l)	0,49	0,41	0,49	0,12
Klorür (meq/l)	1,79	3,28	1,54	1,54
Sülfat (meq/l)	16,76	17,07	24,20	17,53
Toplam Anyon (meq/l)	19,04	20,75	26,23	19,79
EC (µmhos/cm)	4522	4660	4201	4614
pH	7,5	7,4	7,6	7,5
Kalan sodyum karbonat (RSC) (meq/l)	0,00	0,00	0,00	0,00
Bor (mg/l)	0,00	2,58	8,42	5,50
Sodyum	44,99	50,28	26,69	42,69
SAR	3,83	4,67	2,28	3,66
Sulama suyu sınıfı	T4A1	T4A4	T4A4	T4A1

Tuzluluk

T1: Az tuzlu su
T2: Orta tuzlu su
T3: Yüksek tuzlu su
T4: Çok yüksek tuzlu su

Alkalilik

A1: Az sodyumlu su
A2: Orta sodyumlu su
A3: Yüksek sodyumlu su
A4: Çok yüksek sodyumlu su

EK-3 Toprak Morfolojik Özelliklerinin Kodlandırılması

Derinlik (cm)	Kod	Mottles	
0-15	1		
16-30	2		
31-45	3		
46-60	4		
61-90	5		
91-120	6		
121-160	7		
>160	8		

Miktar/Büyüklik	Kod
Yok	0
Az-kaba	1
Yaygın-orta	2
Çok-kaba	3

Horizon sınırı

Sınıf/Topografya	Kod
Çok ani- düz	1
Çok ani-dalgalı	2
Çok ani-düzensiz	3
Çok ani-kırıklı	4
Ani-dalgalı	5
Ani-düzensiz	6
Belirgin-düz	7
Belirgin-dalgalı	8
Belirgin-düzensiz	9
Belirgin-kırıklı	10
Tedrici-dalgalı	11
Tedrici-kırıklı	12

Yapışkanlık	Kod	Plastiklik	Kod
Yapışkan değil	1	Plastik değil	1
Az yapışkan	2	Az plastik	2
Orta yapışkan	3	Orta plastik	3
Çok yapışkan	4	Çok plastik n	4

Sınıf	Kod	Kökler		Şekil	Kod
		Boyut	Kod		
Az	1	Çok ince	1	Dendritik	1
Yaygın	2	İnce	2	İrregular	2
Çok	3	Orta	3	Tubular	3
		Kaba	4	Vesicular	4
		Çok kaba	5		

Gözenekler

Sınıf	Kod	Boyut	Kod	Şekil	Kod
Az	1	Çok ince	1	Dendritik Tubular	1
Yaygın	2	İnce	2	İrregüler	2
Çok	3	Orta	3	Tubular	3
		Kaba	4	vesicular	4
		Çok kaba	5		

Konsantrasyonlar

Sınıf	Kod	Boyut	Kod	Şekil	Kod
Yok	0	Yok	0	Silindirik	1
Az	1	İnce	1	Dendritik	2
Yaygın	2	Orta	2	İrregüler	3
Çok	3	Kaba	3	Yassı	4
		Çok kaba	4	Ağımsı	5
		Fazla kaba	5	Küresel	6

Pedalite

Tip	Kod	Sınıf	Kod	Boyut	Kod
Granüler	1	Zayıf	1	Çok ince	1
Köşeli blok	2	Orta	2	İnce	2
Yarı-köşeli blok	3	Güçlü	3	Orta	3
Yassı	4			Kaba	4
Tabakalı	5			Çok kaba	5
Prizmatik	6			Çok fazla kaba	6
Kolumnar	7				

8. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :Seval SÜNAL

Doğum Yeri :Eskişehir

Doğum Tarihi :02.01.1985

Medeni Hali :Bekar

Tel 05448579665

E-posta sevalsunal@karatekin.edu.tr

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise: Anadolu Öğretmen Lisesi (Bozüyük):

Lisans: Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü (Tokat)

Yüksek Lisans: Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl: Çankırı Karatekin Üniversitesi Orman Fakültesi Toprak İlimi ve Ekoloji Anabilim Dalı (Araştırma Görevlisi 2010-..)

SCI, SCI-Expanded, SSCI, AHCI gibi İndekslerce Taranan Dergilerdeki Makaleler

1. Erşahin, S. Aşkın, T. Tarakçıoğlu, C. Özenç, D.B. Korkmaz, K. Kutlu, T. **Süenal, S.** Bilgili, B.C., 2016. Spatial variation in the solute transport attributes of adjacent Typic Haplusteps, Mollic Ustifluvents, and Lithic Ustipsamments. Geoderma Volume 289, 1 March 2017, Pages 107–116 <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.11.035> .

SCI, SCI-Expanded, SSCI, AHCI dışındaki İndekslerce Taranan Dergilerdeki Makaleler

1. **Süenal, S.** Erşahin, S., 2015. Solute Transport in Sand Columns as Affected by Effluent Surface Tension. Journal of Agricultural Science and Technology A 5 (2015) 25-29.
2. Oyman M. **Süenal, S.** Erşahin, S. , 2012. Interaction between Cross-Linked Polyacrylamide and Water and Solute Flow in a Sand and Loam. Journal of Environmental Science and Engineering A 1 (2012) 510-518.

Ulusal Hakemli Dergilerdeki Makaleler

- 1.**Süenal, S.** Erşahin, S. , 2012. Türkiye’de Tarımsal Kaynaklı Yer Altı Suyu Nitrat Kirliliği 2012 Tarım Sempozyumu (Prof. Dr. Selahattin İptaş Anısına) Çankırı. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi 5 (2): 116-118, 2012 ISSN: 1308-0040, E-ISSN: 2146-0132.

Uluslararası Kongre/Sempozyum Bildirileri

1. Dikmen, Ü., **Süenal, S.**, Erşahin, S., 2017. Spatial Variability in Total Soil Phosphorus in a Semi-Arid Pasture: Effect of Slope Aspect. 2nd International Balkan Agriculture Congress, Tekirdağ.(poster).
- 2.Dikmen, Ü., **Süenal, S.**, Erşahin, S., 2017. Soil Chemical Properties As Affected By Land Use In Adjacent Typic Haplusteps, Mollic Ustifluvents, And Lithic Ustipsamments. 2nd International Balkan Agriculture Congress, Tekirdağ.16-18 may (poster).
3. Camcı Çetin, S., Yılmaz, A. E., **Süenal, S.**, Dikmen, Ü., Erşahin, S., 2017. Comparing infiltration rate at patchily burned and unburned spots in a semi-arid needle leaf forest. 2nd International Balkan Agriculture Congress, Tekirdağ. (Sözlü Bildiri).
4. **Süenal, S.**, Dikmen, Ü., Erşahin, S., 2017. Soil physical properties as affected by land use in adjacent typic haplusteps, mollic ustifluvents, and lithic ustipsamments. 2nd International Balkan Agriculture Congress, Tekirdağ (poster).

5. **Süenal, S.**, Dikmen, Ü., Erşahin, S., 2017. Hydropedology As A Powerful Tool For Soil Researches. 5th International Participation Soil and Water Resources Congress. Kırklareli. (Sözlü Bildiri).
6. **Süenal, S.**, Dikmen, Ü., Erşahin, S., Aşkın, T. Tarakçıoğlu, C. Özenç, D.B. Korkmaz, K. Kutlu, T, 2017. Spatial Variation Of Colluvial-Alluvial Soils Of Chemical Properties In Central Black Sea Region . 5th International Participation Soil and Water Resources Congress. Kırklareli. (Poster).
7. **Süenal, S.**, Dikmen, Ü., Erşahin, S., 2017. Soil Penetration Resistance As Affected By Slope Aspect And Soil Horizonation In Gypsic Haplustepts. 5th International Participation Soil and Water Resources Congress. Kırklareli. (Sözlü Bildiri).
8. **Süenal, S.**, Dikmen, Ü., Timur, Ö.B., Timur, U.P., Erşahin, S., 2017. Effect of Soil Bulk Density to Urban Plant in Semi-Arid Landscape. International Congress on Landscape Architecture Bosna (Poster).
9. **Süenal, S.** Dikmen, Ü. and Erşahin, S., 2016. Saturated Hydraulic Conductivity Differences as Affected by Slope Properties and Soil Horizonation in Gypsic Haplustepts . Eurosoil 2016. (Sözlü Bildiri).
10. Erşahin, S., Aşkın T., Tarakçıoğlu C., Özenç D., Korkmaz K., Kutlu T., **Süenal, S.**, 2014. Spatial Autocorrelation Of Solute Transport Attributes In A Composition Of Typic Haplustepts, Mollic Ustifluvents, And Lithic Ustipsamments . Balkan Agriculture Congress 2014.
11. Karahan, G., Erşahin, S., Döker, S., Uslu, M., Gül, E., **Süenal, S.**, Dikmen, Ü., 2014. Vertical Distribution of Heavy Metals in Sodic Urban Soils in Cankırı. 9th International Soil Science Congress on 'The Soul of Soil and Civilization', 14-16 October, 2014. Side, Antalya, Turkey.
12. **Süenal, S.** Erşahin, S. , 2014. Transport of Bromide in Sand Columns: Effect of Particle Size and Water Effluent Surface Tension . 9th International Soil Science Congress on 'The Soul of Soil and Civilization', 14-16 October, 2014. Side, Antalya, TURKEY.
13. Oyman M. **Süenal, S.** Erşahin, S. , 2012. Interaction between Cross-Linked Polyacrylamide and Water and Solute Flow in a Sand and Loam . The 8th International Soil Science Congress on "Land Degradation and Challenges in Sustainable Soil Management" 15-17 May 2012, Çeşme-İzmir-TURKEY .

Ulusal Kongre/Sempozyum Bildirileri

1. **Süenal, S.** Dikmen, Ü. Erşahin, S., 2014. Ağır Metallerle Kirlenmiş Toprakların Temizlenmesinde Fitoremediasyon Tekniği . I. Ulusal Havza Yönetimi Sempozyumu (Poster).
2. Erşahin, S., Bilgili, B.C., Dikmen, Ü., **Süenal, S.**, 2014. Konya Kapalı Havzasında Birincil Net Üretim Jeostatistiksel Analizi. I. Ulusal Havza Yönetimi Sempozyumu, 10-12 Mayıs 2014, Çankırı. (Sözlü Bildiri).
3. Erşahin, S. Aşkın, T. **Süenal, S.** Özenç, D. B. Tarakçıoğlu, C. Korkmaz, K. Kutlu, T. Dikmen, Ü., 2013. Orta Karadeniz Bölgesinde Kolüvyal-Alüvyal Toprakların Uzaysal Değişkenliği . III. Ulusal Toprak Ve Su Kaynakları Kongresi. Tokat. (Sözlü Bildiri).
4. **Süenal, S.** Yılmaz A.E. Çetin C. S. , 2013. fosforlu gübrelerden kaynaklı ağır metal (cd) kirliliğinin ekolojik etkileri. Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ekoloji Sempozyumu 2013 Tekirdağ..
5. **Süenal, S.** Erşahin, S. , 2011. Gözenek Büyüklüğü ve Suyun Yüzey Gerilimi Etkileşiminin, Bromun Gözenekli Ortamlarda Taşınmasına Etkisi. 2. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi 22-25 Kasım 2011 Ankara.
6. Dikmen, Ü. **Süenal, S.** Erşahin, S., 2011. Ağaç yetiştiriciliğinde sıra arası bitkilerin su kullanım etkinliği . II. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi Ankara (Poster).

Projeler

1. Erşahin, S. **Süenal, S.**, 2016-2017. Yarı-kurak Orta Anadolu Koşullarında (Çankırı) Tepe-Eğim Hidropedolojisi (OF090316D01) (Destekleyen Kuruluş: BAP) [Lisansüstü Tez Projesi]
2. Timur, B. Ö. Erşahin, **S. Süenal**, S. Dikmen, Ü.. 2016-2017. Çankırı Kent Merkezinde Topraktaki Başlıca Ağır Metallerin Uzaysal Değişimi (OF060416B31) (Destekleyen Kuruluş: BAP) [Araştırma Projesi]
3. Timur, P. U. Erşahin, **S. Süenal**, S., Dikmen, Ü.. 2016-2017. Çankırı Kent Merkezinde Bitkilerdeki Başlıca Ağır Metallerin Uzaysal Değişimi (OF060416B30) (Destekleyen Kuruluş: BAP) [Araştırma Projesi]

